



UBO  
CNRS  
IFREMER  
ORSTOM  
BRGM

D / GÉOLOGIE - GÉOPHYSIQUE  
GÉOLOGIE  
GÉOCHIMIE MARINES

OCEANOLOGIE ET GEODYNAMIQUE



Groupement Scientifique

Jacqueline ROUMP

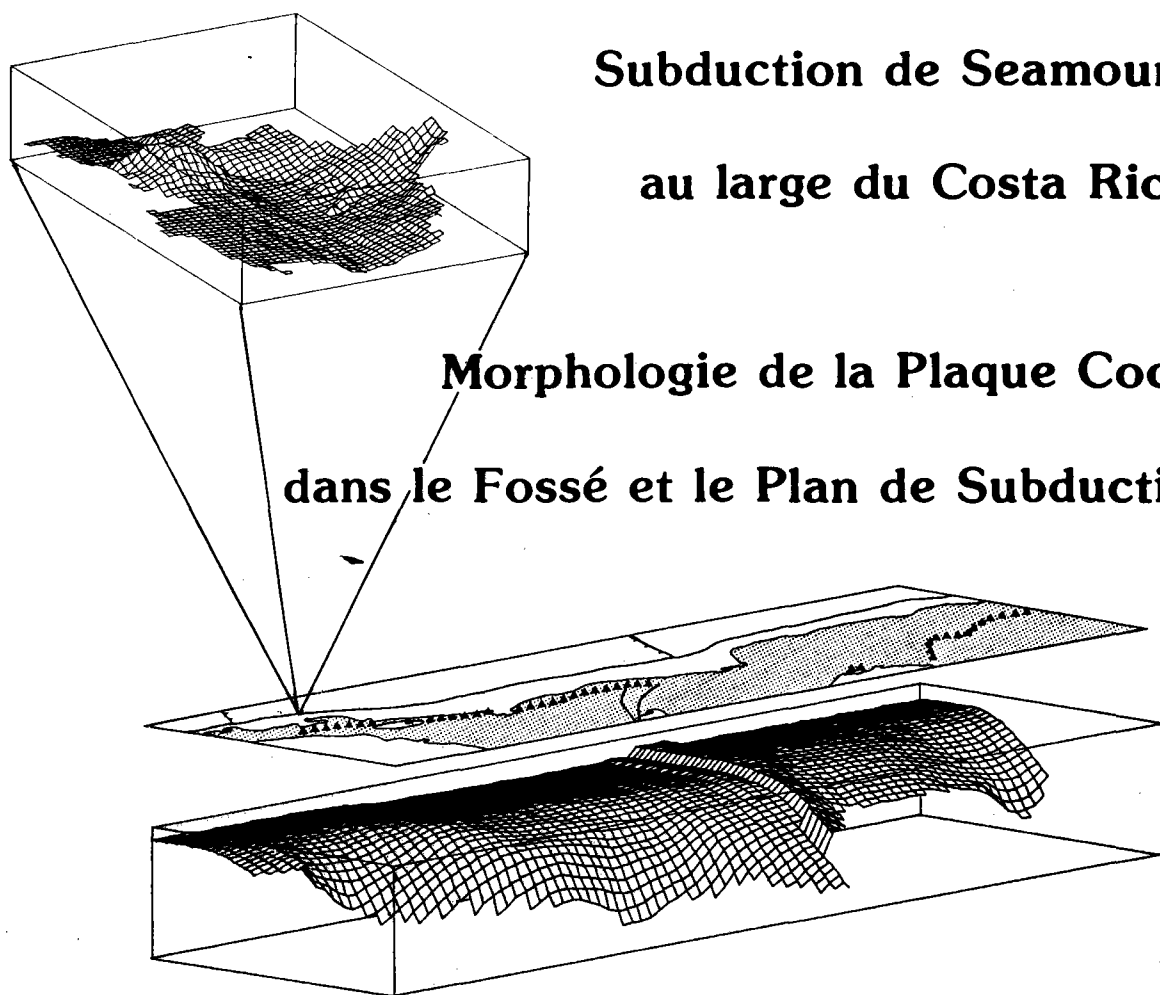
# Le Fossé d'Amérique Centrale :

## Subduction de Seamounts

## au large du Costa Rica ;

## Morphologie de la Plaque Cocos

## dans le Fossé et le Plan de Subduction



THESE DE DOCTORAT DE 3<sup>ème</sup> CYCLE

BREST 1985

Volume 1



**ROUMP Jacqueline**  
**1985**

**Le Fossé d'Amérique Centrale : Subduction de Seamounts au large du Costa Rica ; Morphologie de la Plaque Cocos dans le Fossé et le Plan de Subduction.**

**Thèse de 3ème Cycle, Université de Bretagne Occidentale, Brest: Sciences de la Terre, Océanologie et Géodynamique ; 26 Novembre 1985**

**Volume 1 : 294 pages, 69 figures + 16 hors-texte, 4 tableaux**

**Volume 2 : 212 pages, programmes**

**Vol. 1 + 2 : 506 pages, 69 figures + 16 hors-texte, 4 tableaux**

**Références : 122 (9 pages)**

**Mots clés : Fossé d'Amérique Centrale, Océan Pacifique Oriental, subduction, seamount, Seabeam, sismique réflexion, magnétisme, tectonique des plaques, cartographie bathymétrique, morphologie, séismicité, zone de Benioff.**

**Keys words : Middle America Trench, East Pacific Ocean, subduction, seamount, Seabeam, seismic reflection, magnetism, plate tectonics, bathymetry, morphology, seismicity, Benioff zone.**

T 239

D / GÉOLOGIE - GÉOPHYSIQUE  
GÉOCHIMIE MARINES

THESE  
présentée pour l'obtention  
du  
DIPLOME DE DOCTEUR DE 3EME CYCLE

Mention : SCIENCES DE LA TERRE  
Spécialité : Océanologie et Géodynamique

par  
Jacqueline ROUMP

LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE :  
  
SUBDUCTION DE SEAMOUNTS  
AU LARGE DU COSTA RICA ;  
  
MORPHOLOGIE DE LA PLAQUE COCOS  
DANS LE FOSSE ET LE PLAN DE SUBDUCTION

Soutenue le 26 Novembre 1985 devant la Commission d'Examen composée de :

- MM. René BLANCHET, Professeur ..... Président
- Vincent RENARD, Géophysicien, IFREMER Centre de Brest .. Rapporteur
- Jacques GARREAU, Maître de Conférence, U.B.O. .... Examineur
- Xavier LE PICHON, Professeur, Ecole Normale Supérieure  
d'Ulm, Paris ..... Examineur
- Thomas H. SHIPLEY, Géophysicien, University of Texas at  
Austin, Texas (U.S.A.) ..... Examineur
- Jean-François STEPHAN, Chargé de Recherche au C.N.R.S.  
U.B.O. .... Examineur

Cette thèse a été réalisée dans le cadre du G.I.S. 'Océanologie et Géodynamique' à l'IFREMER, Centre de Brest, et à la Scripps Institution of Oceanography, San Diego (U.S.A.). Les deux missions effectuées à la Scripps et à bord du R/V Melville et du R/V Washington, ont été subventionnées par un contrat C.N.E.X.O.-U.B.O. pour la première, et par l'A.T.P. G.G.O. 1982\* pour la seconde. En outre, j'ai bénéficié d'une allocation de recherche de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique. Les jeux de sismique réflexion effectués à la Scripps Institution of Oceanography ont été financés par les contrats de la National Science Foundation numéros OCE80-24402 et OCE83-14401.

\* 'Etude Structurale de la Fosse d'Amérique Centrale à partir des Campagnes Seabeam et Deep-Tow 81-82' (responsables scientifiques : M. V. Renard et J.F. Stéphan).

## ACKNOWLEDGMENTS

Many persons have contributed to the mental, physical, emotional and financial realization of this thesis, first in San Diego, California and then here in France.

I will never forget, the first months I spent at Scripps and on the Melville, when I was a kind of 'E.T.', many people helped me in this new world, being tolerant to my slow understanding : first Peter Lonsdale who picked me up at the airport and provided me with a room, then at Scripps Mary Linzer, Bob Lawhead, Daffy McGowan, Regina Hagen and Jo Griffith, Marco Weydert and Christian de Moustiers, Carol and Marty. I must not forget Greg Moore, co-chief scientist on the cruise I was invited on, who invited me on his next cruise a few month later on the Middle America Trench, and which provided the basic data of this work. For the good data collection of this cruise I must thank all the scientific party and the crew members, who did their best when a few instruments broke, and for the nice team on my watch, particularly my co-watch leader responsible for the seismic data, Don Reed, and on the bridge, Phil and Bamboo always ready to change the course of ship with good humor, even at 2 am.

When I came back for the Ariadne 2 expedition I met again my friends at MPL, but many others joined them during the several months I stayed in San Diego. First Bob Fisher let me use one his rooms, and Jerry Winterer let me his light table which has been used a lot to prepare and draw the many maps I was working on. For the other aspects of my work I am grateful to Tom Shipley, chief scientist on Ariadne 2 and to Greg Moore to have let me use all the data of the first survey we made off Costa Rica, and all the Seabeam data along the Middle America Trench : the Seabeam and seismic data have been treated at Scripps, while I brought back to Brest the magnetic tape with the magnetic data. The Seabeam data have been processed with the help of Bob Lawhead who made very quickly the modifications I needed to the processing programs. My admiration goes also to Paul Henkart, who programmed the very complete processing chain for the seismic data. I met many persons in the computer rooms during the long hours of the days and late evenings I spent there to process the data, and I must thank those who helped me with the various instruments.

Edith Vincent, my neighbor at Scripps, and Yves Lancelot, then director of the Deep Sea Drilling Project, have been very helpful during several difficult moments. I found sisters in Gina Carollo, and Christine Provost, and a brother in Chris Metzler, who have been a wonderful moral support. I must thank two other persons for living support during a difficult

financial moment : Sherm Bloomer and his wife, Nancy and Rachel Haymon. My room-mates, Manijeh and Eleonor, and my landlady, Mrs Diana Howland, and a friend of them, Julie, have been wonderful : they provided me with a 'home away from home'. Stu and Warren Smith, John Killingley, Jim Charters, Bob Wilson, Luis Mungia, Margaret and Jacques Sauvel and many others (may they forgive me not to cite them) have been also good friends. I must thank all the people who by their invitations or just a smile, made me feel as if I belonged to Scripps and their world.

I feel privileged to have met or to have listened to many marine researchers while at Scripps, among them : Bob Parker, Kathy Crane, John Mudie, Gustav Arrhenius, Wolf Berger, Dick Heye, Bill Menard, Joe Curray, Tom Jordan, David Sandwell, Bill Coulbourn, Alan Chave, Bill Ryan, LeRoy Dorman, Fred Spiess, Tom Ahrens, B.J. Collette, Ken MacDonald, Rodey Batiza, Kurt Lambeck, Vic Vacquier, Russ Raitt, George Shor and his wife.

## REMERCIEMENTS

De nombreuses personnes ont apporté une contribution, morale, émotionnelle et financière à la réalisation de cette thèse, ici en France à mon retour de San Diego, et je voudrais les en remercier.

Je dois d'abord exprimer ma profonde reconnaissance aux personnes qui, de Brest, ont fait tout ce qu'elles pouvaient pour m'aider lorsque j'étais à San Diego et qui ont continué par la suite à me soutenir : mes parents, à qui je dois plus que je ne pourrais jamais rendre, et Vincent Renard, mon directeur de thèse, qui n'a jamais perdu foi en moi, même durant les moments difficiles, et qui a toujours su me comprendre.

A mon retour à l'Ifremer, où c'est passé le reste de ma thèse, je dois d'abord remercier Bernadette Berthe pour m'avoir accueillie dans son bureau. Je dois également beaucoup aux deux personnes qui l'ont remplacée plus tard, Dominique Gibert et Annette Leclerc, pour les nombreuses discussions scientifiques et informatiques qui m'ont ouvert des mondes inconnus jusqu'alors : je dois en particulier à Dominique Gibert les nombreuses discussions qui m'ont permis de résoudre le problème de la réduction de la variation diurne du champ magnétique, et le prêt du programme de dessin de blocs diagrammes qu'il m'a laissé adapter et compléter à mon goût. A ce propos je remercie Marcel Bohn pour m'avoir laissé utilisé sans contrainte le PDP11 23+ de la micro-sonde de l'Ouest, et le traceur associé pour la mise au point et l'exécution de ce programme.

La salle informatique de DERO/GM où j'ai passé de nombreuses heures pour la mise au point des programmes m'a permis de rencontrer beaucoup de personnes, et d'apprendre beaucoup d'eux, ils m'ont également communiqué leur enthousiasme pour cet outil très puissant qu'est l'ordinateur.

L'informatique m'a également permis de faire la connaissance de Roger Hékinian et Daniel Bideau, qui m'ont autorisé à utiliser leur micro-ordinateur et les logiciels associés quand je le désirais, malgré le bruit que fait l'imprimante.

Au BNDO, je dois beaucoup à mon amie Michèle Février pour son aide dans ma recherche bibliographique et sur les données du DSDP lorsque j'essayais de déterminer s'il y avait une relation précise entre la profondeur du Pacifique, l'âge de la croûte océanique et l'épaisseur des sédiments dans la région que j'étudiais. Je remercie vivement Françoise Réboul de la bibliothèque pour sa infatigable gentillesse malgré les nombreuses et importantes demandes que je lui soumettais. Je remercie pour leur

amabilité Patrick Saisou, qui m'a permis de récupérer toutes les données sur les séismes de l'Amérique Centrale, et Jean-Paul Beucher, qui m'a expliqué en deux minutes comment trier des données dans une zone géographique.

Henri Pellé, Claude Toularastel, Marie-Claude Bernard et Azucena Puertollano ont également droit à ma profonde reconnaissance pour leur soutien moral permanent.

Pendant les corrections, il m'a fallu refaire de nombreuses figures, malheureusement la configuration ordinateur-traceur que j'avais utilisé jusqu'alors n'était plus disponible, je remercie donc M. Marcadon et Gilles Couix d'avoir accepté de me laisser utiliser l'IBM AT et le traceur HP7475A dont ils disposent à la Faculté des Lettres de Brest.



## SOMMAIRE

### INTRODUCTION

<u>1 TRAVAUX ANTERIEURS</u>	1-1
1.1 LIMITES DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE	1-3
1.2 BATHYMETRIE	1-3
1.3 SISMIQUE REFLEXION ET REFRACTION	1-6
1.4 FORAGES DU GLOMAR CHALLENGER	1-6
1.5 GRAVIMETRIE ET MAGNETISME	1-7
1.6 SEISMICITE	1-8
<u>2 LES DONNEES ET LEUR TRAITEMENT</u>	2-1
2.1 DONNEES MARINES UTILISEES	2-2
2.1.1 Données provenant du Jean Charcot	2-2
2.1.2 Données provenant du Thomas Washington	2-2
2.2 SEABEAM	2-2
2.2.1 Description générale	2-4
2.2.2 Rejeu	2-4
2.3 SISMIQUE REFLEXION	2-4
2.4 MAGNETISME	2-7
2.5 DONNEES DE LA SEISMOLOGIE	2-11
<u>3 LEVE 'COSTA RICA I'</u>	3-1
3.1 ETUDE DU LEVE BATHYMETRIQUE	3-3
3.1.1 Description du fond du fossé	3-3

3.1.2	Description de la plaque océanique	3-8
3.1.2.1	le seamount R.L. Fisher	3-8
3.1.2.2	la plaque océanique à l'Est du seamount R.L. Fisher	3-9
3.1.2.3	la plaque océanique à l'Ouest du seamount R.L. Fisher	3-9
3.1.2.4	discussion sur l'origine des linéations	3-10
3.1.3	Description de la pente continentale	3-10
3.1.4	Conclusions	3-11
<b>3.2</b>	<b>ETUDE DES PROFILS DE SISMIQUE REFLEXION</b>	<b>3-11</b>
3.2.1	Profil général de la partie orientale (profil 1)	3-11
3.2.1.1	la partie moyenne de la pente continentale	3-12
3.2.1.2	la partie inférieure de la pente continentale	3-12
3.2.1.3	la plaque océanique	3-12
3.2.2	Description de 3 profils de la partie occidentale	3-18
3.2.2.1	le profil 23	3-18
3.2.2.2	les profils 33 et 34	3-18
3.2.3	Description des 2 profils sur la plaque océanique, sub-parallèles au fond du fossé	3-19
3.2.3.1	le seamount et la partie occidentale (profil 24)	3-19
3.2.3.2	la base orientale du seamount et la partie orientale de la plaque océanique (profil 7)	3-22
3.2.4	D'un seamount à l'autre : divers aspects de la subduction des seamounts	3-22
3.2.4.1	la limite orientale du seamount en cours de cours de subduction (profil 4)	3-22
3.2.4.2	3 profils montrant les deux seamounts et les sédiments entre les deux volcans (profils 5, 17 et 19)	3-23
3.2.4.3	le début de la subduction du seamount R.L. Fisher (profils 21 et 29)	3-34
3.2.5	Conclusions	3-34
<b>3.3</b>	<b>ETUDES DES DONNEES MAGNETIQUES</b>	<b>3-36</b>
3.3.1	Description de la carte des anomalies magnétiques	3-36
3.3.2	Eléments d'interprétations	3-37
<b>3.4</b>	<b>SYNTHESE DES DONNEES DU LEVE 'COSTA RICA I' ET DISCUSSION</b>	<b>3-40</b>
3.4.1	Synthèse des données du levé 'Costa Rica I'	3-40
3.4.1.1	le niveau basaltique	3-40
3.4.1.2	le niveau supérieur de la série sédimentaire océanique inférieure	3-41
3.4.1.3	la surface de la couche sédimentaire océanique supérieure	3-41
3.4.1.4	la base des 'gas hydrates' ou BSR	3-50
3.4.1.5	les sédiments de la pente continentale	3-50
3.4.1.6	les slumps	3-50
3.4.1.7	le remplissage sédimentaire du fossé	3-50
3.4.2	Discussion concernant l'environnement général du levé 'Costa Rica I'	3-50

<b>4</b>	<b>LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE</b>	<b>4-1</b>
4.1	CONCLUSIONS DE L'ETUDE DE LA TECTONIQUE DES PLAQUES DANS LA REGION DE L'AMERIQUE CENTRALE D'APRES LE MODELE RM2 DE MINSTER ET JORDAN (1978)	4-4
4.1.1	Représentation des données	4-4
4.1.2	Le Fossé d'Amérique Centrale : limite entre les plaques Cocos et Amérique du Nord, et entre les plaques Cocos et Caraïbes	4-5
4.1.3	Limite entre la plaque Amérique du Nord et la plaque Caraïbes à l'Ouest de 75°W	4-6
4.1.4	Résumé des données de la tectonique des plaques dans la région d'Amérique Centrale	4-13
4.2	BATHYMETRIE DU FOND DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE D'APRES LES LEVES SEABEAM	4-13
4.2.1	Description des planches Seabeam le long du Fossé d'Amérique Centrale	4-17
4.2.1.1	planche 1	4-17
4.2.1.2	planche 2	4-22
4.2.1.3	planche 3	4-22
4.2.1.4	planche 4	4-23
4.2.1.5	planche 5	4-24
4.2.1.6	planche 6	4-24
4.2.1.7	planche 7	4-25
4.2.1.8	planche 8	4-25
4.2.1.9	planche 9	4-26
4.2.1.10	planche 10	4-26
4.2.1.11	planche 11	4-26
4.2.1.12	planche 12	4-26
4.2.1.13	planche 13	4-27
4.2.1.14	planche 14	4-27
4.2.1.15	planche 15	4-28
4.2.1.16	planche 16	4-28
4.2.2	Résumé des observations faites le long du Fossé d'Amérique Centrale jusqu'au Sud de Panama	4-28
4.2.2.1	le profil en long du Fossé d'Amérique Centrale	4-28
4.2.2.2	les directions des structures océaniques le long du Fossé d'Amérique Centrale	4-29
4.2.3	Discussion sur les observations faites à partir des données Seabeam le long du Fossé d'Amérique Centrale	4-31
4.3	ETUDE DE LA FORME EN PLAN DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE	4-37
4.3.1	Méthode d'étude	4-40
4.3.2	Ajustement des cercles aux données observées	4-40
4.3.3	Relation profondeur moyenne des groupes de données - rayon des cercles	4-47
4.3.4	Discussion	4-51
4.3.4.1	la Zone de Fracture de Rivera	4-51
4.3.4.2	les fossés de subduction	4-52

4.4	ETUDE GENERALE DE LA SEISMICITE DANS LA REGION D'AMERIQUE CENTRALE	4-53
4.4.1	Carte de la magnitude maximale de la région Amérique Centrale	4-54
4.4.2	La troisième dimension du plan de subduction de la plaque Cocos sous l'Amérique Centrale : les coupes et les blocs-diagrammes	4-56
4.4.2.1	les sections	4-56
4.4.2.2	les blocs-diagrammes	4-70
4.5	DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS	4-71
4.5.1	La Ride Cocos	4-71
4.5.2	L'ensellement de la partie supérieure du plan de subduction entre 88 et 91°W	4-72
4.5.3	La Zone de Fracture de Tehuantepec dans le plan de subduction	4-72
4.5.4	Association entre la forme arquée du tracé en plan de l'axe du fossé et la forme en cuillère du plan de subduction. La profondeur du plan de subduction en fonction de l'âge de la croûte et de la vitesse de subduction	4-74
4.5.5	La position des volcans par rapport au plan de subduction	4-76
4.5.6	Le problème de la zone 3 du plan de subduction	4-77
4.5.7	Conclusions générales : conséquences de la dynamique des arcs de cercle, et tectonique des plaques dans la région d'Amérique Centrale	4-79
4.5.7.1	les conséquences de la dynamique des arcs de cercles	4-79
4.5.7.2	la tectonique des plaques dans la région d'Amérique Centrale	4-80

#### REFERENCES

ANNEXES : voir deuxième partie du volume

PROGRAMMES : voir deuxième volume

## TABLE OF CONTENTS

### INTRODUCTION

<u>1</u>	<u>PREVIOUS WORKS</u>	1-1
1.1	LIMITS OF THE MIDDLE AMERICA TRENCH	1-3
1.2	BATHYMETRY	1-3
1.3	SEISMIC REFLECTION AND REFRACTION	1-6
1.4	GLOMAR CHALLENGER DEEP SEA DRILLINGS	1-6
1.5	GRAVITY AND MAGNETISM	1-7
1.6	SEISMICITY	1-8
<u>2</u>	<u>THE DATA USED AND THEIR PROCESSING</u>	2-1
2.1	DATA COLLECTED AT SEA	2-2
2.2.1	Data from Jean Charcot	2-2
2.2.2	Data from Thomas Washington	2-2
2.2	SEABEAM DATA	2-2
2.2.1	General description	2-4
2.2.2	Post-processing	2-4
2.3	SEISMIC REFLECTION DATA	2-4
2.4	MAGNETIC DATA	2-7
2.5	SEISMOLOGICAL DATA	2-11
<u>3</u>	<u>'COSTA RICA I' SURVEY</u>	3-1
3.1	STUDY OF THE BATHYMETRIC SURVEY	3-3
3.1.1	Description of the trench floor	3-3

3.1.2	Description of the oceanic plate	3-6
3.1.2.1	R.L. Fisher Seamount	3-6
3.1.2.2	the oceanic plate East of R.L. Fisher Seamount	3-9
3.1.2.3	the oceanic plate West of R.L. Fisher Seamount	3-9
3.1.2.4	discussion concerning the origin of the lineations on the seafloor	3-10
3.1.3	Description of the continental slope	3-10
3.1.4	Conclusions	3-11
<b>3.2</b>	<b>STUDY OF THE SEISMIC RELECTION PROFILES</b>	<b>3-11</b>
3.2.1	General section of the eastern part (profile 1)	3-11
3.2.1.1	the middle part of the continental slope	3-12
3.2.1.2	the lower part of the continental slope	3-12
3.2.1.3	the oceanic plate	3-12
3.2.2	Description of 3 profiles in the western part	3-18
3.2.2.1	profile 23	3-18
3.2.2.2	profiles 33 and 34	3-18
3.2.3	Description of 2 profiles on the oceanic plate, trending sub-parallel to the trench axis	3-19
3.2.3.1	the seamount and the western part (profile 24)	3-19
3.2.3.2	the eastern base of the seamount and the eastern part of the oceanic plate (profile 7)	3-22
3.2.4	From a seamount to another : various aspects of the subduction of seamounts	3-22
3.2.4.1	the eastern limit of the subducting seamount (profile 4)	3-22
3.2.4.2	3 profiles showing both seamounts and the sediments between the two volcanoes (profiles 5, 17 and 19)	3-23
3.2.4.3	the beginning of the R.L. Fisher Seamount subduction (profiles 21 and 29)	3-34
3.2.5	Conclusions	3-34
<b>3.3</b>	<b>STUDY OF THE MAGNETIC DATA</b>	<b>3-36</b>
3.3.1	Description of the magnetic anomaly map	3-36
3.3.2	Interpretation elements	3-37
<b>3.4</b>	<b>SYNTHESIS OF THE 'COSTA RICA I' DATA AND DISCUSSION</b>	<b>3-40</b>
3.4.1	Synthesis of the 'Costa Rica I' data	3-40
3.4.1.1	the basaltic level	3-40
3.4.1.2	the upper limit of the lower oceanic sediments	3-41
3.4.1.3	the surface of the upper oceanic sediments	3-41
3.4.1.4	the gas hydrates base level or BSR	3-50
3.4.1.5	the continental slope sediments	3-50
3.4.1.6	the trench fill	3-50
3.4.1.7	the slumps	3-50
3.4.2	Discussion about the regional environment of the 'Costa Rica I' survey	3-50

<b>4</b>	<b><u>THE MIDDLE AMERICA TRENCH</u></b>	<b>4-1</b>
4.1	CONCLUSIONS OF THE PLATE TECTONICS STUDY IN THE MIDDLE AMERICA REGION FROM RM2 MODEL (Minster and Jordan, 1978)	4-4
4.1.1	Data representation	4-4
4.1.2	The Middle America Trench : limit between the Cocos and North America plates, and between the Cocos and Caribbean plates	4-5
4.1.3	Limit between the North America and Caribbean plates West of 75°W	4-6
4.1.4	Summary of the plate tectonics data in the Middle America region	4-13
4.2	BATHYMETRY OF THE MIDDLE AMERICA TRENCH FROM SEABEAM SURVEYS	4-13
4.2.1	Description of the Seabeam plates along the Middle America Trench	4-17
4.2.1.1	plate 1	4-17
4.2.1.2	plate 2	4-22
4.2.1.3	plate 3	4-22
4.2.1.4	plate 4	4-23
4.2.1.5	plate 5	4-24
4.2.1.6	plate 6	4-24
4.2.1.7	plate 7	4-25
4.2.1.8	plate 8	4-25
4.2.1.9	plate 9	4-26
4.2.1.10	plate 10	4-26
4.2.1.11	plate 11	4-26
4.2.1.12	plate 12	4-26
4.2.1.13	plate 13	4-27
4.2.1.14	plate 14	4-27
4.2.1.15	plate 15	4-28
4.2.1.16	plate 16	4-28
4.2.2	Summary of the observations made along the Middle America Trench and South of Panama	4-28
4.2.2.1	profile along the Middle America Trench	4-28
4.2.2.2	directions of the oceanic structures along the Middle America Trench	4-29
4.2.3	Discussion on the observations made from Seabeam data along the Middle America Trench	4-31
4.3	STUDY OF THE PLANAR SHAPE OF THE MIDDLE AMERICA TRENCH	4-37
4.3.1	Method of study	4-40
4.3.2	Adjustement of small circles to observed data	4-40
4.3.3	Relationship between mean depths and circle radii	4-47
4.3.4	Discussion	4-51
4.3.4.1	Rivera Fracture Zone	4-51
4.3.4.2	subduction trenches	4-52
4.4	GENERAL STUDY OF THE SEISMICITY IN THE MIDDLE AMERICA REGION	4-53
4.4.1	Maximum magnitude map of the Middle America Region	4-54
4.4.2	The third dimension of the subduction plane of the Cocos plate under Middle America : sections and 3D	

representation	4-56
4.4.4.1 sections	4-56
4.4.4.2 3D representation	4-70
<b>4.5 DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS</b>	<b>4-71</b>
4.5.1 Cocos Ridge	4-71
4.5.2 The upper subduction zone saddle between 88 and 91°W	4-72
4.5.3 The Tehuantepec Fracture Zone in the subduction zone	4-72
4.5.4 Association between the cusped shape of the trench axis and the spoon shape of the subduction plane. Depth of the subduction zone as a function of the crust age and the subduction rate	4-74
4.5.5 Location of volcanoes above the subduction plane	4-76
4.5.6 Problem of subduction plane 'zone 3'	4-77
4.5.7 General conclusions : consequences of the cusps dynamics, and plate tectonics in the Middle America Region	4-79
4.5.7.1 consequences of the cusps dynamics	4-79
4.5.7.2 plate tectonics in the Middle America Region	4-80

## REFERENCES

APPENDICES : see second part of the volume

PROGRAMS : see second volume



## LIST OF FIGURES

Figure 1.1 : Plate boundaries in the Middle America Region. Thick lines are spreading centers, thinner lines fracture zones, and triangles show direction of subduction along trenches.

Figure 1.2 : Bathymetric map of the eastern part of the Central Pacific (simplified from Mammerickx and Smith, 1978 & 1981).

Figure 2.1 : Navigation plot of the expeditions used in this work.

Figure 2.2 : Sample heading of seismic reflection processing. Explanations are from 'A Description of Computer System SIOSEIS' written by Paul Henkart

Figure 2.3 : Solar diurnal variation for 4 magnetic elements, for latitudes 10° apart from 60°N to 60°S at the equinox (from Dobrin, 1976)

Figure 2.4 : Total magnetic field deviation during 'Costa Rica I' survey. A : Greenwich time. B : local time

Figure 3.1 : Location map of 'Costa Rica I' survey in the Middle America Region and the Eastern-Central Pacific (bathymetric contours from Mammerickx and Smith, 1981).

Figure 3.2 : Navigation plot of 'Costa Rica I' survey (tracks from R/V Jean Charcot and R/V Thomas Washington). Line with small triangles : subduction line ; dotted area : trench floor ; dashed area : R.L. Fisher Seamount. Seabeam quality : continuous line : Seabeam with 16 beams ; interrupted line : a few Seabeam beams ; dashes & dots : use of seismic reflection data ; dots : no data. GMT times and dates are written along the ship tracks. The numbers at each end of the profiles are the seismic reflection profile numbers.

Figure 3.3 : Bathymetric map of 'Costa Rica I' survey. Original map drawn at a scale of 80 inches per degree with repositioning of 150 points and 3 satellite fixes. Contour interval : 20 m, and 100 m for the main curves.

Figure 3.4 : Profile 1 seismic reflection. A : original profile (AGC : 0.5 s). B : interpreted profile.

Figure 3.5 : Profile 23 seismic reflection. A : original profile (AGC : 0.5 s). B : interpreted profile.

Figure 3.6 : Profile 33 seismic reflection. A : original profile (AGC : 0.5 s). B : interpreted profile.

Figure 3.7 : Profile 34 seismic reflection. A : original profile (AGC : 0.5 s). B : interpreted profile.

Figure 3.8 : Profile 24 seismic reflection. A : original profile (AGC : 0.5 s). B : interpreted profile.

Figure 3.9 : Profile 7 seismic reflection. A : original profile (AGC : 0.5 s). B : interpreted profile.

Figure 3.10 : Profile 4 seismic reflection. A : original profile (AGC : 0.5 s). B : interpreted profile.

Figure 3.11 : Profile 5 seismic reflection. A : original profile (AGC : 0.5 s). B : interpreted profile.

Figure 3.12 : Profile 17 seismic reflection. A : original profile (AGC : 0.5 s). B : interpreted profile.

Figure 3.13 : Profile 19 seismic reflection. A : original profile (AGC : 0.5 s). B : interpreted profile.

Figure 3.14 : Profile 21 seismic reflection. A : original profile (AGC : 0.5 s). B : interpreted profile.

Figure 3.15 : Profile 29 seismic reflection. A : original profile (AGC : 0.5 s). B : interpreted profile.

Figure 3.16 : Sections across the seamounts : interpretation of seismic reflection profiles no. 4, 5, 17, 19, 21 and 29.

Figure 3.17 : 'Costa Rica 1' survey : magnetic anomaly map. Points have their corrected location. Anomaly relative to IGRF 1980 computed for the survey date. The diurnal variation has been corrected. Contour interval : 25 nT, and 100 nT for the main curves.

Figure 3.18 : 'Costa Rica 1' survey : simplified bathymetric map, covering the same area that the magnetic anomaly map (fig. 3.17). Contour interval : 200 m, and 1000 m for the main curves.

Figure 3.19 : 3-D representations of 'Costa Rica 1' survey showing the different levels seen on the seismic reflection profiles (block height : from the surface to 5000 m ; block length : 57 km ; width : 39 km ; long axis orientation : N110°E ; gridding : 1 km ; vertical exaggeration : 3). A : basaltic level. B : upper limit of the lower oceanic sediments. C : upper limit of the upper oceanic sediments. D : BSR (Bottom Simulating Reflector). E : surface of the continental slope sediments. F : lower slump. G : upper slump. H : trench fill.

Figure 3.20 : Extract from the bathymetric map established by R.L. Fisher (1961), showing the line of seamounts entering the Middle America Trench. R.L. Fisher Seamount and the subducting seamount are shown with a plus sign into a circle. Depths are in fathoms.

Figure 3.21 : Schematic map of the oceanic crust isochrons created along the Cocos-Nazca Spreading Center (Hey, Johnson & Lowrie, 1977). The seamount line from 'Costa Rica 1' survey and Fisher's map is shown with large dots.

Figure 3.22 : Magnetic anomaly map of the northern Panama Basin (Lonsdale & Klitgord, 1978). The seamount line from 'Costa Rica 1' survey and Fisher's map is shown with large dots.

Figure 3.23 : Extract from the magnetic anomaly map of the Eastern Equatorial Pacific, drawn by E. Herron (1972). Numbers associated with lineations are magnetic anomaly names.

Figure 4.1 : Map showing the poles of rotation for the couples of plates in the Middle America region 'senso largo', from Minster & Jordan (1978). PCFC = Pacific, COCO = Cocos, NAZC = Nazca, CARB = Caribbean, SOAM = South America, NOAM : North America.

Figure 4.2 : Plate boundaries in the Middle America Region. Thick lines are spreading centers, thinner lines fracture zones, and triangles show direction of subduction along trenches.

Figure 4.3 : Diagram and map showing the variation of subduction speed of the Cocos plate under Mexico and Middle America. A. On this diagram the first group of lines (Cocos-North America boundary) is separated from the second group (Caribbean-Cocos boundary) by Tehuantepec Fracture Zone (continuous line : mean speed, short dashes : 70% confidence interval, long dashes : 95% confidence interval). B. This diagram shows the comparison of the two groups of values along the whole trench. Cocos-North America plate couple : continuous line : mean speed, very short dashes : 70% confidence interval, short dashes : 95% confidence interval. Cocos-Caribbean plate couple : medium dashes : mean speed, long dashes : 70% confidence interval, very long dashes : 95% confidence interval. C. This map represents the variations of direction associated with the variations of speed along the Middle America Trench : when the speed is higher than 'normal' the direction shifts to a more N-S value.

Figure 4.4 : Diagram showing the variation of subduction direction of the Cocos plate under Mexico and Middle America. A. The first group of lines (Cocos-North America boundary) is separated from the second group (Caribbean-Cocos boundary) by Tehuantepec Fracture Zone (continuous line : mean direction, short dashes : 70% confidence interval, long dashes : 95% confidence interval). B. Comparison of the two groups of values along the whole trench. Cocos-North America plate couple : continuous line : mean direction, very short dashes : 70% confidence interval, short dashes : 95% confidence interval. Cocos-Caribbean plate couple : medium dashes : mean speed, long dashes : 70% confidence interval, very long dashes : 95% confidence interval.

Figure 4.5 : Map showing the variation of subduction direction along the Middle America Trench, considering that there is only one continental plate. A : the boundary is between the Cocos plate and an extended North America plate (continuous line : mean direction, short dashes : 70% confidence interval, long dashes : 95% confidence interval). B : the boundary is between the Cocos plate and an extended Caribbean plate

(continuous line : mean direction, short dashes : 70% confidence interval, long dashes : 95% confidence interval). C : Comparison of extreme values of direction (95% confidence interval) for both couples of plates along the whole Middle America Trench (continuous lines : Cocos-North America couple, interrupted lines : Cocos-Caribbean).

**Figure 4.6** : Plate boundary between North America and Caribbean plates from the Polochic-Motagua faults to 75°W. A : Variation of speed (continuous line : mean speed, short dashes : 70% confidence interval, long dashes : 95% confidence interval). B : Variation of direction (continuous line : mean direction, short dashes : 70% confidence interval, long dashes : 95% confidence interval).

**Figure 4.7** : Map showing the direction variations along the North America-Caribbean plate boundary (continuous line : mean speed, short dashes : 70% confidence interval, long dashes : 95% confidence interval) (Points 1-3 : Oriente FZ. (earthquakes : Jordan, 1975), 4 : Cayman Rise (map : MacDonald & Holcombe, 1978), 5-9 : Swan FZ. (earthquakes : Jordan, 1975), 10-12 : Motagua F. (map : Plafker, 1976), 13-16 : Polochic F. (map : Burkart, 1978)).

**Figure 4.8** : Map showing the mean directions for the 3 couples of plates involving the Cocos plate, the North America plate and the Caribbean plate : traditional point of view (continuous line : Cocos-North America plate boundary, long dashes : Cocos-Caribbean plate boundary, short dashes : North America-Caribbean plate boundary).

**Figure 4.9** : Bathymetric map of the eastern part of the Central Pacific (simplified from Mammerickx and Smith, 1978 & 1981).

**Figure 4.10** : Seabeam tracks in the Middle America region, and location of the 16 Seabeam plates compiled at a scale of 16 inches per degree.

**Figure 4.11** : Variation of the 1/ type scale of Mercator projection maps as a function of latitude, from 0° to 35°N at a scale of 16 inches per degree. For other scales at the Equator, one only need a simple calculation.

**Figure 4.12** : Longitudinal profile of the Middle America Trench floor to South of Panama with the main features and the main Seabeam surveys.

**Figure 4.13** : Map showing the direction and length of the structures of the oceanic plate along the Middle America Trench from Seabeam maps (scale : 16 inches per degree).

**Figure 4.14** : Diagram showing the variation of the structure directions of the oceanic plate along the Middle America Trench as a function of longitude.

**Figure 4.15** : Circular diagrams showing the variation of the number of structures on the oceanic plate along the Middle America Trench as a function of direction (A, values from 0 to 70), and the variation of the cumulated structure lengths as a function of direction (B, values from 0 to 489).

**Figure 4.16** : Diagram showing the theoretical oceanic ridges directions one may observe on a Seabeam track when passing above a plate.

Figure 4.17 : Bathymetric section from Deep-Tow survey recorded during Pluto 1 expedition, along a line passing through DSDP Leg 67 sites off Guatemala, and showing an accretion ridge at the inner wall toe (from Moore, Lonsdale & Von Huene, 1982).

Figure 4.18 : Location of the points along the Middle America Trench and as far as 80°W, used to compute the small circles centers. Sets North, Middle South and Panama Fracture Zone-80°W : + and \* (+ : point common to both searches, \* : point added for the distance). Sets Middle North and South : pounds and dots (dot : point common to both searches, pound : point added for the distance).

Figure 4.19 : World map of the main subduction trenches showing their general arcuate shape. 1 : Greece ; 2 : Indonesia ; 3 : Tonga-Kermadec ; 4 : New Hebrides ; 5 : Yap ; 6 : West Philippines ; 7 : East Philippines ; 8 : Mariannas ; 9 : Nankai ; 10 : Bonin ; 11 : Honshu ; 12 : Kuriles-Kamchatka ; 13 : Aleutians ; 14 : Oregon ; 15 : Middle America ; 16 : Peru-Chile ; 17 : Antilles ; 18 : South Sandwiches.

Figure 4.20 : Northern Set. A : search for the circle center using distances. Search for the circle center using directions. Values and diagrams. DPOLE : distance to the pole ; DEACH : distance between adjacent points ; CDIR : computed direction ; DDIST : distance difference ; ODIR : original direction ; DDIR : direction difference.

Figure 4.21 : Middle Northern Set. A : search for the circle center using distances. Search for the circle center using directions. Values and diagrams. DPOLE : distance to the pole ; DEACH : distance between adjacent points ; CDIR : computed direction ; DDIST : distance difference ; ODIR : original direction ; DDIR : direction difference.

Figure 4.22 : Middle Southern Set. A : search for the circle center using distances. Search for the circle center using directions. Values and diagrams. DPOLE : distance to the pole ; DEACH : distance between adjacent points ; CDIR : computed direction ; DDIST : distance difference ; ODIR : original direction ; DDIR : direction difference.

Figure 4.23 : Southern Set. A : search for the circle center using distances. Search for the circle center using directions. Values and diagrams. DPOLE : distance to the pole ; DEACH : distance between adjacent points ; CDIR : computed direction ; DDIST : distance difference ; ODIR : original direction ; DDIR : direction difference.

Figure 4.24 : Panama-80°W Set. A : search for the circle center using distances. Search for the circle center using directions. Values and diagrams. DPOLE : distance to the pole ; DEACH : distance between adjacent points ; CDIR : computed direction ; DDIST : distance difference ; ODIR : observed direction ; DDIR : direction difference.

Figure 4.25 : Rivera Fracture Zone. A : search for the circle center using distances. Search for the circle center using directions. Values and diagrams. DPOLE : distance to the pole ; DEACH : distance between adjacent points ; CDIR : computed direction ; DDIST : distance difference ; ODIR : observed direction ; DDIR : direction difference.

Figure 4.26 : Location of the points along the Middle America Trench and as far as 80°W, used to compute the small circles centers, and location of these circles centers. Sets North, Middle South and Panama Fracture Zone-

80°W : + and \* (+ : point common to both research, \* : point added for the distance). Sets Middle North and South : pounds and dots (dot : point common to both researches, pound : point added for the distance). The + circles centers linked to the trench with a continuous line are computed using distances, and the \* circles centers linked to the trench with a dotted line are computed using directions.

Figure 4.27 : Longitudinal profile of the Middle America Trench axis with the cusps and earthquake sections limits, the main surveys and features are also shown.

Figure 4.28 : Relationship between the cusps mean depth (trench floor) and the circles radii (see text for details about crosses). 1 : Northern set ; 2 : Northern Middle set ; 3 : Southern Middle set ; 4 : Southern set ; 5 : Panama-80°W set ; 5' : the same corrected ; 6 : Rivera Fracture Zone. Equations are those of least square fitting lines.

Figure 4.29 : Table and graph showing the search for a unique pole of rotation for the Rivera and Tamayo fracture zones from directions. (LAT : latitude, LONG : longitude, ODIR : observed direction, DPOLE : distance to the pole, CDIR : computed direction, DDIR : direction difference (observed - computed)).

Figure 4.30 : Tentative sketch showing the closure of the Gulf of California : the southern tip of Baja California can fit well enough between the coast of Mexico near the Tres Marias islands and the present position of Rivera Fracture Zone, and so the fracture zone is in prolongation of the old trench one can partly see off Baja California.

Figure 4.31 : Map showing the maximum earthquake magnitude in the Middle America region. Thin dashes : seismicity zones limits. Thick dashes : plates boundaries. Dots : coast line. Hatched area : magnitude over 6.

Figure 4.32 : Map showing the earthquake sections with the projection line used. The frame is the limit of the magnitude map (fig. 4.31).

Figure 4.33 : Graphs showing the statistical characteristics of the earthquake sections. A : Gross number of earthquakes per magnitude class and per section. B : Normalized number of earthquakes per magnitude class and per section. C : comparison between the total gross number and the 100 km normalized number, per section. D : Stacked percentage of magnitude classes per section.

Figure 4.34 : Earthquake sections along the Middle America Trench. Open triangle : old volcano, full triangle : active volcano. The Polochic-Motagua faults are represented as a thick line above sections 16 through 18. Every 0 and 33 km normalized earthquake has been drawn at the surface. 0 km : trench axis.

Figure 4.35 : 3-D representations of the subduction plane with the different zones (see text). A & B : the plane has been drawn to the trench. C & D : the plane has been prolonged under the oceanic basins. Block length : 2610 km, width : 730 km, height : 300 km, long axis orientation : N115°E, no vertical exaggeration.

Figure 4.36 : Earthquake sections 11A & 11B coming from the division of section 11 into 2 parts (fig. 4.32 & 4.34).

Figure 4.37 : Subduction zone with cusped trench and upward convexities (Bayly, 1982).

Figure 4.38 : Diagrams showing the relationships between several parameters of subduction zones having an arcuate shape. 1 to 5 : Middle America Trench (1 : Northern, 2 : Northern Middle, 3 : Southern Middle, 4 : Southern, 5 : Panama FZ to 80°W) ; 6 : South Sandwiches ; 7 : Antilles ; 8 : Honshu ; 9 : Southern Mariannas ; 10 : Northern Mariannas ; 11 : Eastern Aleutians ; 12 : Central Aleutians ; 13 : Western Aleutians ; 14 : Ryukyu ; 15 : Western Sunda ; 16 : Kuriles-Kamchatka ; 17 : Tonga ; 18 : New Hebrides ; 19 : Kermadec.

Figure 4.39 : Costa Rica earthquake sections, covering sections 24 (a & c) and 25 (b & d) of this study. Top : local network, bottom : regional network with corrected location (Burbach, Frohlich et al., 1984).

Figure 4.40 : Plate boundaries in the Middle America Region showing the subducted Tehuantepec Fracture Zone (10) and the compressed zone at the North America-Caribbean plate boundary. Thick lines are spreading centers, thinner lines fracture zones, and triangles show direction of subduction along trenches.

## LIST OF TABLES

**Table 2.1 :** Lines crossings of the Costa Rica I survey (date, time and anomaly) and anomaly difference. (Headings are :

COUPLE no.	FIRST MEMBER			SECOND MEMBER			DIFFERENCE nT ).
	day dd	time hh mm	anomaly nT	day dd	time hh mm	anomaly nT	

**Table 2.2 :** Magnetic anomaly deviation (integrated mean is zero), and relationship between points. (Headings are :

COUPLE no.	POINT name	DAY dd	TIME hh mm	DIFFERENCE nT	).
---------------	---------------	-----------	---------------	------------------	----

**Table 4.1 :** Geographical coordinates of the sections corners used to sort earthquakes, and coordinates of the two points of each projection line.

NAME	SECTION LIMITS				PROJECTION LINE	
	W CORNER	N CORNER	E CORNER	S CORNER	ORIGIN	SECOND POINT
	lat long	lat long	lat long	lat long	lat long	lat long

**Table 4.2 :** Statistical characteristics of earthquake sections.

SECTIONS No.	EARTHQUAKES Number	WIDTH Km	EARTHQUAKES (number normalized for 100 Km)	GROSS NUMBER	NORMALIZED NUMBER	PERCENTAGE
-----------------	-----------------------	-------------	---	--------------	-------------------	------------



## INTRODUCTION

Le Fossé d'Amérique Centrale, l'un des fossés de subduction les moins profonds au monde, est situé dans un cadre tectonique régional complexe et varié (fig. 1.1) : la plaque océanique Cocos subducte sous deux plaques continentales séparées par un système de failles transformantes dont on perd la trace à terre avant même leur arrivée sur la côte pacifique ; la dorsale Est-Pacifique est très proche du fossé au Nord mais s'en éloigne de façon régulière vers le Sud. La plaque océanique elle-même présente des aspects très divers avec parmi les reliefs les plus remarquables la Zone de Fracture de Tehuantepec, qui partage la plaque en deux parties, et dans sa partie sud-orientale, une ride asismique, la Ride Cocos, qui arrive jusqu'au fossé. L'âge de la plaque en subduction est également variable le long du fossé : les forages des Legs 66 et 67 du Glomar Challenger, séparés par la Zone de Fracture Tehuantepec, ont trouvés une croûte océanique âgée de 12 MY au SE d'Acapulco (Moore, Watkins et al., 1979) et de 22 MY au large du Guatemala (Von Huene, Aubouin et al., 1980). Ces forages ont permis en outre de mettre en évidence des processus de subduction différents : les résultats du Leg 66 indiquent la présence d'une importante accréation des sédiments du fond du fossé à la base de la pente continentale, tandis que le Leg 67 a montré leur absence au large du Guatemala. Les études de sismicité avaient également permis de remarquer que le plan de subduction et le volcanisme associé présentaient aussi une certaine variabilité le long du fossé (Molnar & Sykes, 1969 ; Dean & Drake, 1978 ; Burbarch, Frolich et al., 1984).

Trois campagnes françaises (TOULAC3 et PANAC sur le Jean Charcot) et américaine (ARIADNE3 sur le Thomas Washington de la Scripps Institution of Oceanography) ont largement contribué à la cartographie des zones de forages grâce au sondeur multifaisceaux Seabeam (Renard, Aubouin et al., 1980 ; Aubouin, Stéphan et al., 1981, 1982B ; Shipley & Moore, 1984). Des levés complémentaires et des transits avaient également été effectués entre les levés principaux. C'est l'étude de l'un de ces levés, situé au large de la Baie de Nicoya (Costa Rica) à la limite de la Ride Cocos, et montrant un des aspects ponctuels les moins connus parmi ceux de la subduction des plaques océaniques sauf en théorie (Tomoda & Fujimoto, 1983), celui des conséquences de l'arrivée de seamounts dans le fond des fossés de subduction et de leur disparition sous la pente continentale, qui fait l'objet de la première partie de ce travail. La seconde partie utilise d'abord l'ensemble des données bathymétriques Seabeam recueillies le long du Fossé d'Amérique Centrale pour étudier la morphologie du fond du fossé sur toute sa longueur, puis aborde le problème des relations, dans le cadre de la tectonique globale, entre les variations de profondeur du fossé, celles de l'âge de la croûte, la présence ou l'absence d'accréation de sédiments à la base de la pente continentale, les différents aspects du plan de subduction et la variation de la distance de l'axe volcanique au fossé.

## CHAPITRE 1

### TRAVAUX ANTERIEURS

1.1	<u>LIMITES DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE</u>	1-3
1.2	<u>BATHYMETRIE</u>	1-3
1.3	<u>SISMIQUE REFLEXION ET REFRACTION</u>	1-6
1.4	<u>FORAGES DU GLOMAR CHALLENGER</u>	1-6
1.5	<u>GRAVIMETRIE ET MAGNETISME</u>	1-7
1.6	<u>SEISMICITE</u>	1-8

## TRAVAUX ANTERIEURS

Depuis les observations de Wegener (1929), puis de Holmes (1944) et Hess (1962) sur la dérive des continents, ce sont les nombreux travaux effectués en mer (en autres : Vine & Matthews, 1963, pour le magnétisme ; Heiskanen & Vening-Meinesz, 1958, pour la gravimétrie) qui ont permis à la tectonique des plaques de prendre réellement naissance dans la seconde moitié des années 60 : découvertes des failles transformantes et zones de fractures (Wilson, 1965), et calcul de la rotation des plaques sur la sphère terrestre (McKenzie & Parker, 1967), ont mené en 1968 à l'interprétation générale de la tectonique des plaques avec l'utilisation de la sismicité (Isacks, Oliver & Sykes), des zones de fractures (Morgan), et également la datation des anomalies magnétiques (Le Pichon).

A la différence des sciences de plus en plus spécialisées, l'étude de la tectonique des plaques demande l'intégration de données provenant de diverses parties des sciences de Terre : bathymétrie, magnétisme, gravimétrie, sismique, sismicité, flux de chaleur, tectonique, sédimentologie, paléontologie...

L'individualisation des grandes plaques s'est faite progressivement : celle de la plaque Cocos avait été présentée par Morgan (1968), mais Le Pichon (1968) ne l'avait pas utilisée dans son modèle. Il faudra attendre 1974 (Minster, Jordan et al) pour la voir intégrée en tant que plaque dans un modèle de tectonique des plaques mondiales.

La limite Nord-Orientale de la plaque Cocos, le Fossé d'Amérique Centrale, sujet de cette étude, est une limite tectonique importante qui avait déjà été reconnue par Benioff en 1954.

### 1.1 - LIMITES DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

Le Fossé d'Amérique Centrale proprement dit est la dépression topographique courant au pied de la pente continentale du côté pacifique de l'Amérique Centrale du Mexique à la frontière entre le Costa Rica et le Panama (fig. 1.1 et 1.2) (Fisher, 1961).

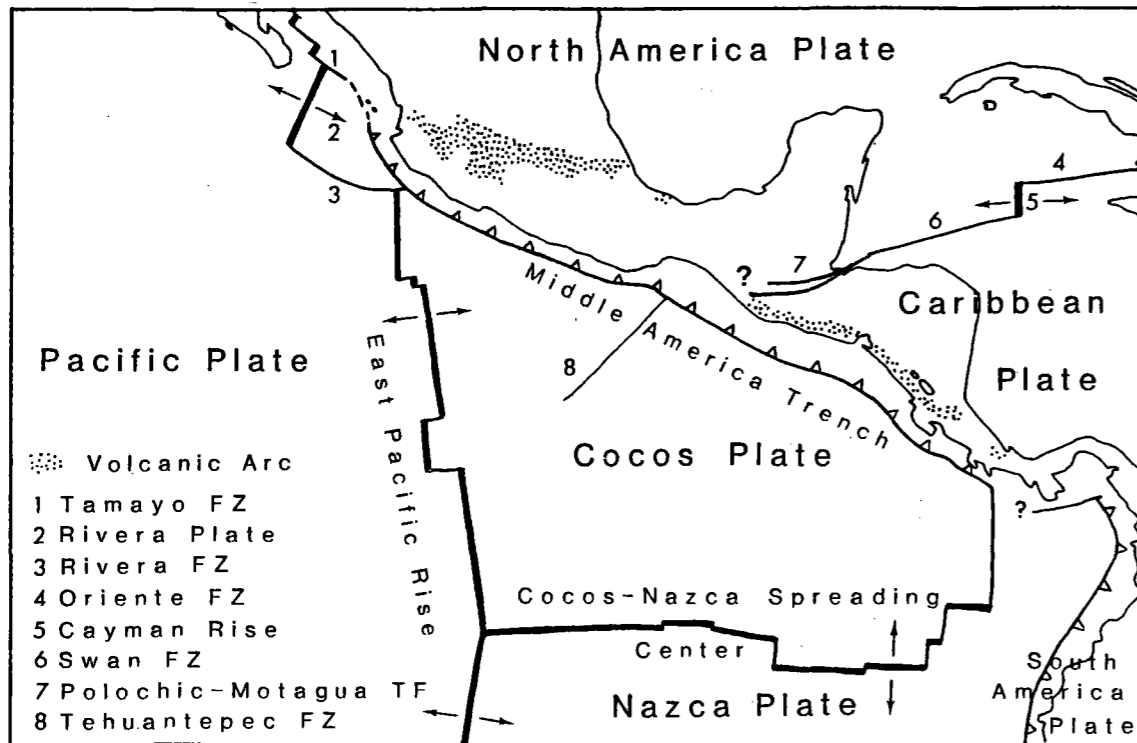
Vers le NW la subduction de la plaque Cocos s'arrête à l'intersection de la Zone de Fracture de Rivera avec le Fossé mais la dépression bathymétrique se poursuit au pied de la pente continentale jusqu'en face des Iles Tres Marias, où subducte la plaque Rivera (Nixon, 1982).

Les vitesses de subduction de chaque côté de l'intersection avec la Zone de Fracture de Rivera sont très différentes : de l'ordre de 2 cm par an au Nord (Nixon, 1982), et de plus de 5 cm au Sud (Roump, 1981).

Au Sud-Est la subduction de la plaque Cocos se termine le long de la Zone de Fracture de Panama (Minster, Jordan et al., 1974), mais au-delà on peut encore voir dans la bathymétrie la trace d'une ancienne ligne de subduction (fig. 1.2).

L'actuel Fossé d'Amérique Centrale est un des vestiges de la zone de subduction de la Plaque Farallon qui se prolongeait au Nord le long de la Basse Californie, de la côte Ouest des Etats-Unis, et au Sud le long de l'Amérique du Sud (Menard, 1978). Les relations actuelles entre la subduction le long du Fossé d'Amérique Centrale et le long de la Colombie

ne sont pas très claires : selon le modèle RM2 de Minster et Jordan (1978) il devrait exister une zone de fracture entre l'intersection Fossé d'Amérique Centrale - Zone de Fracture de Panama, et l'extrémité Nord du Fossé de Colombie au large de la frontière entre le Panama et la Colombie.



**Figure 1.1 :** Carte schématique des limites de plaques dans la région d'Amérique Centrale. Les traits épais indiquent les rides d'accrétions, les traits plus fins les zones de fracture, et les triangles indiquent le sens de la subduction le long des fossés

### 1.2 - BATHYMETRIE

Benioff (1954) fut le premier à relever l'originalité de la topographie sous-marine au large du Mexique et de l'Amérique Centrale due à la présence d'un fossé qui semblait se prolonger sous cette région par un plan formé de séismes. Ces observations et celles qu'il avait faites dans d'autres régions du globe (Benioff, 1949, 1954) ont contribué avec la découverte de la symétrie des anomalies magnétiques de chaque côté de la Dorsale Atlantique (Vine & Matthews, 1963) à l'établissement de la théorie de la tectonique des plaques : la croûte océanique créée le long des dorsales disparaît le long des fossés.

Le premier travail important de bathymétrie fut publié en 1961 par Fisher. Malgré sa date relativement ancienne il reste le travail le plus complet

et le plus précis qui ait été fait à ce jour sur l'ensemble du Fossé d'Amérique Centrale. Depuis lors les études concernant le fossé furent des études de détails. Les relevés Seabeam de 1980 et 1981, réalisés par le Jean Charcot sur des sites des forages du Glomar Challenger (Legs 66 et 67) furent les premiers à révéler la complexité réelle et la variété des fonds le long du fossé : structures océaniques en rides allongées obliques par rapport à l'axe du fossé, morphologie variable de la pente continentale (rectiligne, avec des rides et bassins, ou de simples marches d'escalier parallèles au fond du fossé) (Renard, Aubouin et al., 1980 ; Aubouin, Azéma et al., 1980 ; Aubouin, Stéphan et al., 1981 et 1982 ; Roump, 1981 ; Shipley et Moore, 1984).

### 1.3 - SISMIQUE REFLEXION ET REFRACTION

Les recherches de Shor et Fisher en 1961, en sismique réfraction furent suivies en 1965 par des profils de sismique réflexion (Ross et Shor) mais la qualité des enregistrements et les émetteurs utilisés ne permettaient de voir qu'une variation le long du fossé et de distinguer une partie océanique d'une partie continentale. Les profils permettaient cependant de voir l'accumulation privilégiée de sédiments au fond du fossé et d'observer les sédiments de la partie océanique se prolongeant sous eux, mais le plongement du socle basaltique lui-même sous le continent n'était pas visible.

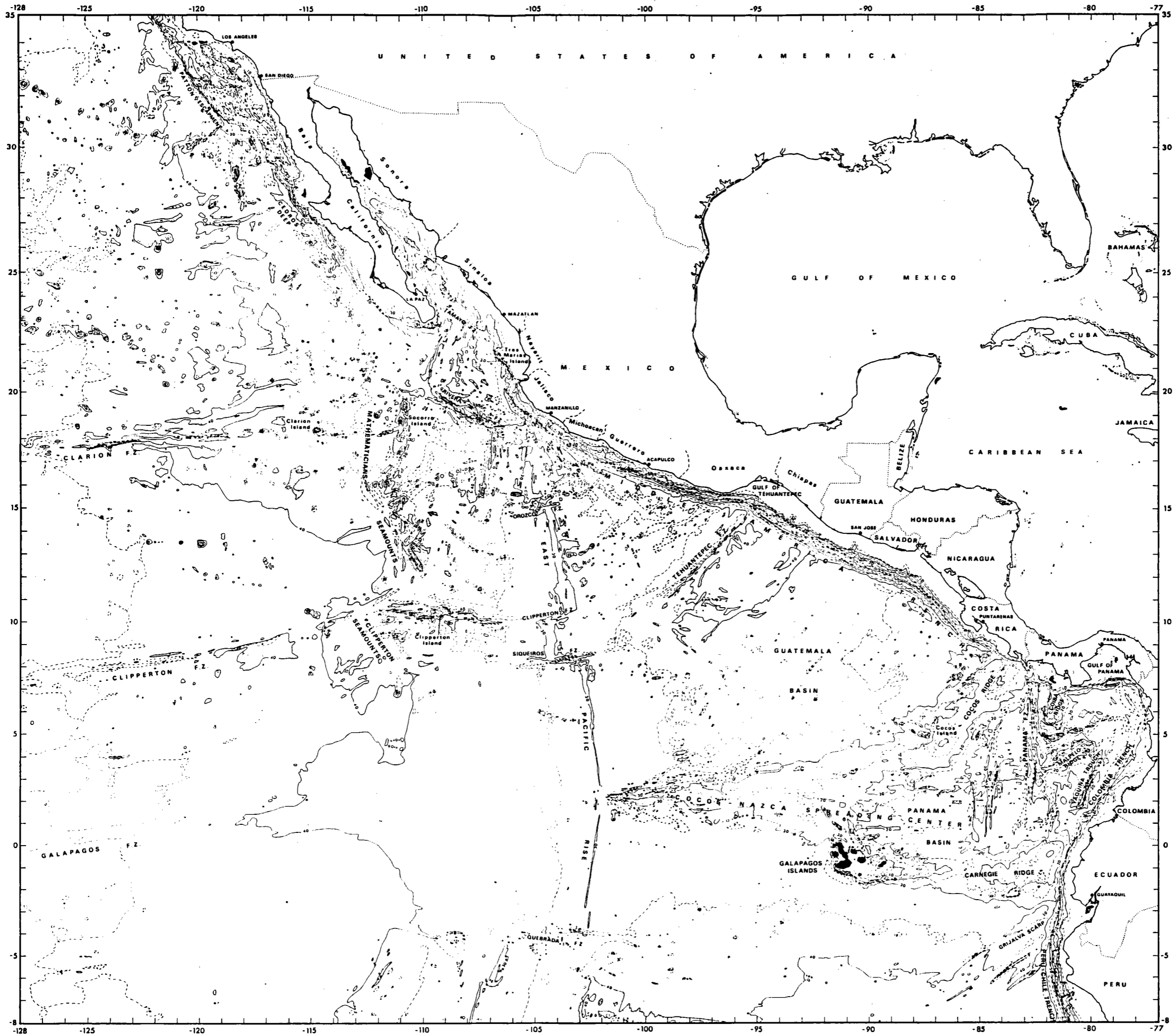
Après l'avènement de la théorie de la tectonique des plaques, l'évènement le plus important de la recherche sur les fossés de subduction fut la publication de la présence d'un prisme d'accrétion au large du Guatemala par Seely, Vail & Walton en 1974 : si les profils sont difficilement interprétables pour la présence d'un prisme d'accrétion par contre le plongement de la croûte océanique sous la pente continentale est indéniable.

Cette publication fut à l'origine de nouvelles recherches le long du Fossé d'Amérique Centrale : les moyens étaient beaucoup plus modernes que ceux des années 50 et 60 et servirent à choisir les sites de forages du Glomar Challenger : au Sud-Est d'Acapulco étant donné la présence de Précambrien très près du fossé on s'attendait à trouver sinon de l'érosion tectonique au moins une limite stable entre l'océan et le continent, par contre au large du Guatemala, sur la base des profils de Seely, Vail et al. (1974) et d'autres plus récents (Ladd, Ibrahim et al., 1978), la présence d'un prisme d'accrétion ne faisait pas de doute.

### 1.4 - FORAGES DU GLOMAR CHALLENGER

Les résultats des deux séries de forages au large d'Acapulco (Leg 66) et au large du Guatemala (Leg 67) furent très surprenants : la présence d'un

**Figure 1.2 :** Carte bathymétrique du Pacifique Centre-Oriental (simplifiée d'après Mammerickx & Smith, 1978 et 1981) --->



prisme d'accrétion bien développé fut découverte au SE d'Acapulco (Moore, Watkins et al., 1979 A et B, 1981 & 1982 ; Shipley, McMillen et al., 1980, Watkins, McMillen et al., 1981) par contre au large du Guatemala son absence a été démontrée : la marche d'escalier la plus basse montre même une subsidence de plusieurs milliers de mètres depuis le Crétacé (Aubouin, Von Huene et al., 1979 ; Von Huene, Aubouin et al., 1980 ; Leg 84 Shipboard Party, 1982)

Les autres enseignements des Legs 66 et 67 du Glomar Challenger furent de permettre une datation précise de la croûte océanique à quelques kilomètres du fond du fossé : environ 12 M.A. au Mexique et 22 M.A. au Guatemala. Etant donnée la présence de la Zone de Fracture Tehuantepec entre les deux legs, aucune interpolation n'est possible. Le forage de roches serpentinisées sur la pente continentale au large du Guatemala explique la présence d'une forte anomalie gravimétrique positive sous le plateau continental depuis le Golfe de Tehuantepec au NW jusqu'au Costa Rica, où des ophiolites affleurent dans les presqu'îles de Santa Hélène et de Nicoya (Couch & Woodcock, 1981).

Les résultats des forages du Leg 84, au large de la presqu'île de Nicoya et du Guatemala n'apportèrent pas de modification au modèle déjà établi (Leg 84 Shipboard Party, 1982).

### 1.5 - GRAVIMETRIE ET LE MAGNETISME

La gravimétrie ne fit jamais l'objet d'études de détail le long du Fossé d'Amérique Centrale et à part son apport sur le plateau continental entre le Golfe de Tehuantepec et la presqu'île de Nicoya pour déduire la présence d'ophiolites, les conclusions que l'on peut en tirer concernent surtout le bombement externe du fossé (Couch & Woodcock, 1981). En effet ce bombement est peu visible dans la topographie à petite échelle et les anomalies gravimétriques permettent de le localiser avec un peu de précision.

Le magnétisme a été très peu utilisé le long du Fossé d'Amérique Centrale pour une simple raison : le domaine privilégié des études de magnétisme concerne la croûte océanique des bassins et nécessite le plus souvent des zones d'exploration longues et larges pour pouvoir corrélérer les anomalies. Les seules cartes d'anomalies magnétiques publiées proviennent des recherches entreprises pour la sélection des sites de forages du Glomar Challenger : les lignes de sismique réflexion étaient assez proches pour qu'une carte puisse être tirée des données magnétiques enregistrées en même temps. Ces cartes montrent que des anomalies s'alignent non pas de façon méridiennes, parallèlement à l'actuelle Dorsale Est-Pacifique, ni parallèlement au fossé mais obliquement à celui-ci (Ladd, Ibrahim et al, 1978 ; Shipley, McMillen et al., 1980). Les levés Seabeam du Charcot révélèrent également l'obliquité des structures tectoniques, bien que les directions soient sensiblement différentes au Leg 67 (Aubouin, Stéphan et al., 1981 et 1982).

Il est intéressant de regarder les interprétations des données magnétiques concernant la partie de l'Océan Pacifique directement à l'Ouest de la zone de subduction. Au Sud de la Zone de Fracture de Tehuantepec, jusqu'à environ 5°N vers le Sud, et 100°W vers l'Ouest la carte des anomalies magnétiques est encore particulièrement vierge (Herron, 1972, voir fig.

## TRAVAUX ANTERIEURS

3.23). En effet, on a pu reconnaître les anomalies récentes de part et d'autre de l'axe de la dorsale, et les anomalies liées à l'expansion Nord-Sud le long de la Ride Cocos-Nazca, mais celles du Bassin du Guatemala restent un mystère, mis à part le coin entre les deux rides interprété par Herron (1972) comme ayant une direction oblique. La zone située au Nord du 10ème parallèle a été interprétée par Klitgord et Mammerickx (1982). Leur vision très régulière et continue de l'expansion des fonds océaniques n'est pas vérifiée par les données des transits Seabeam où les changements de direction sont généralement brutaux (Roump, 1981).

### 1.6 - SEISMICITE

La séismicité de la région d'Amérique Centrale a servi dès 1954 (Benioff) à reconnaître un plan de faille incliné sous le continent rejoignant la surface au fossé d'Amérique Centrale.

Les localisations de plus en plus précises, en latitude, longitude et profondeur (Molnar & Sykes, 1969 ; Stoiber & Carr, 1974 ; Carr & Stoiber, 1974 et 1977 ; Dewey & Algermissen, 1974 ; Leeds, 1974 ; Carr, 1976 ; Plafker, 1976 ; Hanus et Vanek, 1977 ; Dean & Drake, 1978 ; Bucknam, Plafker & Sharp, 1978 ; McNally & Minster, 1981 ; Harlow, White & Cifuentes, 1981 ; Chael & Stewart, 1982 ; Lamoreaux, Uribe & Nyland, 1983) ont permis de reconnaître trois types de séismes d'origine différentes : ceux en relation avec le système de failles transformantes Polochic-Motagua, ceux liés à la zone de subduction, et ceux liés au volcanisme, celui-ci étant par ailleurs étroitement lié à la subduction, mais avec une certaine originalité le long du Fossé : alors qu'au Sud de la Zone de Fracture de Tehuantepec la ligne volcanique est sensiblement parallèle au fossé, au Nord de la zone de fracture elle est franchement oblique, s'éloignant du fossé de l'Ouest, dans l'Etat de Nayarit, vers l'Est, jusqu'au Golfe du Mexique, aux environs de 95°W (fig. 1.1).

Les principales conclusions des études de la séismicité concernant d'abord la magnitude des événements : aucuns des séismes enregistrés n'a atteint ou dépassé la magnitude 8 sur l'échelle de Richter, ce qui en fait une région relativement peu active si on la compare à d'autres régions du même type dans le monde comme le Japon, l'Alaska, ou le Chili. Les séismes sont moins nombreux et moins profonds au Nord de la Zone de Fracture de Tehuantepec qu'au Sud (Hanus et Vanek, 1977) ; les plans de subduction principaux semblent divisés en de nombreuses sections (Stoiber et Carr, 1974 ; Carr et Stoiber, 1974 ; Carr, 1976 ; Carr et Stoiber, 1977).

Un des aspects importants de la séismicité dans cette région d'Amérique Centrale est la présence du système de failles transformantes Polochic-Motagua. Celles-ci séparent les plaques Amérique du Nord et Caraïbes au Guatemala. En fait on a affaire à une faille unique dans la Mer des Caraïbes portant le nom de Zone de Fracture de Swan et c'est seulement à terre que celle-ci se dédouble et même se détriple : au Sud, la moins connue est la faille Jocotan, c'est aussi la plus courte. Parallèlement, à 25-30 km plus au Nord se trouve la faille Motagua, mais celle-ci n'est pas reconnue à l'Ouest de 91°W ; par contre la faille Polochic qui court subparallèle à la faille Motagua atteint presque le Pacifique, mais elle commence à se diviser avant 92°W, la branche sud déchirant l'extrémité méridionale du massif de Chiapas, au Mexique (Burkart, 1978). Il n'a jamais été prouvé que le système transformant actif atteignait

actuellement le Golfe de Tehuantepec, pourtant les reconstructions paléotectoniques en font une limite importante : certains prolongeant la zone active actuelle vers le Nord et le Golfe de Tehuantepec (Salvador et Green, 1981), d'autres préférant donner au système une inflexion vers le Sud-ouest (Sykes et al., 1982).



## CHAPITRE 2

### LES DONNEES ET LEUR TRAITEMENT

2.1	<u>DONNEES MARINES UTILISEES</u>	2-2
2.1.1	Données provenant du Jean Charcot	2-2
2.1.2	Données provenant du Thomas Washington	2-2
2.2	<u>SEABEAM</u>	2-2
2.2.1	Description générale	2-4
2.2.2	Rejeu	2-4
2.3	<u>SISMIQUE REFLEXION</u>	2-4
2.4	<u>MAGNETISME</u>	2-7
2.5	<u>DONNEES DE LA SEISMOLOGIE</u>	2-11

## LES DONNEES ET LEUR TRAITEMENT

La plupart des données utilisées dans ce travail proviennent de récentes campagnes des navires océanographiques français (Jean Charcot) et américain (Thomas Washington de la Scripps Institution of Oceanography, San Diego). Elles comprennent des données du sondeur multifaisceaux Seabeam équipant les deux bateaux, des données de sismique réflexion et de magnétisme recueillies sur le Thomas Washington. Des données de séismicité provenant du NGSDC de Denver, Colorado, disponibles à la banque de données de l'IFREMER ont également été utilisées.

### 2.1 - DONNEES MARINES UTILISEES (fig. 2.1)

#### 2.1.1 - Données provenant du Jean Charcot

La première campagne du Charcot dont les objectifs furent le Fossé d'Amérique Centrale eut lieu du 20 au 27 Mars 1980 de Panama à Acapulco, Mexique (TOULAC3). Cette courte mission avait pour but la cartographie Seabeam des sites des Legs 66 et 67 du Glomar Challenger proches du fossé.

La seconde mission fut un simple transit entre Panama et Acapulco, mais elle compléta les données recueillies lors du premier passage, elle eut lieu du 13 au 19 Décembre 1980 (PANAC).

D'autres campagnes traversèrent le Fossé d'Amérique Centrale : le début SEANOD1 et 2, la fin de SEANOD4, et le début et la fin de CLIPPERTON. Une partie de la campagne SEARISE1 a également été utilisée.

#### 2.1.2 - Données provenant du Thomas Washington

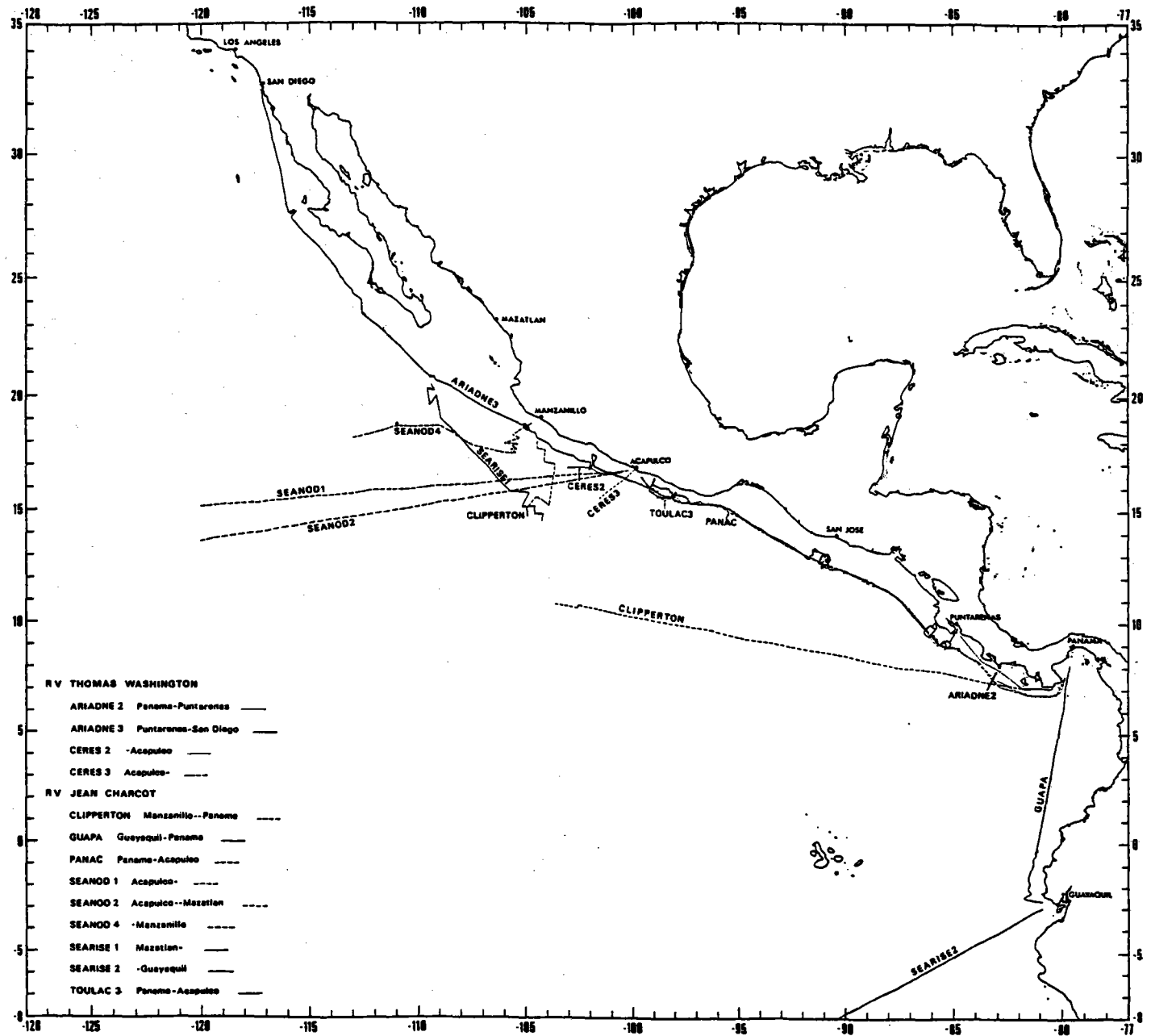
La seconde source principale de données provient d'une campagne de trois semaines le long du Fossé d'Amérique Centrale (ARIADNE3), de Puntarenas, Costa Rica, à San Diego, Californie (6-28 Avril 1982). L'objectif de cette mission était d'effectuer le levé Seabeam et sismique de zones situées le long du fossé : la première au large de la Baie de Nicoya (Costa Rica), la seconde au large de la Presqu'île de Nicoya et couvrant la zone du Site 565 du Glomar Challenger (Leg 84), la troisième au large du Guatemala pour compléter le relevé du Charcot sur les sites des Legs 67 et 84, et la quatrième s'étendant dans la région du Leg 66, d'autres levés de moindre importance ont également été réalisés.

D'autres campagnes traversèrent le Fossé entre Janvier et Octobre 1982, d'abord la fin d'ARIADNE2, de Panama à Puntarenas (Costa Rica), puis la fin de CERES2, et le début de CERES3.

### 2.2 - SEABEAM

Le Seabeam est un sondeur multifaisceaux dont la qualité des données est essentielle pour permettre l'étude détaillée des structures et leur orientation (Renard, Needham, 1983).

**Figure 2.1 :**  
 Plan de position  
 des différentes  
 campagnes dont  
 les données ont  
 été utilisées  
 dans ce travail



## LES DONNEES ET LEUR TRAITEMENT

### 2.2.1 - Description générale

Le sondeur est constitué d'une base émettrice (20 projecteurs) et d'une base réceptrice (40 hydrophones). La zone insonifiée a une longueur égale à la profondeur d'eau transversalement au navire, et une largeur de  $2\frac{2}{3}$ . Les 16 bandes réceptrices sont allongées dans le sens du bateau et ont chacune une largeur égale à  $2\frac{2}{3}$  et une longueur de 20". Il en résulte que la bande explorée, d'une largeur égale aux  $\frac{2}{3}$  de la profondeur d'eau, est composée de 16 carrés de  $2\frac{2}{3}$  de côté. Le tangage et le roulis sont pris en compte dans la correction des angles d'émission et de réception. La déviation du trajet des ondes sonores est également corrigée par les tables de Matthews et autres données soit publiées, soit acquises à bord, mais une vitesse constante du son dans l'eau de 1500 m/s est utilisée pour le calcul des sondes (Allenou et Renard, 1978 ; Renard et Allenou, 1979).

### 2.2.2 - Rejeu

Le rejeu des données Seabeam est nécessaire quand la précision de la navigation n'est pas suffisante pour assurer sur deux lignes qui se croisent une bonne superposition des structures identiques.

Le but du rejeu consiste donc à reconnaître le maximum des structures identiques sur des lignes qui se croisent et à placer la carte obtenue après correction de la navigation, dans un repère géographique aussi bon que possible à l'aide des meilleurs fixes satellites enregistrés durant le levé.

## 2.3 - SISMIQUE REFLEXION

La sismique réflexion est un excellent complément du Seabeam et les bandes jointives du Seabeam permettent d'étudier précisément la variabilité des différents niveaux de réflecteurs sur les profils de sismique réflexion.

Les profils de sismique réflexion enregistrés à bord du Thomas Washington ont été tirés à partir de canons à eau (French et Henson, 1978). Les canons à eau donnent une meilleure définition à l'enregistrement sismique mais par contre la pénétration est plus faible que celle des canons à air. Les canons utilisés avaient une capacité de 80 pouces cubiques (1.3 litre), et les tirs se faisaient toutes les 10 secondes avec deux canons simultanément. Les données ont été digitalisées puis enregistrées après multiplexage sur bande magnétique immédiatement et sans aucun filtrage en fréquence. Le signal de chaque tir a été échantillonné toutes les millisecondes pendant 4 secondes.

Tous les rejeux ont été réalisés à Scripps, avec le logiciel de traitement des données sismiques développé par Paul Henkart et Tom Shipley, sur un Prime avec 'array processor'. Les sorties ont été faites sur un traceur Versatec. Parmi les nombreuses options proposées, le choix s'est porté sur un traitement classique : filtrage (20-100 Hz, et pour certains lignes 20-60 Hz), élimination du signal au-dessus du fond, et un AGC (automatic gain control) d'une demi-seconde pour faire apparaître les réflecteurs profonds (fig. 2.2). La limite de lisibilité étant d'environ  $\frac{1}{20}$ e de seconde temps double, la couche la plus mince encore visible est épaisse d'au moins 50 m pour des sédiments ayant une vitesse moyenne de propagation du son de 2

km/s et d'au moins 160 m pour des basaltes (vitesse de 6.5 km/s).

L'entête de la figure 2.2 est commune à tous les profils, les seules données variables sont : les dates et heures d'enregistrement et de traitement, le retard à l'enregistrement (DELAY), STIME, ETIME et DIR.

La plupart des profils ont été effectués à une vitesse moyenne proche de 9 noeuds, cependant parmi les profils étudiés, il faut noter que le profil 5 a été enregistré à une vitesse moyenne de 6.2 noeuds, et le profil 7 à une vitesse moyenne de 7.7 noeuds.

```

PLOTTED ON SUN, 31 OCT 1982      AT 20:42:04
C 1 UNIVERSITY OF CALIFORNIA      SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY
C 2 LINE 23
C 3 REEL NO      127      DAY 0096      YEAR 1982
C 4              DUAL CHANNEL SEISMIC RECORDING SYSTEM
C 5              TRACE 1 = REFLECTION
C06 MIDDLE AMERICA TRENCH      ARIADNE LEG 03      R/V T.WASHINGTON
C07 COSTA RICA I SURVEY
C 8
C 9      LINE 23
C10
C11
C12
C13
C14 PROCs : INPUT WBT FILTER MUTE AGC OUTPUT
C15 FILTER 20-100
C16 AGC 0.5
C17 DEF .11
C18 TRPIN 32
C19
C20
C21
C22
C23
C24
C25
C26
C27
C28
C29
C30
C31
C32
C33 DATA SHOT ON 9APR.1982 AT 04Z
C34 FIRST TRACE IS 4000 SAMPLES LONG, SI= 0.00100, DELAY= 3.000
C35 PLOT PARAMETERS:
C36 IREELN 94 FIS 0 LIS 0 ISINC 1 FTR 2100 LTR 2497 TRINC 1
C37 FRP 0 LRP 0 RPINC 1 STIME 2.000 ETIME 7.000 POL 1 SPACE 1
C38 AGCWL 0.000 ANNTYP 4 ANNINC 10 FTAG 1 TAGINC 30 FSPACE 0 DECIMF 2
C39 NSPACE 0 TRPIN 32.00 VSCALE 3.125 DEF 0.110 RMULT -1.000000
C40 PASS 0.00 0.00 FILLEN 0.160 PCTFIL 100.0 BIAS 0. DIR RTL
    
```

**Figure 2.2** : Exemple d'en-tête de profil de sismique réflexion. Explications tirées de 'A Description of Computer System SIOSEIS' par Paul Henkart :

Ligne 1 : date et heure du traitement.

Lignes C1 à C32 : Commentaires introduits par l'utilisateur :

C3 : numéro de bande magnétique utilisée, jour julien et année des données à traiter.

C6 et C7 : lieu du levé, noms de la campagne et du navire.

C9 : numéro de profil.

C14 : noms des traitements effectués (WBT = Water Bottom Time ; Filtre ; Mute = mise à zéro de la trace de la surface au fond défini dans le fichier WBT ; AGC = Automatic Gain Control).

C15 : bande passante du filtre utilisé (ici 20-100 Hz).

C16 : amplitude maximum du dessin le long de chaque trace (ici 0.11 pouce).

C17 : nombre de traces par pouces

## LES DONNEES ET LEUR TRAITEMENT

Lignes C33 à C40 : Caractéristiques données au dernier programme préparant le tracé.

C33 : date et heure du premier tir dessiné.

C34 : le texte signifie que l'enregistrement de la première trace contient 4000 points, que l'intervalle d'échantillonnage est de 1/1000e de seconde, et que le premier point de la trace a été enregistré avec un retard de 3 secondes.

C36 : IREELN : numéro de bande d'origine.

FIS, LIS et ISINC : non utilisés.

FTR : numéro de la première trace à dessiner.

LTR : numéro de la dernière trace du profil.

TRINC : incrément entre les traces à dessiner.

C37 : FRP, LRP et RPINC : non utilisés.

STIME : distance en s entre la surface et le début du tracé.

ETIME : distance en s entre la surface et l'extrémité de la trace.

POL : polarité des données.

SPACE1 : non utilisé.

C38 : AGCWL : longueur de la fenêtre AGC (=0 dans ce cas car le traitement a déjà été effectué).

ANN TYP : type d'annotation utilisée sur la bande (4 = heure GMT du tir).

ANN INC : incrément entre les annotations sur la bande.

FTAG : numéro de la première trace à annoter sur la sortie graphique.

TAG INC : incrément entre traces à annoter sur le dessin (un TAG INC de 30 donne une annotation toutes les 5 mn car les tirs avaient lieu toutes les 10 secondes).

FSPACE : non utilisé.

DECIMF : facteur de décimation pour garder un nombre raisonnable de points à dessiner le long de la trace (utilisé pour les petites échelles) (une DECIMF de 2 permet de dessiner un point sur 2 le long de la trace).

C39 : NSPACE : non utilisé.

TRPIN : nombre de traces par pouces (échelle horizontale), multiple de 8.

VSCALE : nombre de pouces par seconde (échelle verticale).

DEF : distance entre les valeurs minimale et maximales pour chaque trace en pouce.

RMULT = -1 : la variable DEF est utilisée pour toutes les traces.

C40 : PASS : valeurs inférieure et supérieure de la bande passante (les 2 zéros indiquent ici que le filtrage a été effectué lors d'un précédent traitement).

FILLEN : non utilisé.

PCTFIL : côté de la trace noirci (100 : valeurs positives ombrées).

BIAS : non utilisé.

DIR : direction du tracé pour garder le Nord ou l'Est de chaque ligne sur la droite (RTL = de droite à gauche).

2.4 - MAGNETISME

Les données utilisées ne concernent que la mission ARIADNE2 du Thomas Washington avec une valeur moyenne enregistrée toutes les 5 mn, ceci afin d'éliminer le bruit dû au mouvement du bateau, et à celui des vagues. Le premier travail fut l'impression à l'IFREMER des valeurs du champ total mesuré, des valeurs du champ théorique calculées à partir du modèle IGRF 1980 (IAGA, 1981) et des valeurs calculées de l'anomalie.

Pour le levé 'Costa Rica I', étant donné l'absence de station d'enregistrement à terre, la première étape du rejeu a consisté à reporter les valeurs des anomalies sur un plan de position corrigé à l'aide des données Seabeam (Annexe 1) (voir fig. 3.2). Cette première carte a révélé des différences pouvant atteindre 60 nT à certains croisements de lignes, pour une amplitude totale de 400 nT environ, ce qui rend les données inutilisables sans correction préalable. Ces différences peuvent être dues à la variation solaire diurne, non négligeable dans les régions proches de l'Equateur (fig. 2.3) ou à des orages magnétiques.

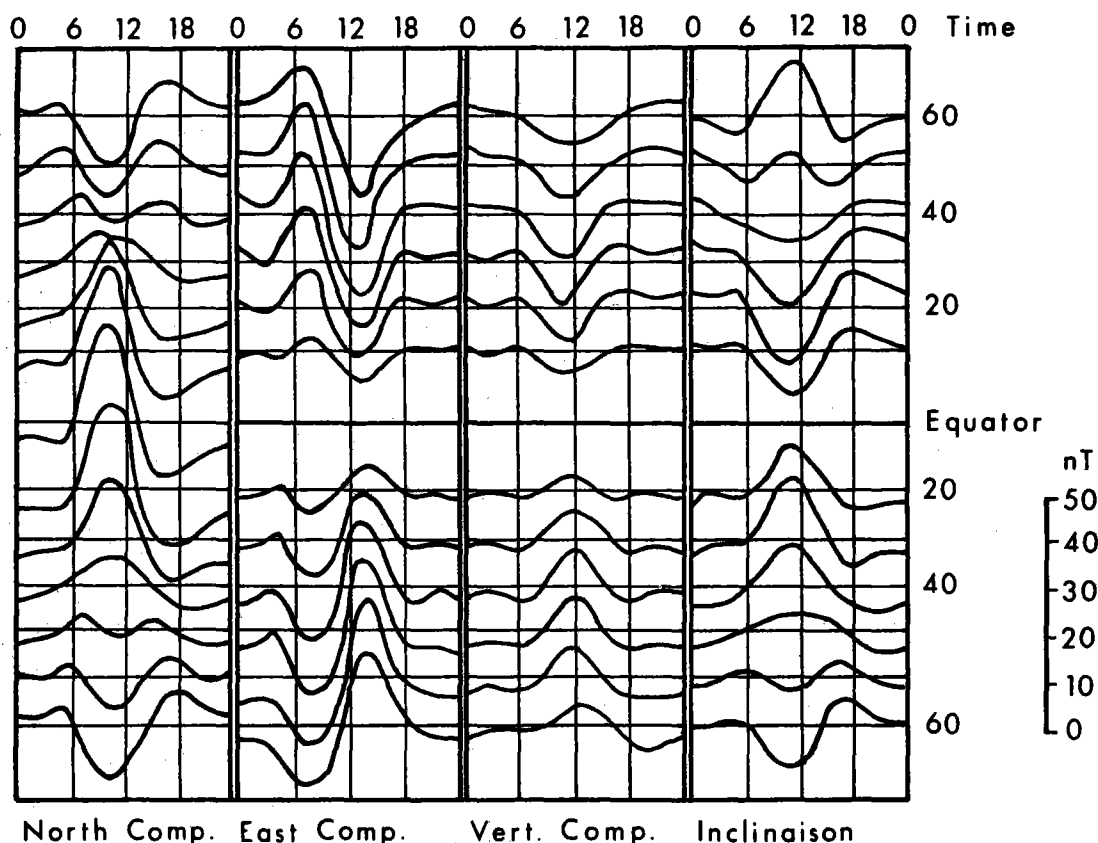


Figure 2.3 : Variation solaire diurne de quatre éléments du champ magnétique de 10° en 10° entre 60°N et 60°S à l'équinoxe (d'après Dobrin, 1976)

## LES DONNEES ET LEUR TRAITEMENT

Les croisements n'étant pas répartis de façon régulière, autorisant une correction automatique, celle-ci a due être faite manuellement. Pour chaque croisement, les heures et valeurs du champ ont été soigneusement notées, interpolées quand nécessaire. Seuls les croisements où le champ devait être interpolé et où les variations étaient rapides n'ont pas été utilisés (tableau 2.1).

Ensuite (tableau 3.2), à partir de l'ensemble des couples de points, en considérant que la variation du champ était nulle en un quart d'heure, et en partant d'un couple de points ayant la même anomalie (1:09 le 8 : point A1, 13:31 le 7 : point A2), le traitement a consisté à reporter la différence entre l'anomalie observée et l'anomalie réelle à un point proche en temps d'un des points du premier couple (1:16 le 8 : point A3),

**Tableau 2.1** : Croisements des routes de la boîte Costa Rica I (heures et anomalie) et différence d'anomalie.

COUPLE no.	PREMIER MEMBRE			SECOND MEMBRE			DIFFERENCE nT
	jour JJ	heure hh mm	anomalie nT	jour JJ	heure hh mm	anomalie nT	
1	7	11 17	-43	8	6 46	-86	-43
2	7	11 20	-41	8	1 16	-47	-6
3	7	13 31	-51	8	1 09	-50	1
4	7	13 41	-51	8	7 03	-90	-39
5	7	14 48	154	8	8 20	107	-47
6	7	16 12	9	8	0 53	-33	-42
7	7	16 25	-26	8	9 49	-86	-60
8	7	17 40	32	8	0 40	-1	-33
9	7	19 00	69	8	11 22	45	-24
10	7	20 10	100	8	14 20	92	-8
11	7	20 15	106	8	14 16	99	-7
12	7	20 25	107	8	14 10	101	-6
13	7	20 30	107	8	14 04	100	-7
14	7	20 45	85	8	13 55	76	-9
15	7	21 37	24	8	0 10	12	-12
16	7	22 15	-124	9	3 25	-166	-42
17	7	23 40	18	9	3 55	3	-15
18	8	0 22	2	8	13 18	4	2
19	8	0 31	1	8	12 43	11	10
20	8	0 48	-17	8	10 07	-36	-19
21	8	0 58	-45	8	9 28	-43	2
22	8	16 20	79	9	4 01	16	-63
23	8	16 43	70	9	7 05	25	-45
24	8	17 20	109	9	6 52	88	-21
25	8	17 36	105	9	4 08	60	-45
26	8	17 55	76	9	5 05	43	-33
27	8	19 44	88	9	5 17	67	-21
28	8	19 54	94	9	4 50	78	-16
29	8	20 05	92	9	4 19	77	-15
30	8	20 20	123	9	6 40	137	14
31	8	21 42	66	9	6 30	76	10
32	8	22 00	31	9	4 40	27	-4
33	9	1 21	-125	9	9 10	-108	-17



**Tableau 2.2** : Déviation de l'anomalie magnétique (la moyenne intégrée sur les deux jours est nulle), et relations entre les points.

COUPLE no.	POINT nom	JOUR JJ	HEURE hh mm	DIFFERENCE nT
1	A 5	7	11 17	0
2	A 4	7	11 20	0
3	A 2	7	13 31	-6
4	A 7	7	13 41	-6
5	C 1	7	14 48	14
6	A20	7	16 12	36
7	B 2	7	16 25	46
8	A22	7	17 40	30
9	D 2	7	19 00	15
10	E 1	7	20 10	13
11	E 2	7	20 15	13
12	E 3	7	20 25	13
13	E 4	7	20 30	12
14	E 5	7	20 45	12
15	A18	7	21 37	10
16	F 1	7	22 15	7
17	F 2	7	23 40	0
15	A17	8	0 10	-2
18	A15	8	0 22	-2
19	A13	8	0 31	-3
8	A21	8	0 40	-3
20	A11	8	0 48	-4
6	A19	8	0 53	-4
21	A 9	8	0 58	-5
3	A 1	8	1 09	-5
2	A 3	8	1 16	-6
1	A 6	8	6 46	-43
4	A 8	8	7 03	-45
5	C 2	8	8 20	-33
21	A10	8	9 28	-3
7	B 1	8	9 49	-14
20	A12	8	10 07	-23
9	D 1	8	11 22	-9
19	A14	8	12 43	7
18	A16	8	13 18	0
14	E 6	8	13 55	3
13	E 7	8	14 04	5
12	E 8	8	14 10	7
11	E 9	8	14 15	6
10	E10	8	14 20	5
22	G 2	8	16 20	51
23	G24	8	16 43	60
24	G 5	8	17 20	41
25	G 4	8	17 36	37
26	G 7	8	17 55	33
27	G15	8	19 44	16
28	G14	8	19 54	14
29	G12	8	20 05	9
30	G17	8	20 20	8

# LES DONNEES ET LEUR TRAITEMENT

COUPLE no.	POINT nom	JOUR JJ	HEURE hh mm	DIFFERENCE nT
31	G18	8	21 42	0
32	G13	8	22 00	-2
33	G21	9	1 21	-21
16	F 3	9	3 25	-32
17	F 4	9	3 55	-15
22	G 1	9	4 01	-12
25	G 3	9	4 08	-8
29	G 9	9	4 19	-6
32	G10	9	4 40	-4
28	G11	9	4 50	-2
26	G 8	9	5 05	0
27	G16	9	5 17	-5
31	G20	9	6 30	10
30	G19	9	6 40	22
24	G 6	9	6 52	20
23	G23	9	7 05	15
33	G22	9	9 10	-38

## RELATIONS ENTRE LES POINTS avec :

A1 : origine  
 type A1-A2 : relation directe (croisement)  
 type (A1)-A3 : A3 estimé à partir de A1  
 type B1(A10-A12) : B1 moyenné entre A10 et A12

### Groupe A :

A1 A1-A2 (A1)-A3 A3-A4 (A4)-A5 A5-A6 (A2)-A7 A7-A8  
 (A1)-A9 A9-A10 (A9)-A11 A11-A12 (A9)-A13 A13-A14  
 (A1)-A15 A15-A16 (A1)-A17 A17-A18 (A1)-A19 A19-A20  
 (A1)-A21 A21-A22

### Groupes B, C et D :

B1(A10-A12) B1-B2  
C1(A7-A20) C1-C2  
D1(A12-14) D1-D2

### Groupe E :

E1(D2-A18) E2(D2-A18) E3(D2-A18) E4(D2-A18) E5(D2-A18)  
E1-E6 E2-E7 E3-E8 E4-E9 E5-E10

### Groupe F :

F1(A18-A17) F2(A18-A17) F1-F3 F2-F4

### Groupe G :

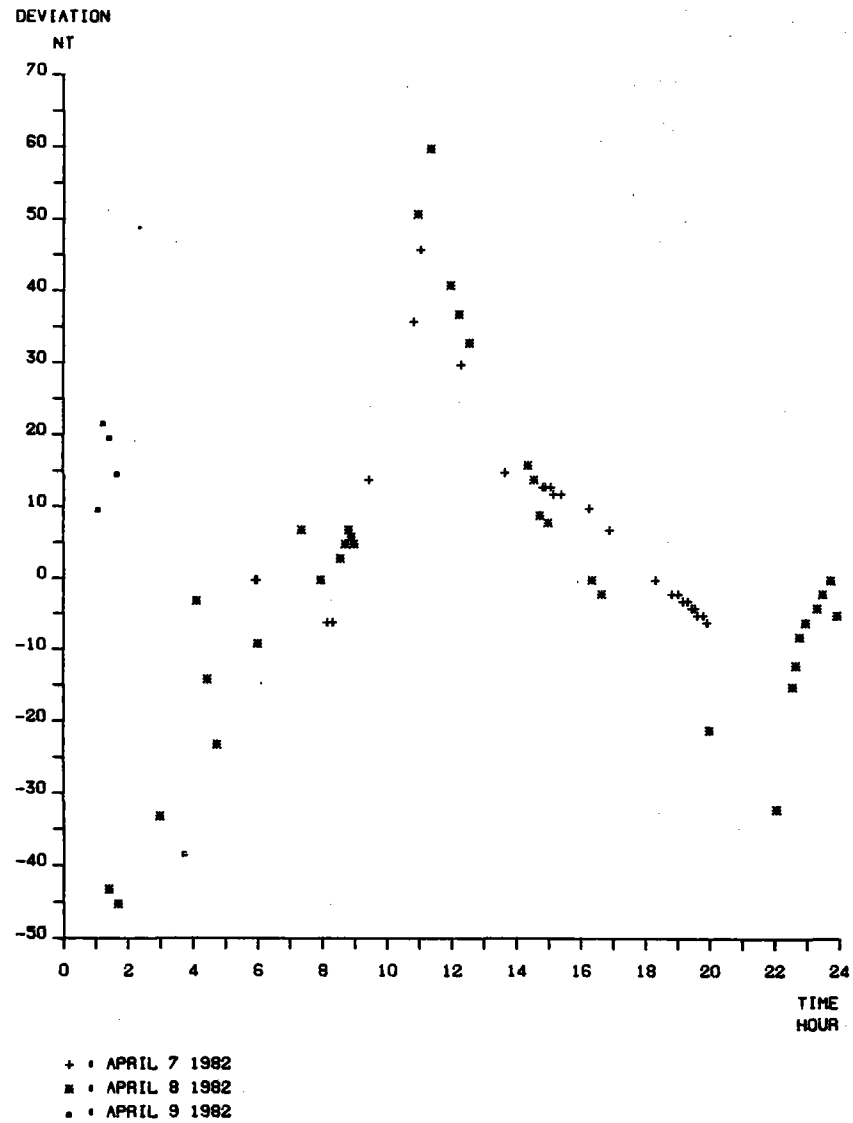
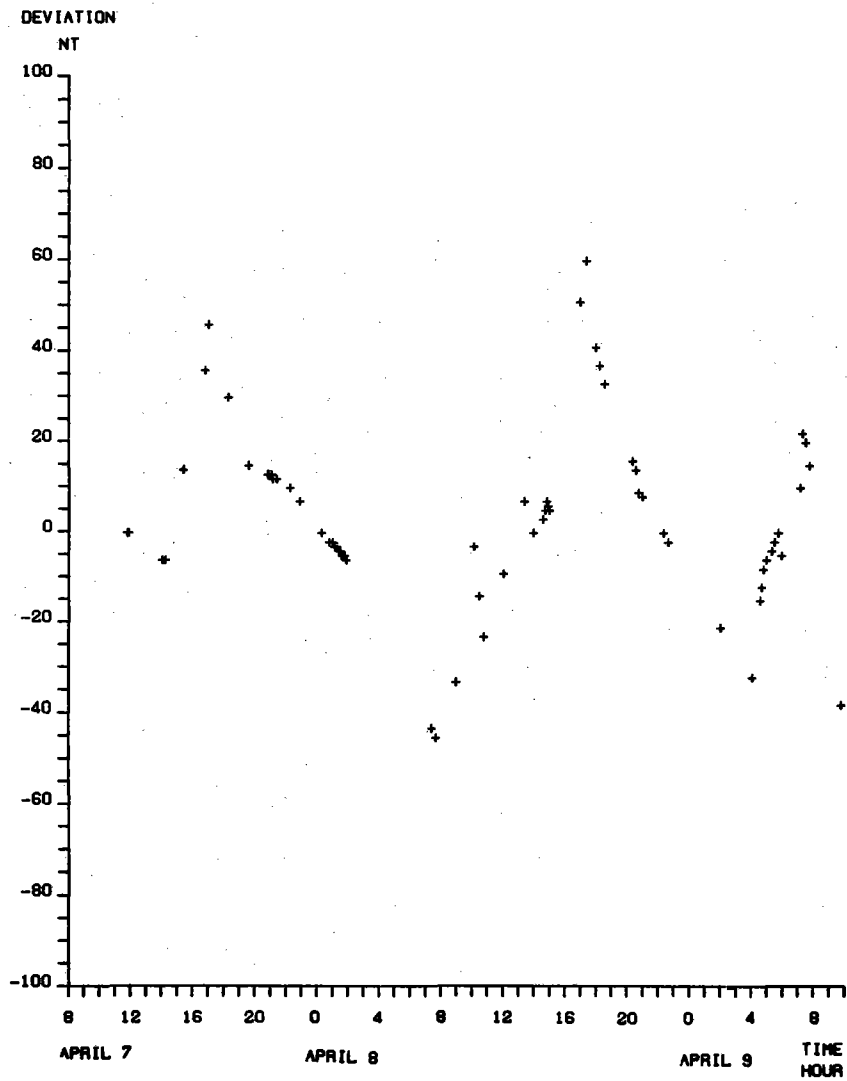
G1(F3-F4) G1-G2 G3(F4-G1) G3-G4 (G4)-G5 G5-G6 (G4)-G7  
G7-G8 G9(G3-G8) G10(G3-G8) G11(G3-G8) G9-G12 G10-G13  
G11-G14 G15(G7-G14) G15-G16 G17(G12-G13) G18(G12-G13)  
G17-G19 G18-G20 G21(G13-F3) G21-G22 G23(G6-G22) G23-G24

puis à calculer la différence entre l'anomalie observée et l'anomalie réelle au second point de ce second couple (11:20 le 7 : point A4), et ainsi de proche en proche à calculer les différences pour tous les points. Une certaine redondance des points permet de vérifier la consistance générale de la méthode. Une seconde vérification est le dessin des différences calculées en fonction du temps : si l'on obtient des segments de droites horizontaux sur des courbes, cela signifie que l'hypothèse de départ considérant une différence nulle pour des points distants de moins de 15 mn, n'est pas exacte : le graphe permet d'estimer une différence plus proche de la réalité. A partir de ces nouvelles valeurs de différences sur de courts intervalles de temps, il est nécessaire de reprendre l'ensemble des calculs de différences sur toute la carte. Cette seconde itération a été suffisante pour obtenir un graphe des différences (fig. 2.4) ressemblant beaucoup au graphe de la variation diurne du champ magnétique (fig. 2.3).

Il est ensuite nécessaire d'étendre les résultats de la correction de l'anomalie pour les points de croisements aux autres points du levé de façon automatique, soit par simple interpolation linéaire entre les points de croisements, ou entre des points situés à intervalle régulier et dont la correction est estimée, soit à l'aide d'une fonction d'ajustement des données. Etant données les variations observées entre les deux jours d'enregistrement, et la proximité de nombreuses lignes, l'erreur introduite en utilisant une fonction d'ajustement aurait été plus grande qu'en utilisant l'une des deux autres méthodes. La valeur importante de la différence vers 12 heures locales et les variations nocturnes (heure locale) ont conduit à utiliser la simple interpolation linéaire, plutôt qu'une nouvelle estimation des différences toutes les 30 mn par exemple. Etant donnée l'existence de la variation diurne mise en évidence par la correction, les seules données pour lesquelles a été utilisée l'interpolation, sont situées entre 0955Z le 7 Avril 1982 et 0910Z le 9 Avril 1982 : les données entre 0955Z et le premier croisement ont pu être gardées grâce à la faible pente de la variation à cette heure (voir fig. 3.17).

## 2.5 - DONNEES DE LA SEISMOLOGIE

Les données de séismes concernant la région du Fossé d'Amérique Centrale proviennent de la banque de données géophysiques NGSDC de Denver, Colorado. Le choix concerne les données des séismes de 1961 à 1979, car 1961 est la date du début de la mise en place du réseau international de sismographes, réseau qui a beaucoup amélioré le positionnement des événements sismiques, 1979 était la date de dernière mise à jour du fichier au Centre Océanologique de Bretagne en 1983. Les rejeux ont été effectués sur ordinateur individuel, après recopie des données essentielles : position géographique, profondeur et magnitude. Deux types de documents ont été obtenus : calcul de la magnitude maximale d'une région sur une grille ayant une maille de 0.2 degré de côté (méthode de Markus Båth, 1982, 1983) (le dessin se faisant ensuite à la main), et tri des séismes dans un polygone quelconque, avec calcul de la position par rapport à un axe et à une origine, permettant le dessin de coupe sur un autre ordinateur disposant d'un traceur (voir détails en annexe).



**Figure 2.4** : Déviation du champ magnétique total lors du levé 'Costa Rica I'  
 A : heure de Greenwich. B : heure locale.

## CHAPITRE 3

### LEVE 'COSTA RICA I'

<b>3.1</b>	<b><u>ETUDE DU LEVE BATHYMETRIQUE</u></b>	<b>3-3</b>
3.1.1	Description du fond du fossé	3-3
3.1.2	Description de la plaque océanique	3-6
3.1.2.1	le seamount R.L. Fisher	3-6
3.1.2.2	la plaque océanique à l'Est du seamount R.L. Fisher	3-9
3.1.2.3	la plaque océanique à l'Ouest du seamount R.L. Fisher	3-9
3.1.2.4	discussion sur l'origine des linéations	3-10
3.1.3	Description de la pente continentale	3-10
3.1.4	Conclusions	3-11
<b>3.2</b>	<b><u>ETUDE DES PROFILS DE SISMIQUE REFLEXION</u></b>	<b>3-11</b>
3.2.1	Profil général de la partie orientale (profil 1)	3-11
3.2.1.1	la partie moyenne de la pente continentale	3-12
3.2.1.2	la partie inférieure de la pente continentale	3-12
3.2.1.3	la plaque océanique	3-12
3.2.2	Description de 3 profils de la partie occidentale	3-18
3.2.2.1	le profil 23	3-18
3.2.2.2	les profils 33 et 34	3-18
3.2.3	Description des 2 profils sur la plaque océanique, sub-parallèles au fond du fossé	3-19
3.2.3.1	le seamount et la partie occidentale (profil 24)	3-19
3.2.3.2	la base orientale du seamount et la partie orientale de la plaque océanique (profil 7)	3-22
3.2.4	D'un seamount à l'autre : divers aspects de la subduction des seamounts	3-22
3.2.4.1	la limite orientale du seamount en cours de cours de subduction (profil 4)	3-22

## LEVE 'COSTA RICA I'

3.2.4.2	3 profils montrant les deux seamounts et les sédiments entre les deux volcans (profils 5, 17 et 19)	3-23
3.2.4.3	le début de la subduction du seamount R.L. Fisher (profils 21 et 29)	3-34
3.2.5	Conclusions	3-34
3.3	<u>ETUDES DES DONNEES MAGNETIQUES</u>	3-36
3.3.1	Description de la carte des anomalies magnétiques	3-36
3.3.2	Eléments d'interprétations	3-37
3.4	<u>SYNTHESE DES DONNEES DU LEVE 'COSTA RICA I' ET DISCUSSION</u>	3-40
3.4.1	Synthèse des données du levé 'Costa Rica I'	3-40
3.4.1.1	le niveau basaltique	3-40
3.4.1.2	le niveau supérieur de la série sédimentaire océanique inférieure	3-41
3.4.1.3	la surface de la couche sédimentaire océanique supérieure	3-41
3.4.1.4	la base des 'gas hydrates' ou BSR	3-50
3.4.1.5	les sédiments de la pente continentale	3-50
3.4.1.6	le remplissage sédimentaire du fossé	3-50
3.4.1.7	les slumps	3-50
3.4.2	Discussion concernant l'environnement général du levé 'Costa Rica I'	3-50

La mission ARIADNE3 de la Scripps Institution of Oceanography, effectuée à bord du R/V Thomas Washington en avril 1982, a débuté par un levé bathymétrique, sismique et magnétique de la zone du Fossé d'Amérique Centrale située en face de la Baie de Nicoya, Costa Rica (fig. 3.1). Le levé bathymétrique a été fait au Seabeam, et la sismique réflexion a utilisé deux canons à eau.

Des profils de sismique réflexion réalisés par l'Université du Texas avaient déjà révélé la complexité de cette zone : lieu où le Fossé d'Amérique Centrale change de direction (N120° au SE et N135°E au NW), présence de nombreux seamounts dont un certain nombre liés à la Ride Cocos dont il faut rappeler l'influence sur la profondeur du fossé dans cette région (Buffler, 1982 ; Crowe & Buffler, 1983 ; Fisher, 1961).

Les levés de bathymétrie et de sismique réflexion se complètent pour donner une image tridimensionnelle de cette zone-charnière du Fossé d'Amérique Centrale.

Le levé est situé juste au changement de direction du Fossé d'Amérique Centrale, mais la cartographie est plus complète à l'Est de cette limite. La plus grande partie de la pente continentale, le fond du fossé et la base du mur externe du fossé ont été cartographiés sur une longueur de 50 km avec des lignes perpendiculaires à l'axe du fossé longues d'environ 30 km.

Les précédents levés Seabeam du Jean Charcot (campagnes TOULAC3 et PANAC) complètent la carte, essentiellement en ce qui concerne la plaque océanique.

### 3.1 - ETUDE DU LEVE BATHYMETRIQUE

La carte bathymétrique a été dessinée à l'échelle de 80 pouces par degré à l'Equateur en utilisant toutes des données Seabeam utilisables de la campagne ARIADNE3 du Thomas Washington et des campagnes TOULAC3 et PANAC du Jean Charcot (fig. 3.2). La carte présentée (fig. 3.3, voir aussi Annexe B1) s'étend jusqu'au levé COSTA RICA II effectué lors de la même campagne et étudié par Shipley & Moore (1984).

La pente continentale présente un relief très variable, tandis que la plaque océanique montre des structures très régulières, ce qui a autorisé les interpolations entre les lignes.

La structure la plus remarquable de cette carte est un seamount situé sur la plaque océanique en contact avec la pente continentale réduisant le fond du fossé à une simple ligne.

#### 3.1.1 - Description du fond du fossé

Le fond du Fossé d'Amérique Centrale entre 85°W et 85°51'W est à la fois variable en profondeur (3320 à 3820 m) et en largeur (0 à 5 km). En fait le fond du fossé est divisé en deux parties de direction différente : l'une située au NW du seamount et l'autre à l'Est.

CARIBBEAN SEA



**Figure 3.1** : Carte de localisation du levé Costa Rica 1 dans la région de l'Amérique Centrale et de l'Est-Pacifique Equatorial (fond bathymétrique du Pacifique d'après Mammerickx et Smith, 1981).



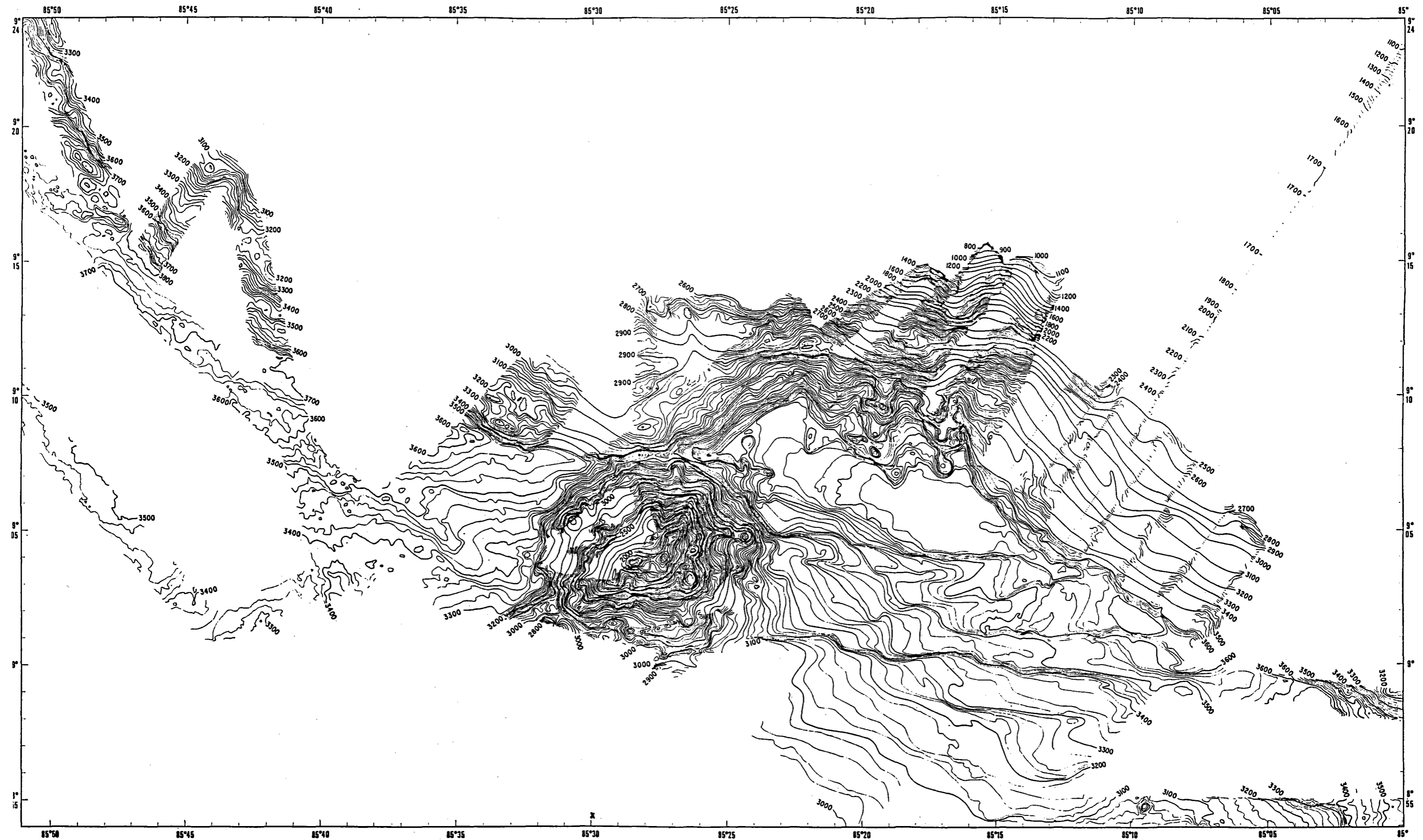


Figure 3.3 : Carte bathymétrique du levé Costa Rica 1. Carte originale dessinée à l'échelle de 80 pouces par degré avec repositionnement des points à l'aide

de 150 points et de trois fixes satellites. Equidistance des courbes : 20 m, et 100 m pour les courbes maîtresses.

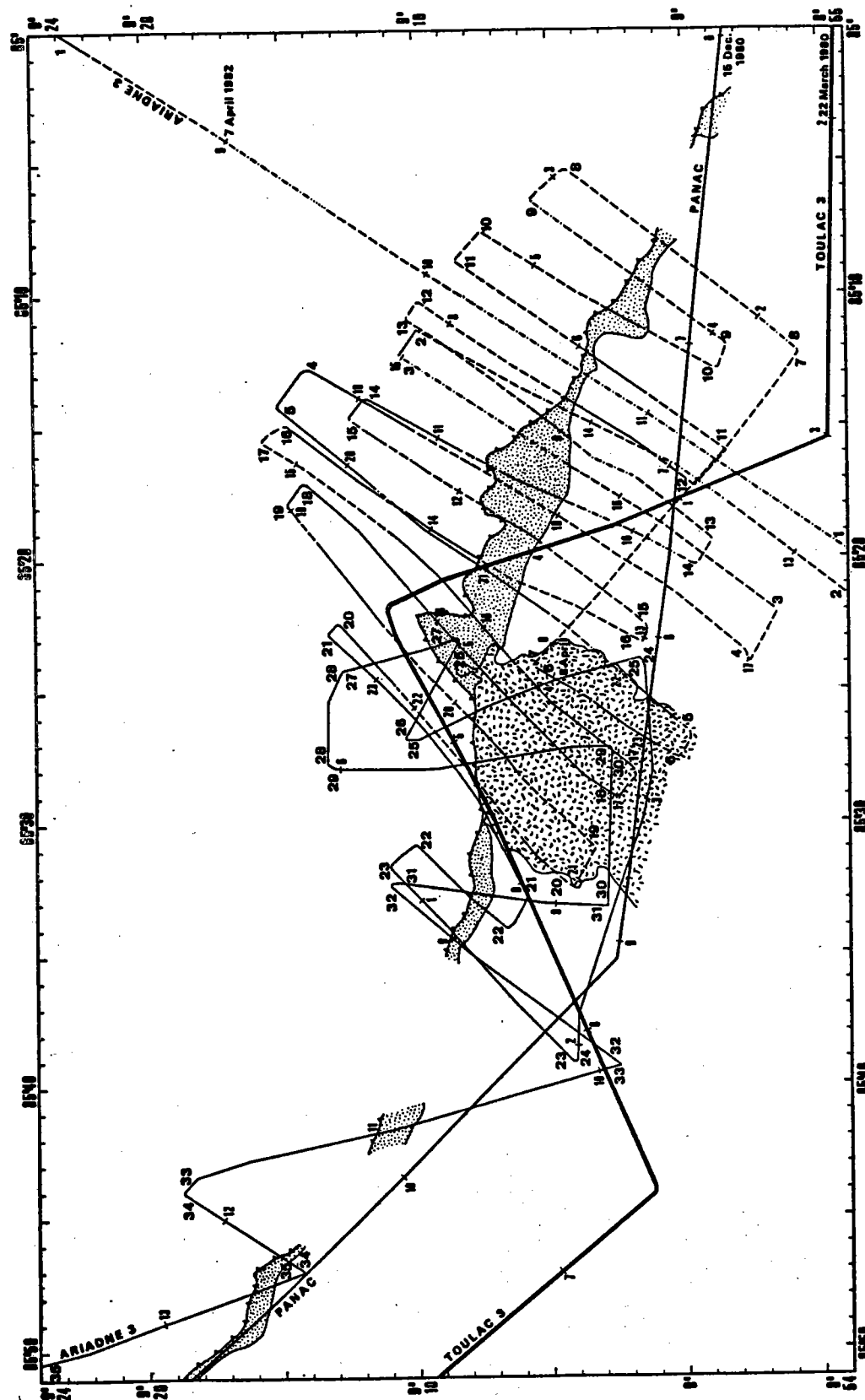


Figure 3.2 :

Plan de position des routes du levé Costa Rica I (routes du R/V Jean Charcot et du R/V Thomas Washington). Ligne continue avec triangles : front de subduction ; zone pointillée : fond du fossé ; zone avec tirés : seamount R.L. Fisher. Qualité des données bathymétriques : trait plein : 16 faisceaux Seabeam ; trait interrompu :

quelques faisceaux Seabeam ; tiret-point : utilisation des profils de sismique réflexion ; pointillés : pas de données. Les heures GMT et les dates sont notées le long de la route des navires. Les numéros à chaque extrémité des profils de sismique représentent les numéros des profils de sismique réflexion.

Au NW du seamount, bien que la cartographie soit incomplète il est possible de donner une bonne description du fond du fossé. Celui-ci montre une direction N138°E au NE de la carte tournant progressivement au N°90°E au contact avec le seamount. La profondeur de l'axe du fossé n'est pas régulière : après un approfondissement de 3500 à 3700 m entre le seamount et 85°37'W environ, le fossé présente de petits bassins séparés par des rides obliques au fossé, d'orientation N110°E à N120°E, et s'élevant jusqu'à 150 m au-dessus du fond du bassin. La largeur du fossé de ce côté du seamount n'est jamais très importante (au plus 2 km) et se réduit même à quelques centaines de mètres à l'Ouest de 85°45'W, sans doute à cause des rides obliques et de l'absence de sédiments remplissant souvent le fond des fossés de subduction.

A l'endroit où le seamount est en contact avec la pente continentale le fond du fossé se réduit le plus souvent à une ligne dont la profondeur varie d'Est en Ouest : 3520 m à l'Ouest, 3320 m au centre et 3600 m à l'Est, avec de minuscule bassins liés à la morphologie du seamount.

A l'Est du seamount, le fond du fossé a été complètement cartographié sur une longueur de 35 km. Ici également on peut voir des variations dans la largeur du fossé : après une largeur de 1.5 à 2 km sur environ 17 km, le fond du fossé se rétrécit à l'intersection de structures océaniques d'orientation E-W, les zones entre les abrupts de la croûte océanique étant alors occupées par de petits bassins. La profondeur du fossé augmente lentement entre le contact avec le seamount et 85°18'W de 3600 à 3730 m, puis dans la zone rétrécie elle varie entre 3600 et 3720 m, s'élevant en moyenne vers l'ESE.

### 3.1.2 - Description de la plaque océanique

On peut diviser la description de la plaque océanique en trois parties : le seamount, la plaque à l'Ouest de celui-ci, et la portion de plaque à l'Est.

#### 3.1.2.1 - le seamount R.L. Fisher

J'ai donné le nom de R.L. Fisher au seamount centré par 9°03.5'N et 85°25.5'W en l'honneur du géologue de renommée mondiale qui, le premier, a cartographié le Fossé d'Amérique Centrale dans son intégralité (Fisher, 1961).

Ce seamount est un édifice de forme circulaire à la base et s'élevant jusqu'à 1850 m de profondeur, c'est-à-dire 1400 à 1600 m en moyenne au-dessus des sédiments couvrant la plaque océanique. Il a un diamètre d'environ 15 km. Il ne présente pas une forme conique très régulière mais est flanqué d'éperons parallèles à la pente et de petits cônes. Au-dessus de 2600 m, le seamount présente une forme en quart de disque décalé vers le SE par rapport à sa base circulaire. Entre 2600 et 2000 m la partie circulaire du quart de disque se creuse, réduisant la forme du sommet du seamount à un J. Les deux sommets sont situés l'un à l'extrémité W de la barre horizontale, et l'autre à l'intersection des deux branches et culminent respectivement à 1860 et 1850 m. La pente le long des flancs du seamount est relativement régulière et s'élève à 13.5 degrés.

Ce seamount ressemble peu aux seamounts de l'Ouest Pacifique et de la Mer des Philippines décrits par Hollister, Glenn et Lonsdale (1978), qui ont

une forme beaucoup plus régulière. Il rappelle plus le seamount Henderson situé au large de la Basse Californie, mais les éperons sont moins marqués, les cônes adventifs sont tous situés à la base du seamount et la pente moyenne des flancs est de 8° (Taylor, Wood & O'Hearn). Le volcan sous-marin qui ressemble le plus au seamount étudié est le seamount Giliss. Il est situé au large de la côte Est des Etats-Unis et appartient à la chaîne des seamounts Kelvin : tout comme le seamount R.L. Fisher, il possède de nombreux éperons et cônes adventifs, sa hauteur est d'environ 1500 m mais la pente n'est que de 9 degrés environ (Taylor, Stanley et al., 1975).

### 3.1.2.2 - la plaque océanique à l'Est du seamount R.L. Fisher

L'aspect le plus remarquable de la plaque océanique à l'Est du seamount est sa structuration d'orientation Est-Ouest. La carte montre 4 linéations continues et relativement rectilignes qui correspondent en fait à des abrupts tous orientés vers le Nord, limitant des 'marches d'escaliers', et dont les dénivellations peuvent atteindre 150 m. On observe que l'escarpement le plus proche du fossé se prolonge sur le seamount par un éperon portant de petits cônes. L'abrupt le plus éloigné du fossé s'estompe rapidement vers l'Ouest, alors que la distance au fond du fossé augmente. Au Sud de cette 4ème ligne on distingue encore parfois dans les courbes de niveau une tendance Est-Ouest. A l'extrémité SE de la carte une partie de ligne E-W est visible, limitée à l'Est par des courbes d'orientation N-S. Cette direction est également visible dans la partie principale de la carte. Une dernière linéation est observable sur cette partie de la croûte océanique entre la base du seamount à 85°24'W et le fond du fossé à 85°12'W, mais son orientation est N75°E.

Les linéations E-W très régulières et qui sont très visibles à partir de 12 km du fond du fossé provoquent une augmentation de la pente moyenne de la plaque du SW (1.3°) vers le fossé (2°).

### 3.1.2.3 - la plaque océanique à l'Ouest du seamount R.L. Fisher

La structuration de la plaque océanique à l'Ouest du seamount est très peu visible sur cette carte où la couverture Seabeam très réduite. On peut toutefois distinguer deux linéations d'orientation N135°E, parallèles à l'axe du fossé, marquant une dénivellation de 80 à 100 m vers le NE : l'une entre la base SW du seamount et 85°38'W, l'autre entre 9°12'N et 9°15'N. Un segment d'orientation orthogonale, à 9°2'N-85°45'W est aussi visible, on peut le prolonger vers le Nord le long d'une partie des courbes 3580-3600 m.

La carte prolongeant le levé bathymétrique vers le Nord-Ouest (Shipley & Moore, 1984) montre que la direction principale des structures de cette partie de la plaque Cocos est également N135°E. Ces linéations marquent toutes un abrupt regardant vers le NE de 100 à 150 m. La pente moyenne du mur externe du fossé sur ce levé est de 3.5°.

### 3.1.2.4 - discussion sur l'origine des linéations

Les dénivellations parallèles sont la représentation en surface de failles se prolongeant dans la couverture sédimentaire et la croûte océanique

(voir partie 3.2 concernant les profils de sismique réflexion et leur interprétation). Le fait que les dénivellations topographiques augmentent à l'approche du fond du fossé révèle qu'elles sont provoquées par la subduction. Toutefois, étant donné que ces linéations ont des directions très différentes de chaque côté du seamount (différence de 45° environ) alors que la direction de l'axe du fossé ne change que de 20°, on peut interpréter ces dénivellations comme la trace en surface de failles préexistantes, antérieures à l'arrivée de la plaque dans le fossé, jouant de plus en plus à l'approche du fond du fossé. Etant donnée l'absence de tectonique importante dans la plus grande partie des océans, et la grande régularité des escarpements visibles sur le levé 'Costa Rica I', on doit rechercher l'origine de ces abrupts à la création de la lithosphère océanique. Quant aux directions N-S et E-W observées sur le seamount, elles sont vraisemblablement en relation avec les linéations de la plaque océanique mais il est impossible de préciser à partir de la carte bathymétrique si leur origine date de la formation du seamount, ou si elles ont été provoquées par la flexure de la plaque sur le mur externe du fossé. Les linéations observées de part et d'autre du seamount auraient donc été créées à l'axe de deux dorsales différentes, l'une E-W, l'autre NW-SE, mais l'âge de la croûte et sa polarité ne peuvent être déterminés seulement à partir de petits levés bathymétriques.

### 3.1.3 - Description de la pente continentale

La pente continentale présente des variations à diverses échelles.

A l'échelle régionale et d'Est en Ouest, on remarque que la direction moyenne des courbes de niveau change de N130°E entre 85°W et 85°16'W, à une orientation N90°W au-dessus de 3000 m jusqu'à 85°29'W, tandis que les courbes au-dessous de 3000 m n'ont pas de structure linéaire entre 85°16'W et 85°22'W et qu'elles prennent ensuite une direction N°55°E jusqu'à 85°29'W. Sur la partie occidentale de la carte les courbes ont une orientation moyenne N135°E, parallèle à l'axe du fossé. La ligne venant du coin NE de la carte montre après une pente régulière de 4.4° entre 1100 et 1660 m, un replat long de 9 km à 1700 m de profondeur ; la pente devient ensuite plus régulière et comparable à celle du reste de cette région. Sur cette ligne la courbe 1100 m est située très loin du fond du fossé (42.5 km), alors que vers 85°15'W celle-ci n'est qu'à une distance de 15 km ; les courbes 1600 à 800 m (au moins) prennent sans doute une direction proche de N50°E dans la zone entre la longue ligne, 85°15'W, et les parallèles 9°15'N et 9°20'N.

A l'échelle du km on distingue des bosses, des rides et des creux. Entre la limite orientale du levé et 85°15'W il est impossible de discerner de tels détails à cause de la mauvaise qualité des données. Entre 85°15'W et 85°22'W au-dessous de 3000 m, le dessin des courbes montre des sortes d'avancées et de rentrants, et des petits cônes localisés principalement sur les avancées. En comparant la morphologie de cette petite zone à l'aspect du seamount R.L. Fisher, on trouve que ces deux formes se ressemblent : les avancées ressemblent aux éperons du seamount, et les petits cônes à ses cônes adventifs. On pourrait interpréter les rentrants comme des canyons, mais il est difficile d'expliquer la présence des nombreux cônes et la concentration des canyons, inexistants sur le reste de la carte. Il est donc très probable que cette morphologie d'avancées et de cônes appartienne à un seamount plus important dont seulement un tiers environ serait visible. Plus à l'Ouest on retrouve quelques petits cônes mais on voit surtout des rides et creux plus allongés à 85°28'W, 85°33'W

et 85°42-43'W. Sur le levé fait au SE d'Acapulco autour des sites DSDP du Leg 66, la présence de rides sur la pente continentale est expliquée par l'accrétion de sédiments lors de la subduction de la plaque océanique (Shipley, McMillen et al., 1980 ; ...)

La pente moyenne du mur interne du fossé augmente en moyenne vers le bas : 3.5 à 4.5° entre 2500 et 3300 m environ, et 7° au-delà.

### 3.1.4 - Conclusions

La carte bathymétrique nous montre la subduction d'une plaque océanique ayant une double origine, la limite entre les deux zones étant marquée par des seamounts. Les seamounts sont vraisemblablement responsables du décalage de l'axe du fossé et de son changement d'orientation de part et d'autre de leur lieu de subduction. La subduction du seamount dont seul un tiers est encore visible est à l'origine du resserrement des courbes de niveau au dessus de lui. La subduction entraîne sans doute de l'accrétion au moins le long de la moitié occidentale de la carte.

En l'absence de sites de forage profonds sur la croûte océanique, et étant donnée la présence de la Ride Cocos influençant de façon notable la bathymétrie générale de la région, il est nécessaire d'utiliser d'autres données pour déterminer les âges de la plaque subductée.

## 3.2 - ETUDE DES PROFILS DE SISMIQUE REFLEXION

La caractéristique principale des canons à eau est de fournir un signal de fréquence plus élevée que les canons à air, et donc de donner des enregistrements ayant une meilleure définition, mais cet avantage a un corollaire : la moins grande pénétration des ondes sismiques.

Parmi les 35 profils enregistrés, douze ont été sélectionnés pour illustrer les principales caractéristiques du levé : subduction de la plaque océanique et des sédiments, sédiments du fond du fossé, faillage de la plaque océanique, seamounts, sédiments sur la plaque océanique (voir localisation des différents profils avec leurs numéros sur la figure 3.2). Dans cette partie, le mot 'croûte' signifie couche 2 de la véritable croûte océanique.

### 3.2.1 - Profil général de la partie orientale (profil 1) (fig. 3.4)

C'est le profil le plus long du levé : il traverse presque toute la pente continentale et se prolonge assez loin sur la plaque océanique. C'est le profil filtré à 20-60 Hz qui a été retenu.

On peut diviser la pente continentale en deux parties, la première allant du début du profil jusqu'à 0900Z, la seconde débutant à cette même heure et se terminant au fond du fossé vers 1045Z. La plaque océanique, quant à elle, formant une unité sera étudiée dans une 3ème partie.

### 3.2.1.1 - la partie moyenne de la pente continentale

Cette partie de la pente montre une accumulation de sédiments dans laquelle il est difficile de trouver des réflecteurs continus sur des distances supérieures à quelques kilomètres. La plus grande épaisseur de sédiments se situe entre 0810Z et 0815Z et sa valeur peut être estimée à plus de 1000 m en utilisant une vitesse de 2 Km/s comme vitesse moyenne du son dans les sédiments. Avant 0800Z il n'existe aucun réflecteur visible à une profondeur supérieure à 2 s, donnant l'impression que la série sédimentaire s'amincit vers le haut, mais les premiers multiples du fond et des réflecteurs proches de la surface des sédiments interfèrent avec les arrivées directes en-dessous de cette profondeur. Il est par contre très net que la série sédimentaire clairement stratifiée diminue d'épaisseur vers le replat situé entre 0850Z et 0920Z. Malgré le manque de netteté des réflecteurs profonds, il semble que cette série sédimentaire soit de type progradant avec 'offlap' et 'downlap' des couches successives, mais avec en général une accumulation préférentielle des sédiments sur les parties les moins profondes, et donc les plus proches du continent.

### 3.2.1.2 - la partie inférieure de la pente continentale

Un seul réflecteur est visible entre 0940Z et 1012Z. La couche qu'il délimite s'épaissit vers le bas de la pente jusqu'à une valeur d'environ 250 m (vitesse 2 km/s). Sous cette série et sous le reste de la pente on ne distingue aucun réflecteur continu. Ceci peut être expliqué par la présence de sédiments déformés appartenant à un slump pour la partie supérieure de la pente entre l'incision à 1017Z et le fond du fossé, ou à un prisme d'accrétion sous ces couches superficielles.

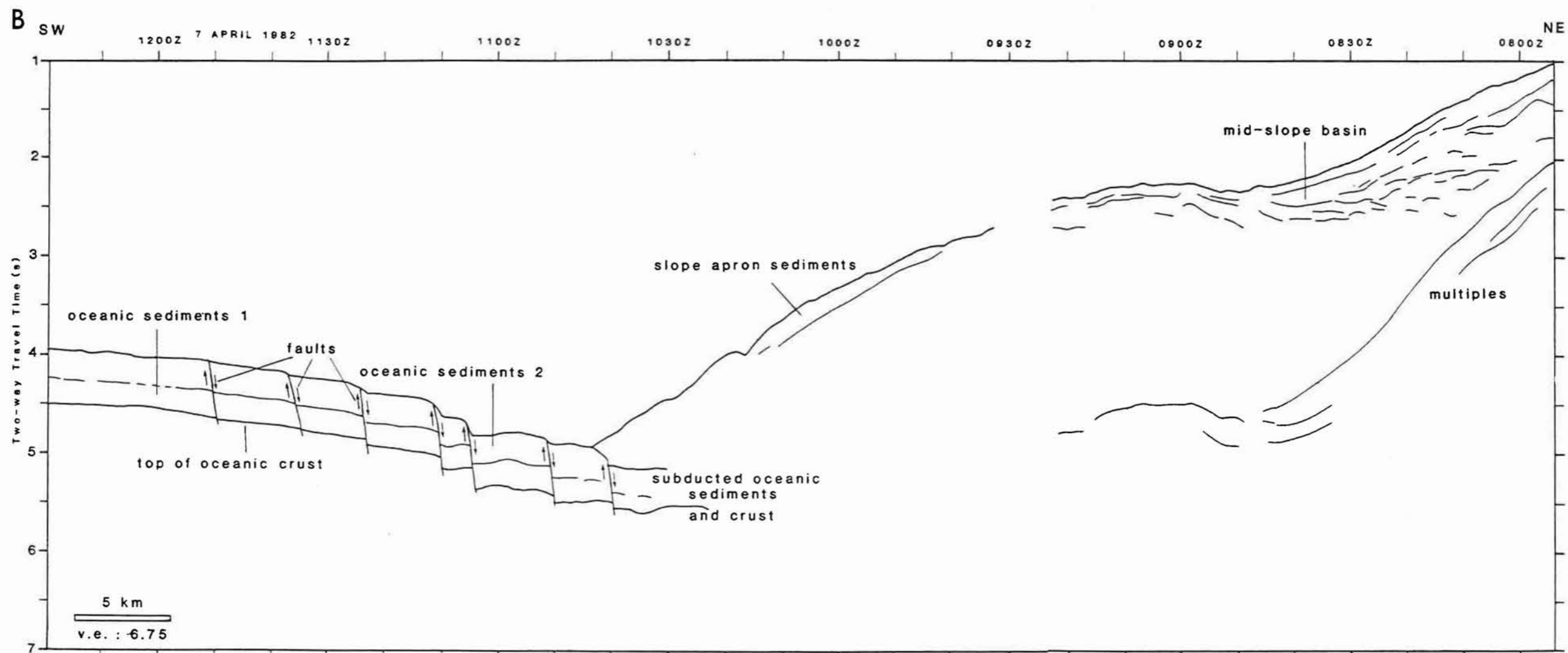
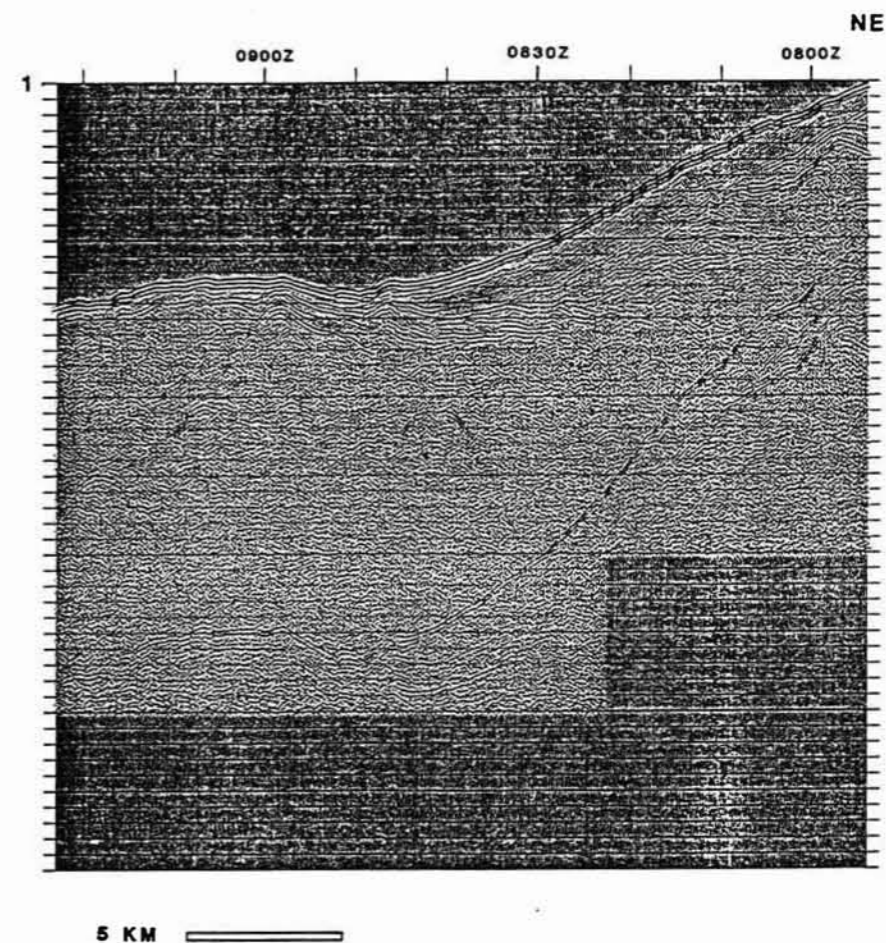
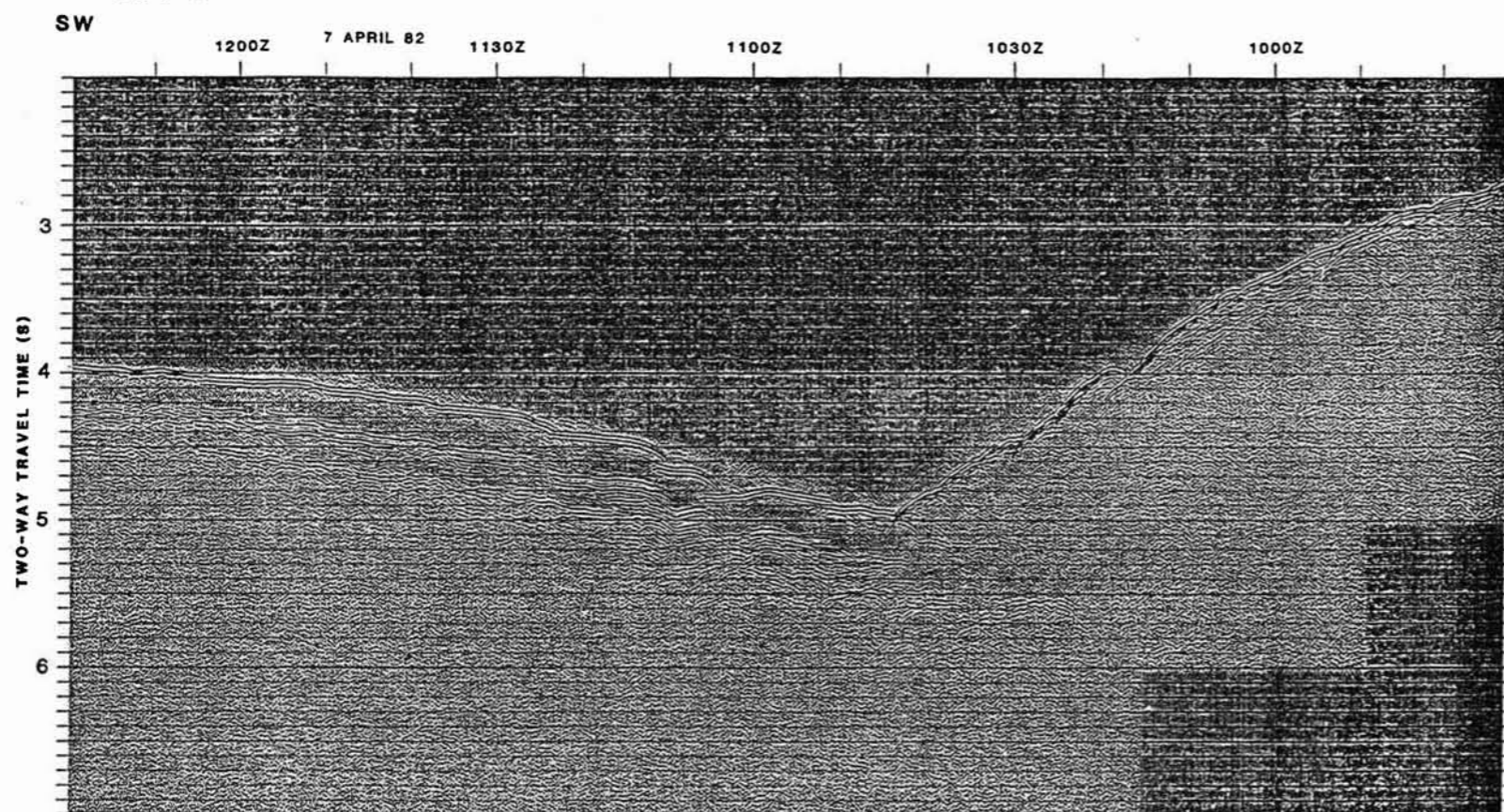
### 3.2.1.3 - la plaque océanique

La série sédimentaire surmontant la croûte océanique a une épaisseur d'environ 0.5 s c'est-à-dire 500 m en utilisant une vitesse moyenne de 2 Km/s. La série peut être divisée en deux grandes unités séparées par un réflecteur important. La couche supérieure a une puissance d'environ 250 m. Des failles découpent la plaque océanique le long de plans légèrement inclinés. Ces décalages correspondent tous à un failage normal et on remarque que les différences de niveau augmentent en moyenne vers le fond du fossé où les sédiments semblent avoir également subi une légère ondulation expliquant les perturbations dans le réflecteur intra-sédimentaire.

On distingue deux réflecteurs sous la base de la pente continentale : le réflecteur supérieur semble correspondre à la surface des sédiments tandis que le réflecteur inférieur, moins régulier marque vraisemblablement la limite supérieure de la croûte océanique. Ce dernier réflecteur est visible jusqu'à 6 km au-delà de la base de la pente continentale. Cependant un petit problème géométrique se pose car l'épaisseur des sédiments sous la base de la pente continentale est légèrement inférieure à celle des sédiments non encore subductés (0.35 s au lieu de 0.5 s). L'examen d'autres profils situés plus à l'Ouest, et en particulier le profil 4 (voir plus loin), montre que la couche sédimentaire inférieure n'existe pas à cet endroit et que le sommet de la croûte océanique est plus élevé que sur le reste du profil (peut-être s'agit-il en réalité de la base du seamount en cours de subduction).

Figure 3.4 : Sismique réflexion Profil 1. A : profil original traité (AGC : 0.5 s). B : profil interprété.

A CR1-1



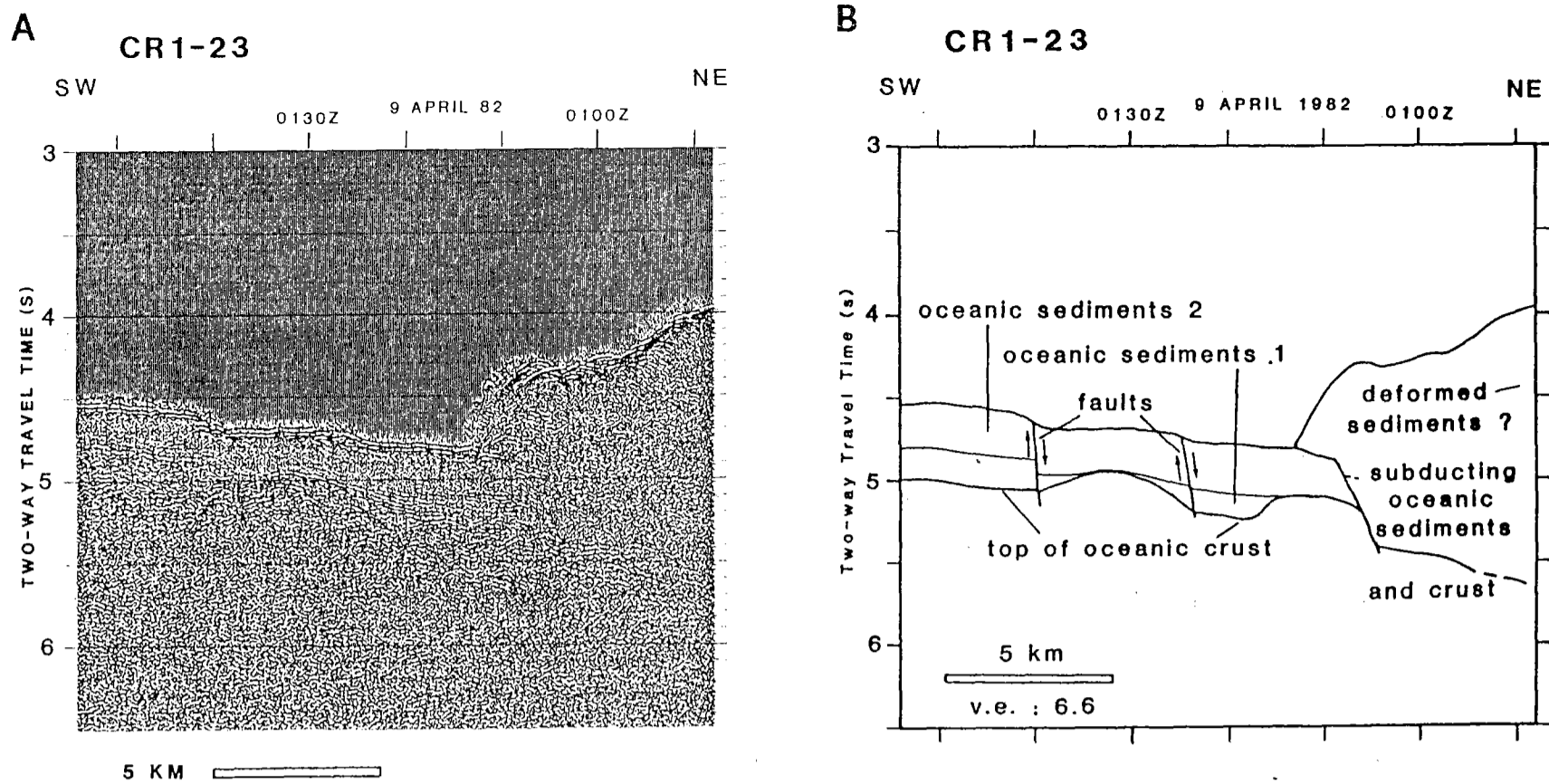


Figure 3.5 : Sismique réflexion Profil 23. A : profil original traité (AGC : 0.5 s). B : profil interprété.

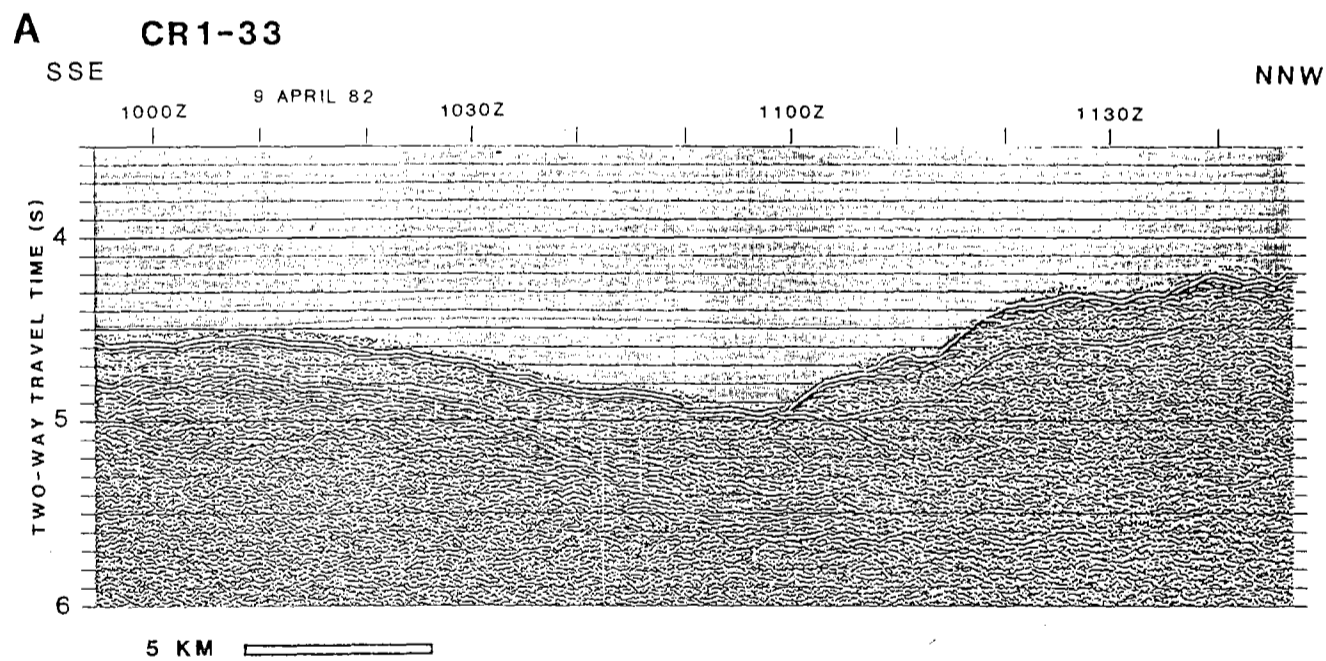
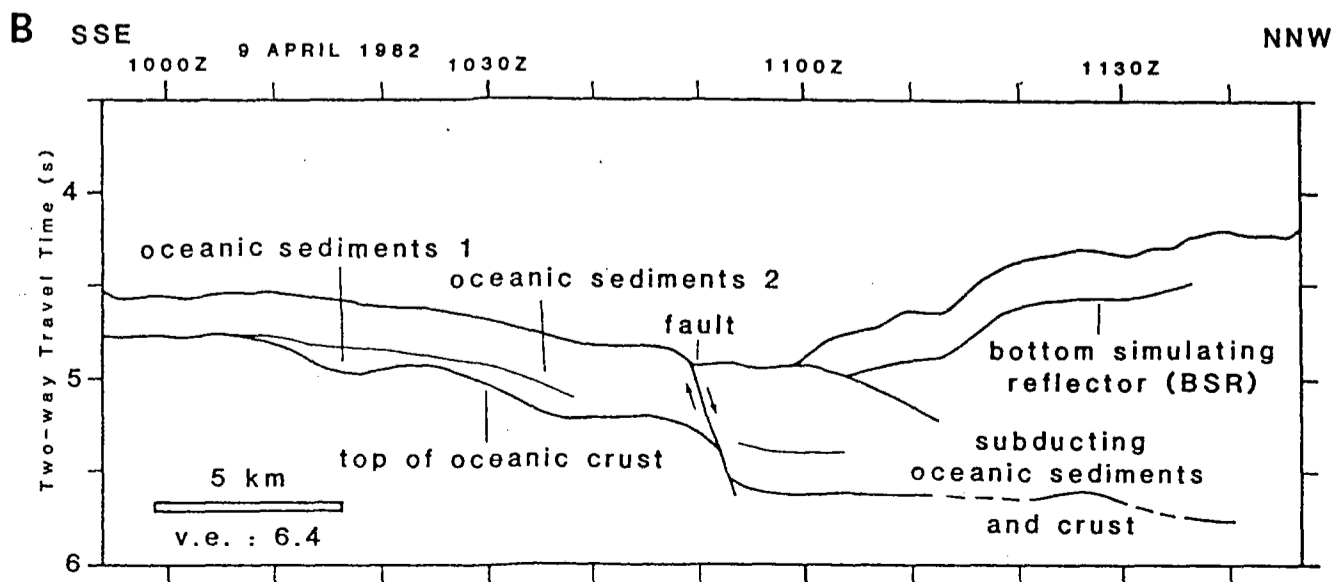
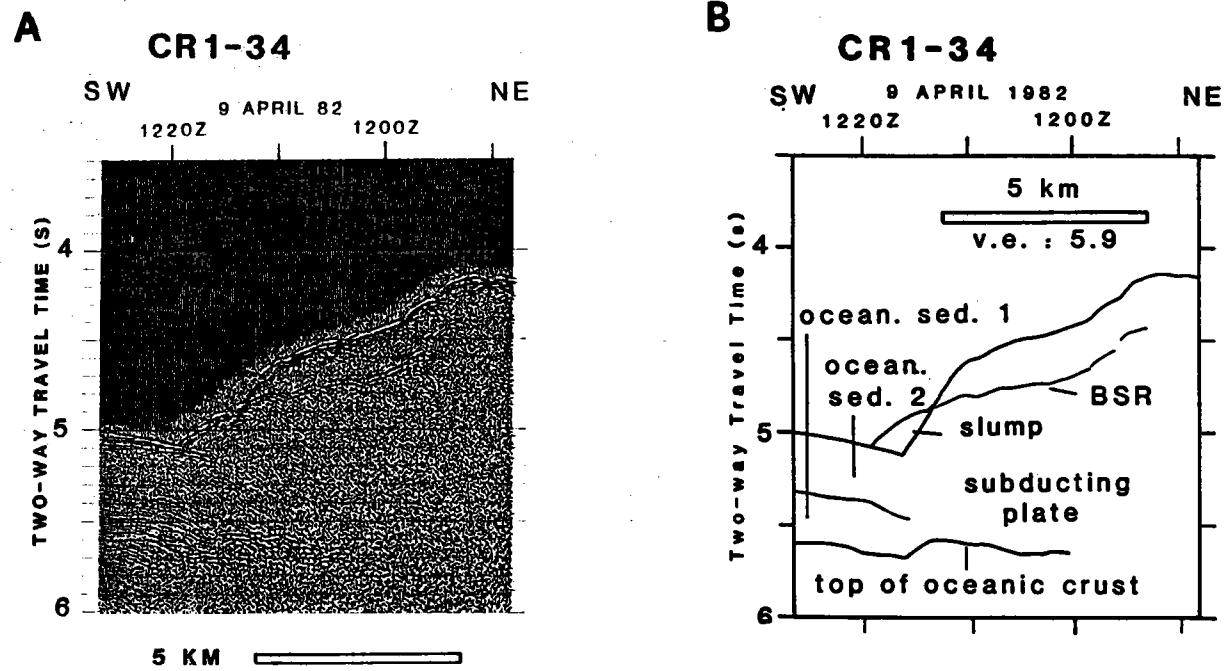


Figure 3.6 : Sismique réflexion Profil 33. A : profil original traité (AGC : 0.5 s). B : profil interprété.







**Figure 3.7** : Sismique réflexion Profil 34. A : profil original traité (AGC : 0.5 s). B : profil interprété.

### 3.2.2 - Description de 3 profils de la partie occidentale

Trois profils ont été choisis pour représenter la partie à l'Ouest du seamount situé à 85°30'W : deux de ces profils (les profils 23 et 34) sont perpendiculaires à la pente continentale, tandis que le 3ème est oblique (profil 33).

#### 3.2.2.1 - le profil 23 (fig. 3.5)

Ce profil est situé à environ 6 km au NW du seamount R.L. Fisher. La pente continentale dont on ne voit ici que la base ne présente qu'un seul réflecteur difficilement interprétable. La plaque océanique montre deux réflecteurs principaux : un réflecteur intra-sédimentaire limitant une série supérieure sans réflecteur net d'une série inférieure comportant des réflecteurs internes, et le sommet de la croûte océanique. Cette dernière surface n'est pas régulière et présente des boursouflures interrompant la série sédimentaire inférieure dont l'épaisseur maximale est environ 200 m. Les remontées de la croûte océanique s'élevant à environ 200 m, il est possible de les interpréter comme des coulées volcaniques, ou même comme de petits cônes volcaniques étant donnée la proximité de seamounts importants. La série supérieure, quant à elle, est beaucoup plus uniforme et a une épaisseur de 280 m environ. Des failles normales découpent également la partie supérieure de la plaque, cependant le profil n'est pas assez long pour permettre de voir si les failles disparaissent en s'éloignant du fond du fossé comme sur le profil 1 (voir plus haut). On peut voir la plaque océanique s'enfoncer de près de 7 km sous la base de la pente continentale.

#### 3.2.2.2 - les profils 33 et 34 (fig. 3.6 et 3.7)

Ces deux profils sont proches et se ressemblent suffisamment pour être décrits ensemble. La première différence concerne la direction par rapport à la pente continentale : alors que le profil 34 est perpendiculaire au fossé, le profil 33 est oblique ce qui donne essentiellement l'impression d'une augmentation de l'échelle des longueurs par rapport à celle des hauteurs.

Sous la surface de la pente continentale, les deux profils présentent un réflecteur net. Celui-ci est parallèle à la surface des sédiments sur sa plus grande longueur et s'interrompt à environ 6.5 km du fond du fossé. Une différence apparaît cependant dans la terminaison du réflecteur près du fond du fossé : sur le profil 34 celui-ci intersecte le fond, tandis que sur le profil 33 il s'arrête sur un réflecteur correspondant au sommet de la plaque océanique en cours de subduction. Le réflecteur est plus net et continu sur le profil oblique au fossé que sur le profil perpendiculaire. La profondeur identique du réflecteur (250 m) est un autre argument pour considérer que celui-ci appartient à la même surface. Ce type de réflecteur a été rencontré de nombreuses fois sur les marges continentales (Shipley, Houston et al., 1979, Yamano, Uyeda et al., 1982, hydrates ou 'clathrates') : au dessus de ce niveau les gaz sont sous une forme solide et ont été forés au cours du Leg 84 du Glomar Challenger (Leg 84 Shipboard Party, 1982), et en dessous ils sont sous forme de gaz. De part sa nature de limite thermique ce réflecteur doit rester parallèle à la pente ou s'enfoncer légèrement lorsque la profondeur du fond augmente.

L'intersection du réflecteur avec la pente continentale sur le profil 34 est donc un phénomène anormal, vraisemblablement dû à l'érosion récente de la partie supérieure qui semble être tombée comme un slump sur la plaque océanique.

Sur le profil 34, la plaque océanique est très limitée : la croûte apparaît sous une épaisseur d'environ 550 m de sédiments dont 300 m appartiennent à la couche supérieure relativement transparente, et 250 m à la série inférieure présentant de nombreux réflecteurs parallèles. Les réflecteurs intra-sédimentaires disparaissent très rapidement sous la base de la pente continentale alors que la croûte est visible sur environ 5 km.

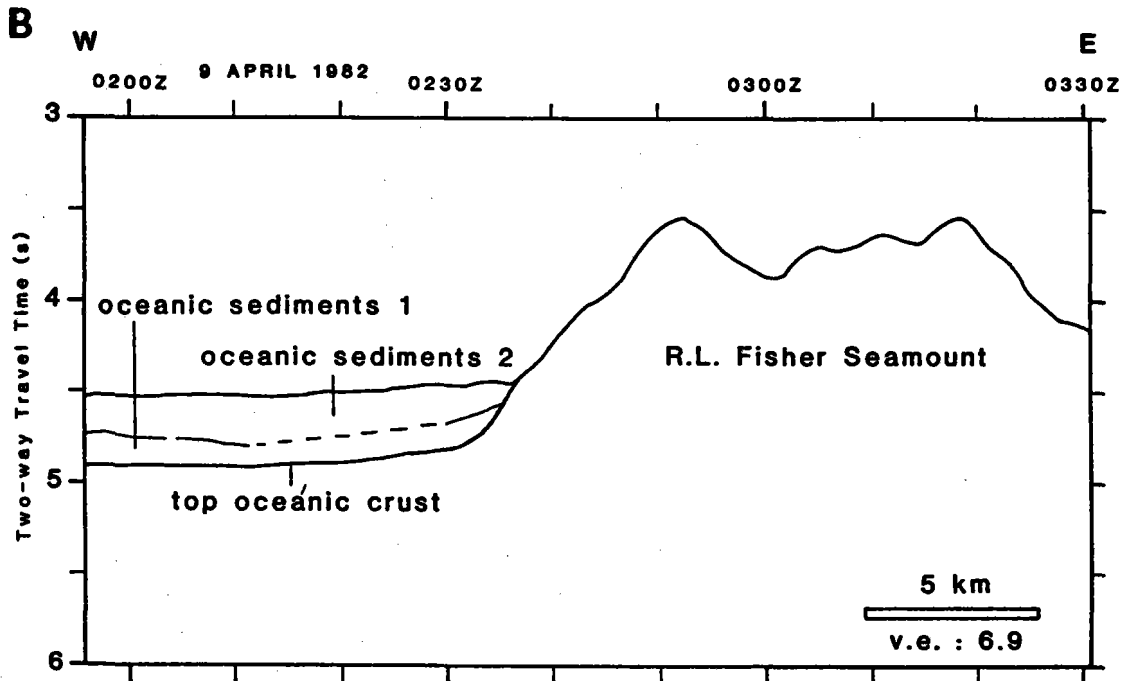
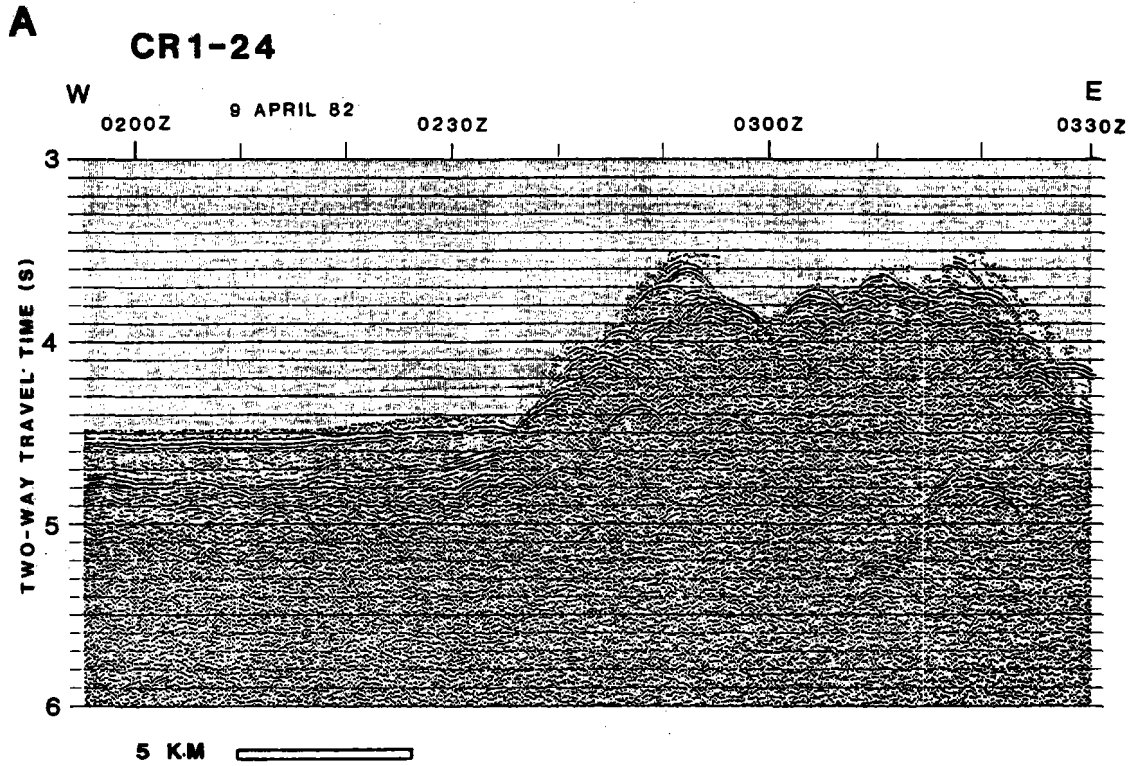
Sur le profil 33, la plaque océanique présente des caractères déjà rencontrés lors de l'étude du profil 23 : remontée du sommet de la croûte océanique entraînant une variation de l'épaisseur de la série sédimentaire inférieure de 0 à 250 m, croûte océanique visible jusqu'à 5 km sous la pente continentale perpendiculairement à l'axe du fossé. Par contre la série sédimentaire supérieure, relativement transparente, a une épaisseur constante de 250 m sur le profil 23 tandis que sur ce profil, elle est uniforme et égale à 250 m seulement, de 10062 à 10402 environ. Entre la limite SSE du profil et 10062 la couche est moins épaisse à cause d'une remontée de la croûte. Entre 10402 et la limite visible de la plaque dans le plan de subduction, la série a une épaisseur variable dont la plus grande valeur semble atteinte vers 11002 (0.45 s temps double, c'est-à-dire environ 450 m). La limite à 10402 correspond sur la carte bathymétrique à une linéation SW-NE pouvant être une zone de fracture. Cependant la série ayant une épaisseur croissant assez régulièrement de 10402 vers la base de la pente continentale et restant constante dans le plan de subduction, l'explication la plus vraisemblable est un apport supplémentaire de sédiments dont la source serait la pente continentale. Ce phénomène est visible également sur le profil 34 mais l'apport est de moindre importance ; par contre la variation d'épaisseur ne peut être observée car le profil est trop court. L'absence de stratification peut être due à la grande proximité de la source.

### 3.2.3 - Description des 2 profils sur la plaque océanique, sub-parallèles à l'axe du fossé

Seuls deux profils ont été réalisés sur la plaque océanique dans une direction sub-parallèle à celle du fond du fossé. Tous deux ont été levés à une distance de 9 à 12 km du front de subduction.

#### 3.2.3.1 - le seamount et la partie occidentale (profil 24) (fig. 3.8)

Plus de la moitié du profil 24 traverse la partie méridionale du seamount R.L. Fisher sur lequel on ne peut voir que de fortes diffractions. Le dernier kilomètre du profil montre cependant un morceau de couverture sédimentaire reposant sur le pied du seamount. La plaque océanique est visible sur une dizaine de km à l'Ouest du seamount. Deux unités sédimentaires sont discernables au-dessus d'un réflecteur présentant des irrégularités et correspondant au sommet de la croûte océanique. La série inférieure présente des réflecteurs internes, son épaisseur est de à 140 m en moyenne et varie peu le long du profil. L'unité supérieure est relativement transparente et d'une puissance moyenne de 250 m avec de faibles variations.



**Figure 3.8** : Sismique réflexion Profil 24. A : profil original traité (AGC : 0.5 s). B : profil interprété.

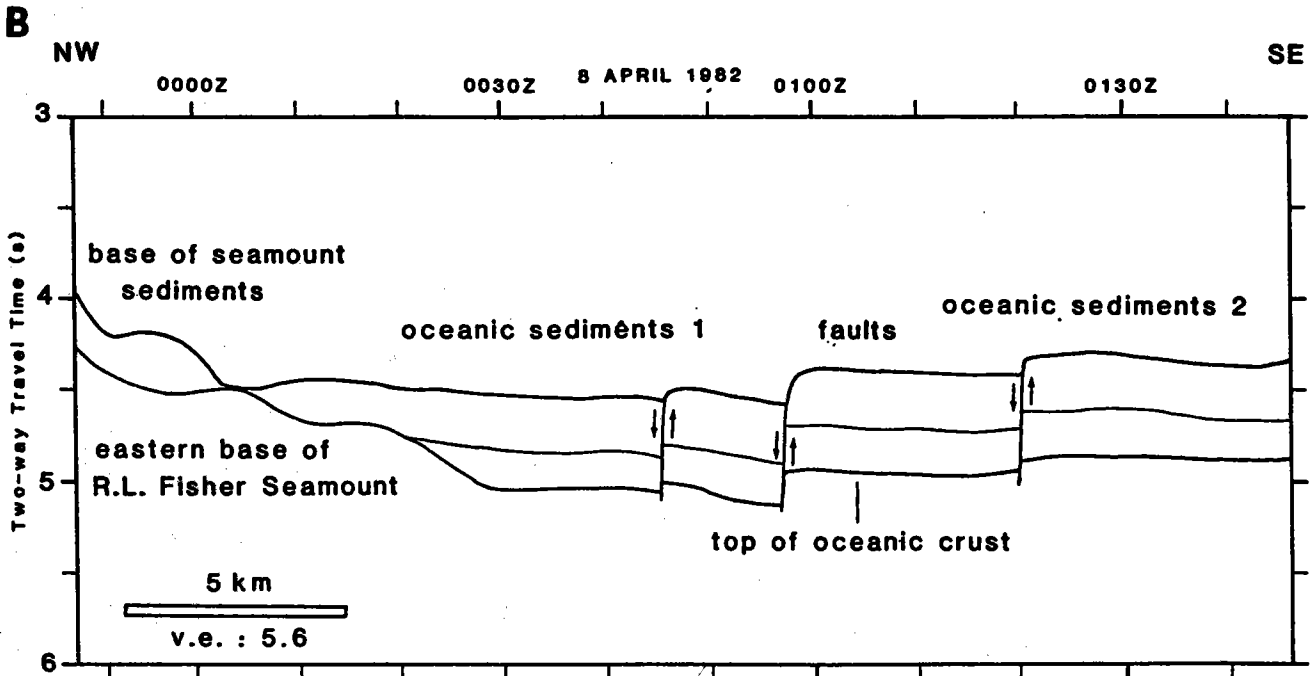
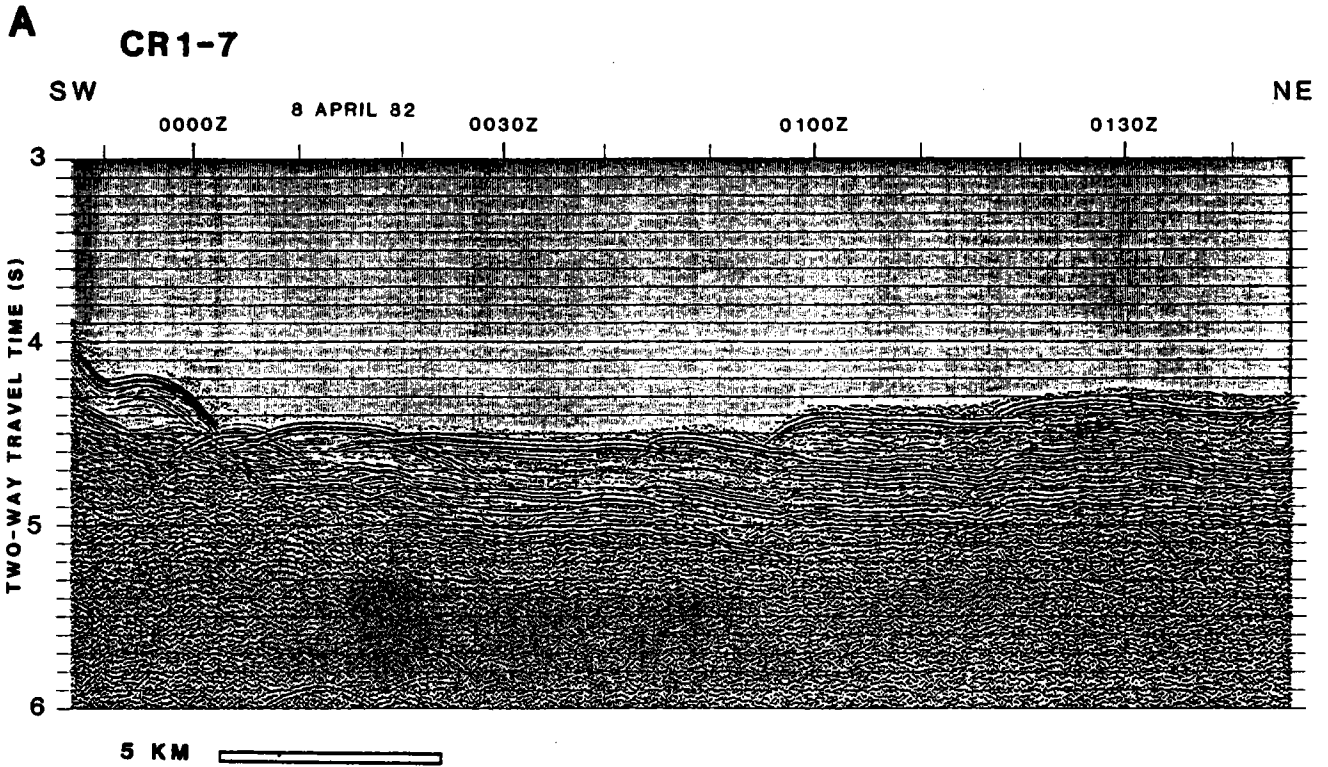


Figure 3.9 : Sismique réflexion Profil 7. A : profil original traité (AGC : 0.5 s). B : profil interprété.

3.2.3.2 - la base orientale du seamount et la partie orientale de la plaque océanique (profil 7) (fig. 3.9)

Sur ce profil long de 27 km, on peut observer la base du seamount R.L. Fisher et la plaque océanique à l'Est de celui-ci. Le pied du seamount est recouvert d'une série sédimentaire transparente dont l'épaisseur très variable peut atteindre 280 m environ. La croûte réapparaît en surface vers 00052 à la faveur d'une fracture visible sur la carte bathymétrique. La remontée de socle se prolonge jusqu'à 00302. A la différence de la partie occidentale (fig. 3.7), ce profil montre de nombreuses failles découpant la plaque océanique en unités bien distinctes. Sous le réflecteur de surface des sédiments on distingue trois unités : la première est relativement transparente, la seconde présente de nombreux réflecteurs internes et la troisième est opaque. Cette dernière correspond à la croûte océanique, tandis que les deux premières sont des séries sédimentaires. Le sommet de la croûte présentant peu de relief, l'unité sédimentaire inférieure a une épaisseur relativement constante égale à 220 m. L'unité supérieure, quant à elle, a une épaisseur de 270 m environ.

3.2.4 - D'un seamount à l'autre : divers aspects de la subduction des seamounts

Les profils enregistrés lors de ce levé traversent d'une part un seamount disparaissant aux deux tiers sous la pente continentale, et d'autre part un seamount commençant à rentrer en collision avec la base de la pente. Ceci a rendu possible l'étude des effets de la subduction des seamounts sur la pente continentale à travers 6 profils dont 5 sont perpendiculaires au front de subduction.

3.2.4.1 - la limite orientale du seamount en cours de subduction (profil 4) (fig. 3.10)

Le profil 4 traverse la partie orientale du seamount engagé dans le plan de subduction. La preuve que la série de rides et creux visibles le long de la pente continentale sur la carte bathymétrique correspond bien à un édifice volcanique est apportée par l'étude du profil de sismique réflexion : du côté océanique le socle acoustique est le sommet de la croûte, il est en continuité avec une masse opaque, visible à partir du milieu du fond du fossé, apparaissant en surface et montrant de nombreuses diffractions. Cette masse se poursuit sous la pente continentale sur près de 7 km.

Sous les sédiments océaniques la surface de la croûte présente un relief irrégulier ponctué de 'bosses' qui sont sans doute de petits cônes volcaniques. La série sédimentaire inférieure a donc une épaisseur variable qui peut atteindre 200 m. La série supérieure, transparente ne voit diminuer son épaisseur régulière de 290 m qu'aux abords du seamount en cours de subduction.

Ce profil présente aussi un remplissage sédimentaire du fond du fossé qui atteint 200 m d'épaisseur. Ces sédiments présentent un litage dont la partie supérieure est horizontale, et la partie inférieure légèrement inclinée vers le front de subduction. Ce litage indique que ces sédiments

se sont déposés en nombreux épisodes à partir d'une source un peu éloignée, caractéristiques rappelant celles des turbidites.

Les très fortes dénivellations de la pente continentale (pente atteignant 20° vers 1905Z) sur ce profil, en comparaison de celles du profil 1 (décrit plus haut), sont la conséquence de la subduction du seamount comprimant et soulevant au moins une partie des sédiments de la pente continentale pour poursuivre son plongement avec la plaque océanique dont il est solidaire.

#### 3.2.4.2 - 3 profils montrant les deux seamounts et les sédiments entre les deux volcans (profils 5, 17 et 19) (fig. 3.11, 3.12 et 3.13)

D'Est en Ouest les profils montrent :

profil 5 : la partie centrale du seamount en cours de subduction, et la base du seamount R.L. Fisher ;

profil 17 et 19 : les parties centrales des deux seamounts.

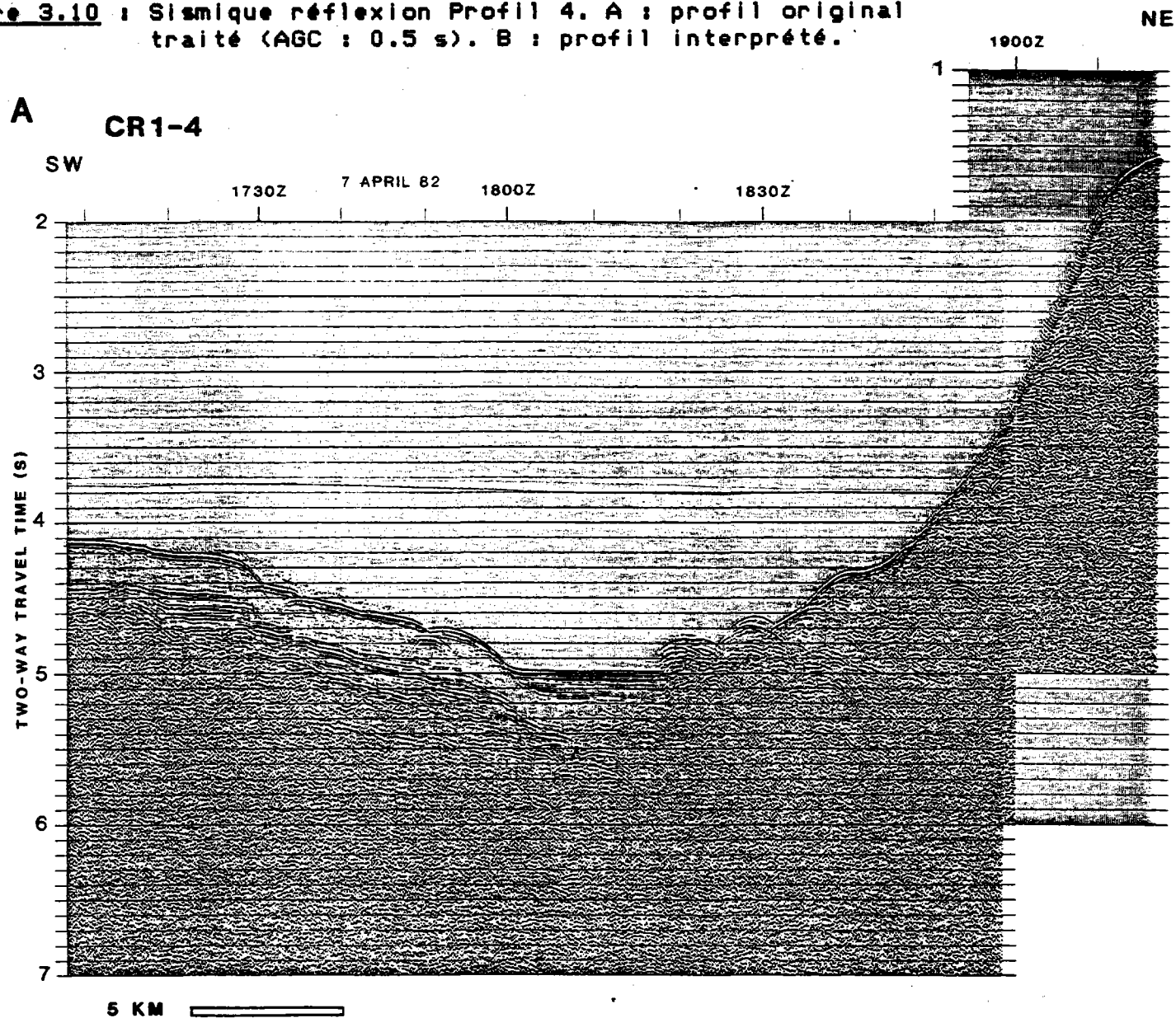
L'aspect le plus intéressant de ces trois profils est la variation apparaissant dans la série sédimentaire entre les deux seamounts. Sur le profil 5, les sédiments ont une épaisseur relativement constante de 260 m, s'amincissant seulement vers le seamount R.L. Fisher : cette série ressemble à la série sédimentaire supérieure rencontrée sur d'autres profils situés à l'Est de ce seamount (profils 1, 4, 7). Une seule faille, à rejeu normal, affecte l'unité sédimentaire et le sommet de la croûte. Sur le profil 17, les sédiments entre les seamounts ont subi une certaine compression qui s'est exprimée par des failles à rejeu inverse affectant également la base du seamount en cours de subduction et épaississant la série (maximum de 300 m). Sur le profil 19, les sédiments entre les deux seamounts ont également subi un raccourcissement (épaisseur maximale 550 m), qui s'est traduit aussi par un pli dans les sédiments proches du seamount en cours de subduction.

L'apparition de failles inverses affectant le seamount en cours de subduction peut paraître un fait étonnant lorsque l'on pense à la masse du volcan et au fait que celui-ci est vraisemblablement solidaire de la croûte océanique qui le porte. Ces failles ne peuvent s'expliquer que si le seamount en cours de subduction est retardé dans sa subduction par la masse des sédiments qu'il doit comprimer et soulever pour passer. La zone retardée étant localisée à la surface couverte par le seamount, l'ensemble de la plaque est peu affectée et des failles utilisent les plans de faiblesse du volcan pour permettre au reste de la plaque océanique de passer normalement.

On peut également observer sur tous les profils la masse de sédiments située au-dessus du seamount dans le plan de subduction, et déformée par sa poussée.

Un autre point commun des profils 5, 17 et 19 est la présence de slumps situés sur le seamount en cours de subduction. Ces masses se détachent du reste des sédiments de la pente continentale lorsque la pente est devenue trop importante et glissent jusqu'à la rencontre d'une diminution de pente importante, soit une aspérité du seamount, soit le fond du fossé. Ce phénomène est sans doute provoqué par la subduction du seamount qui soulève et pousse les sédiments de la pente au-delà de leur pente d'équilibre. Sur le profil 17 on peut même observer deux slumps

**Figure 3.10** : Sismique réflexion Profil 4. A : profil original traité (AGC : 0.5 s). B : profil interprété.

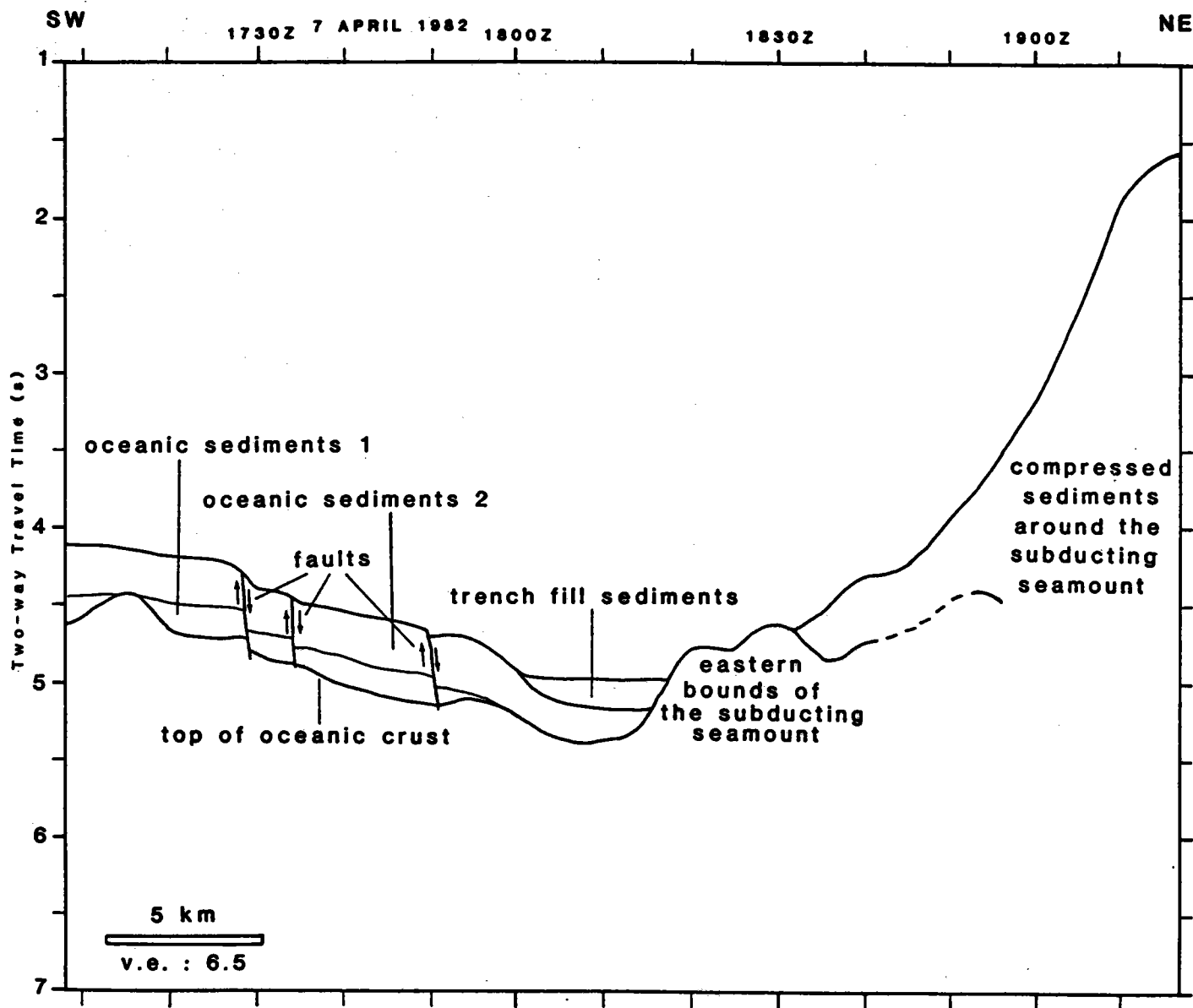


3-24

LEVE 'COSTA RICA 1'



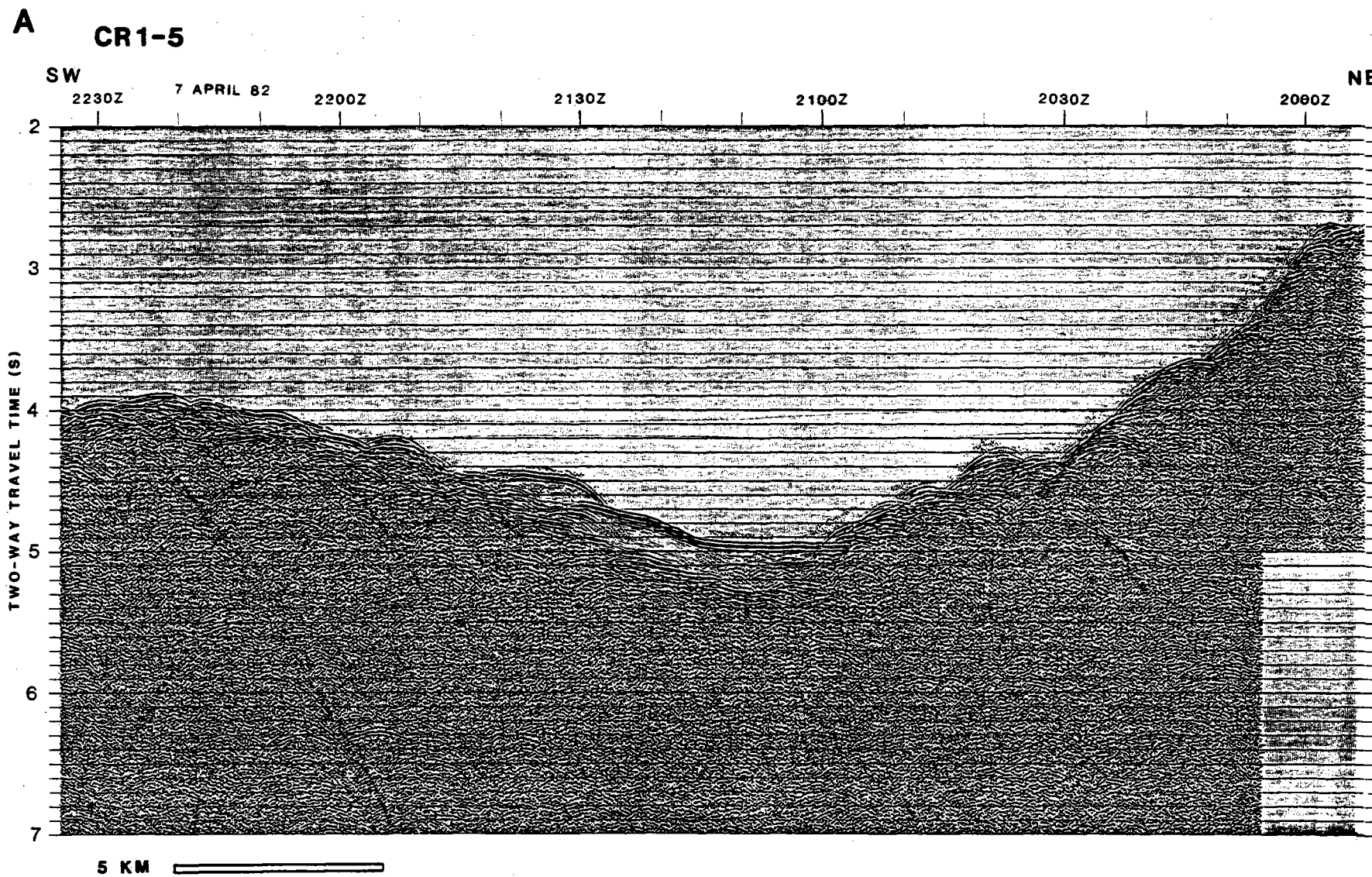
**B CR1-4**



3-25

LEVE COSTA RICA I'

**Figure 3.11** : Sismique réflexion Profil 5. A : profil original traité (AGC : 0.5 s). B : profil interprété.

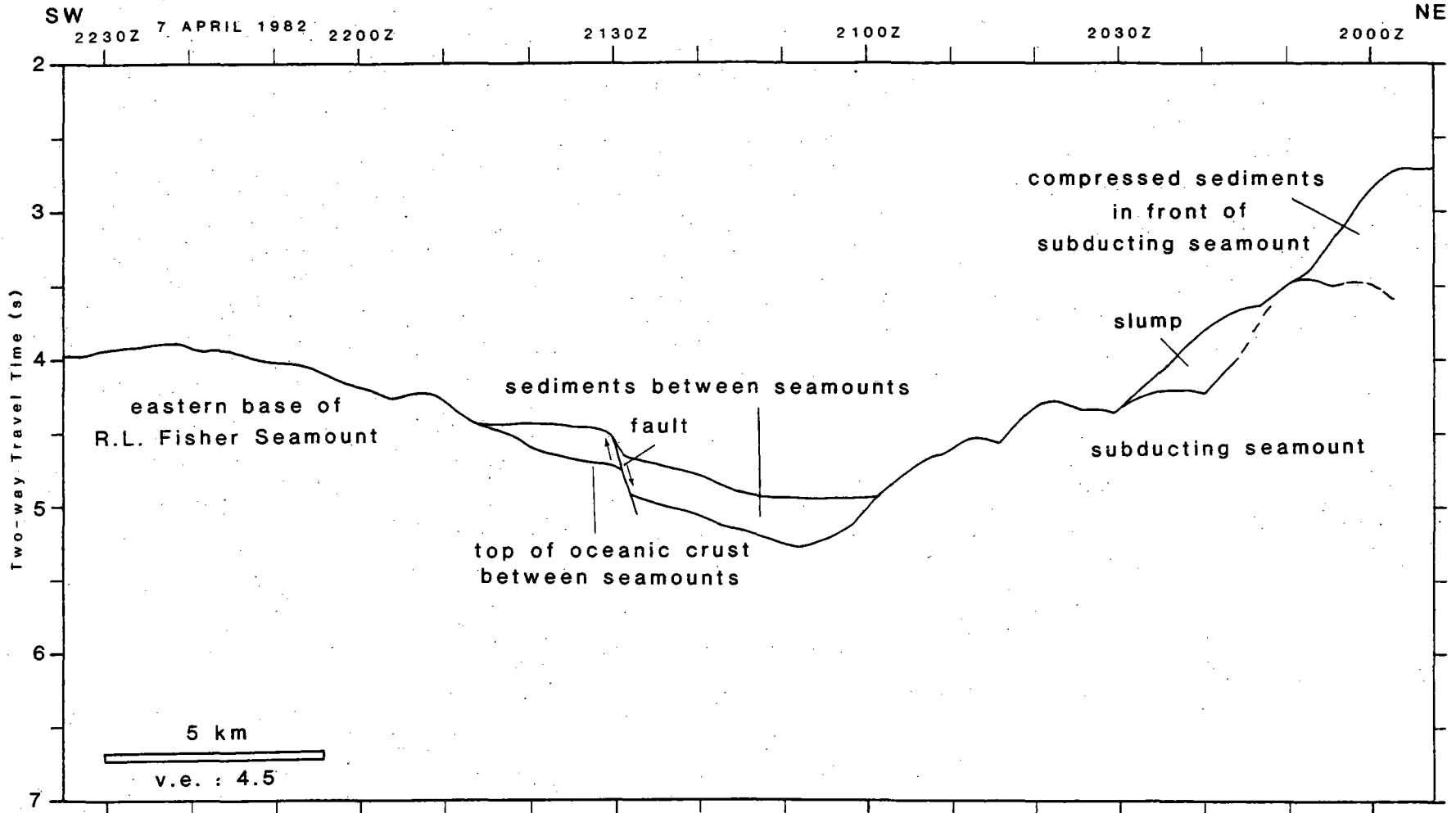


3-26

LEVE 'COSTA RICA I'

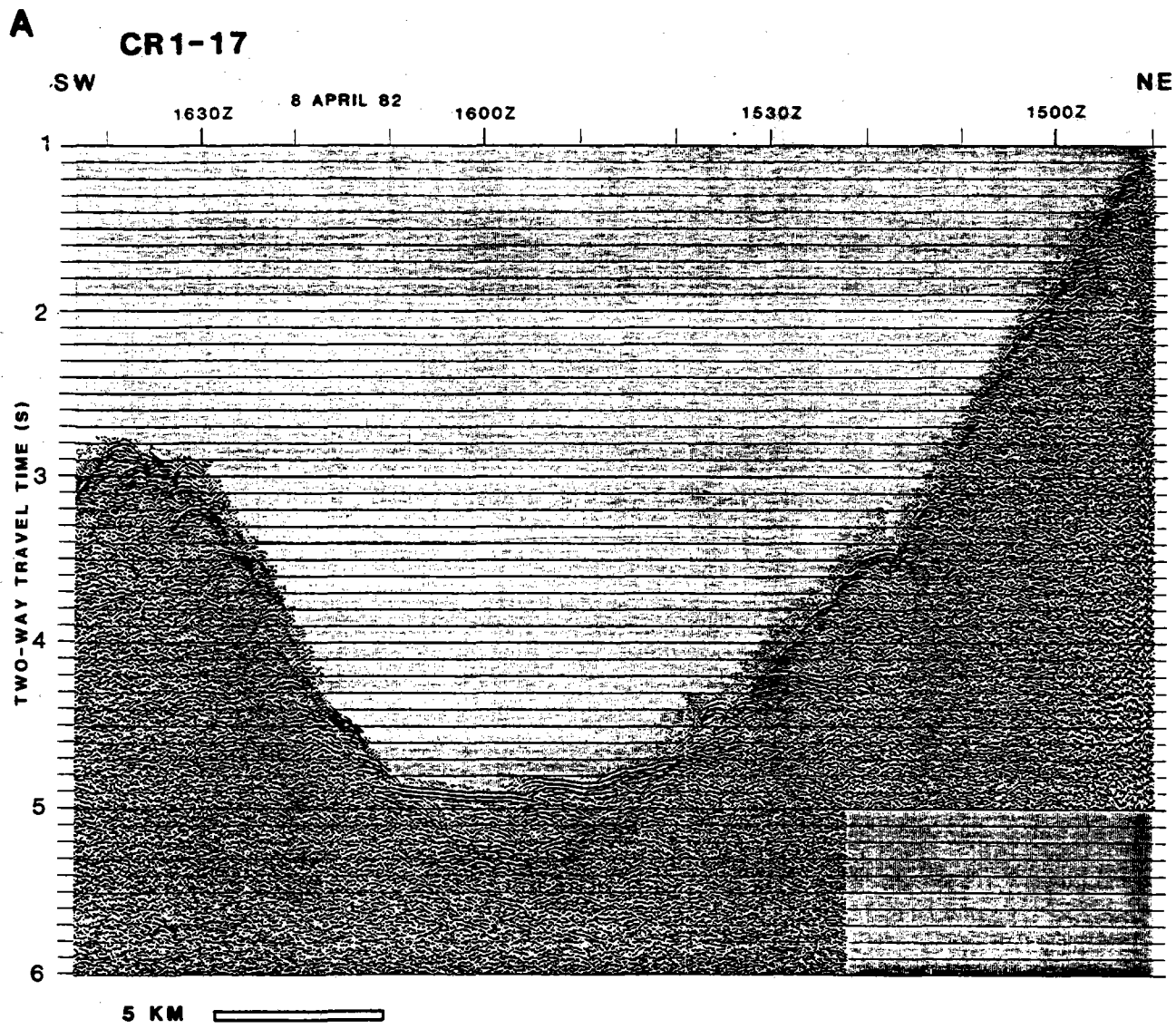
**B**

**CR1-5**



LEVE COSTA RICA I'

**Figure 3.12** : Sismique réflexion Profil 17. A : profil original traité (AGC : 0.5 s). B : profil interprété.

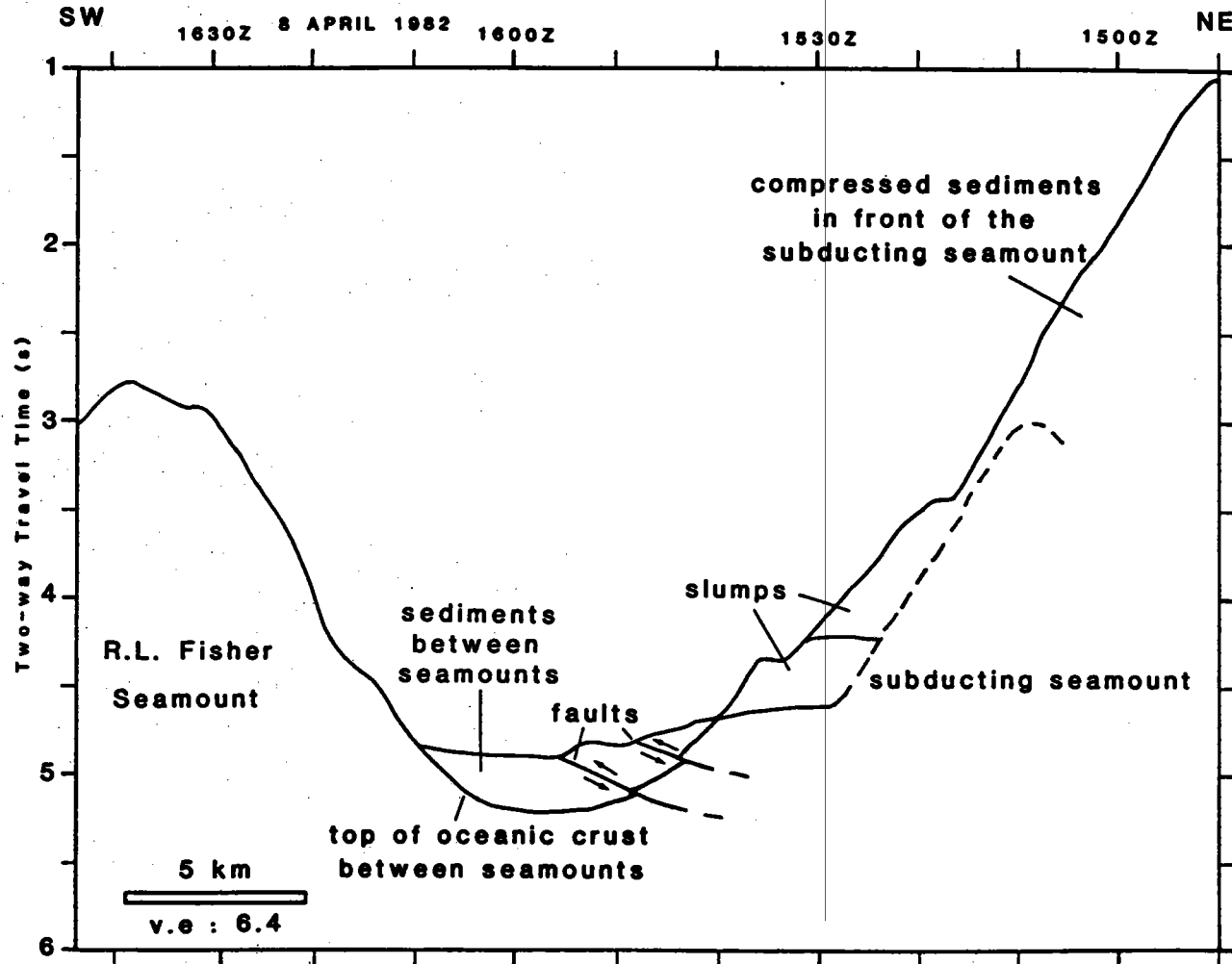


3-28

LEVE 'COSTA RICA 1'

B

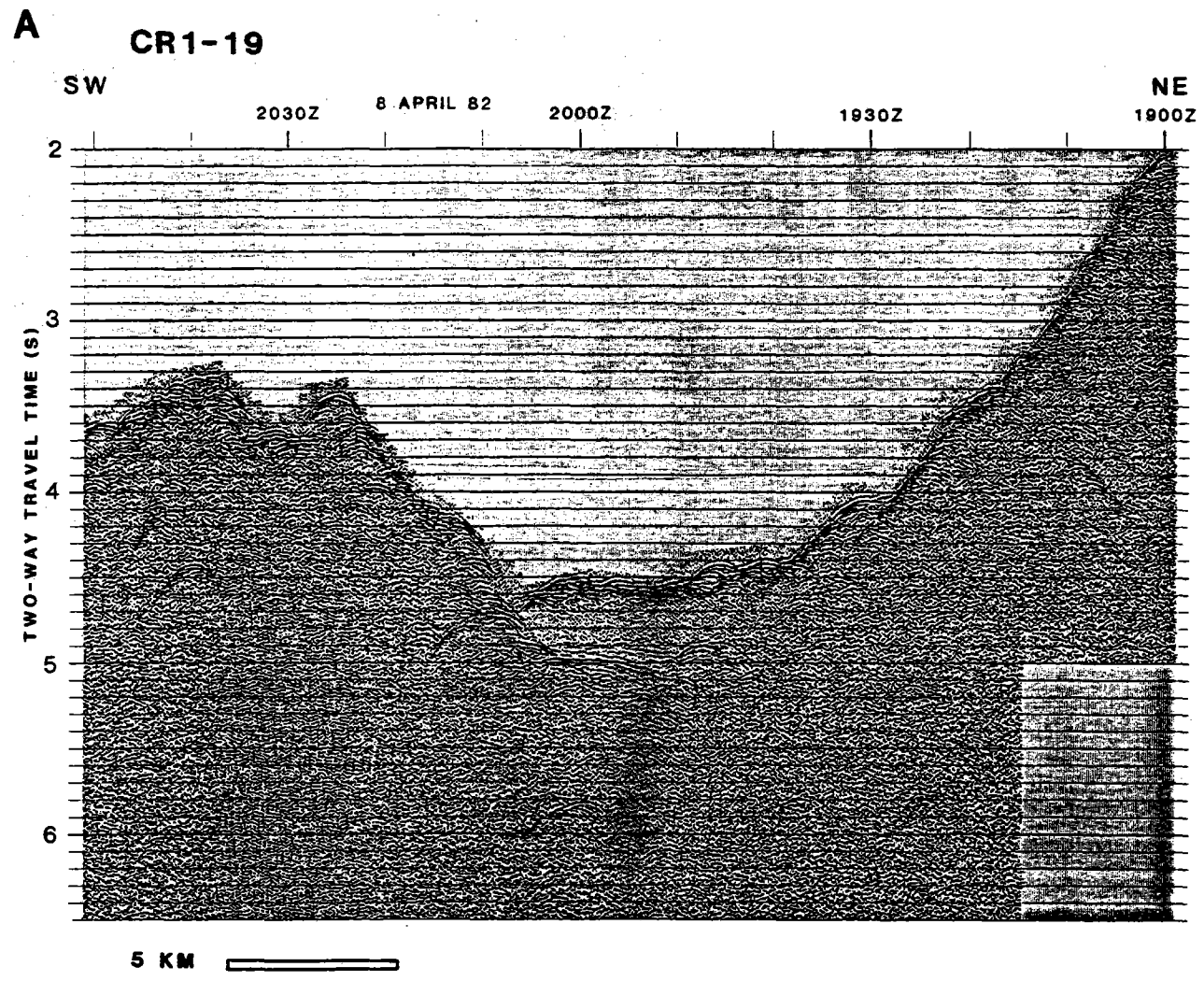
CR1-17



3-29

LEVE COSTA RICA 1'

**Figure 3.13** : Sismique réflexion Profil 19. A : profil original traité (AGC : 0.5 s). B : profil interprété.

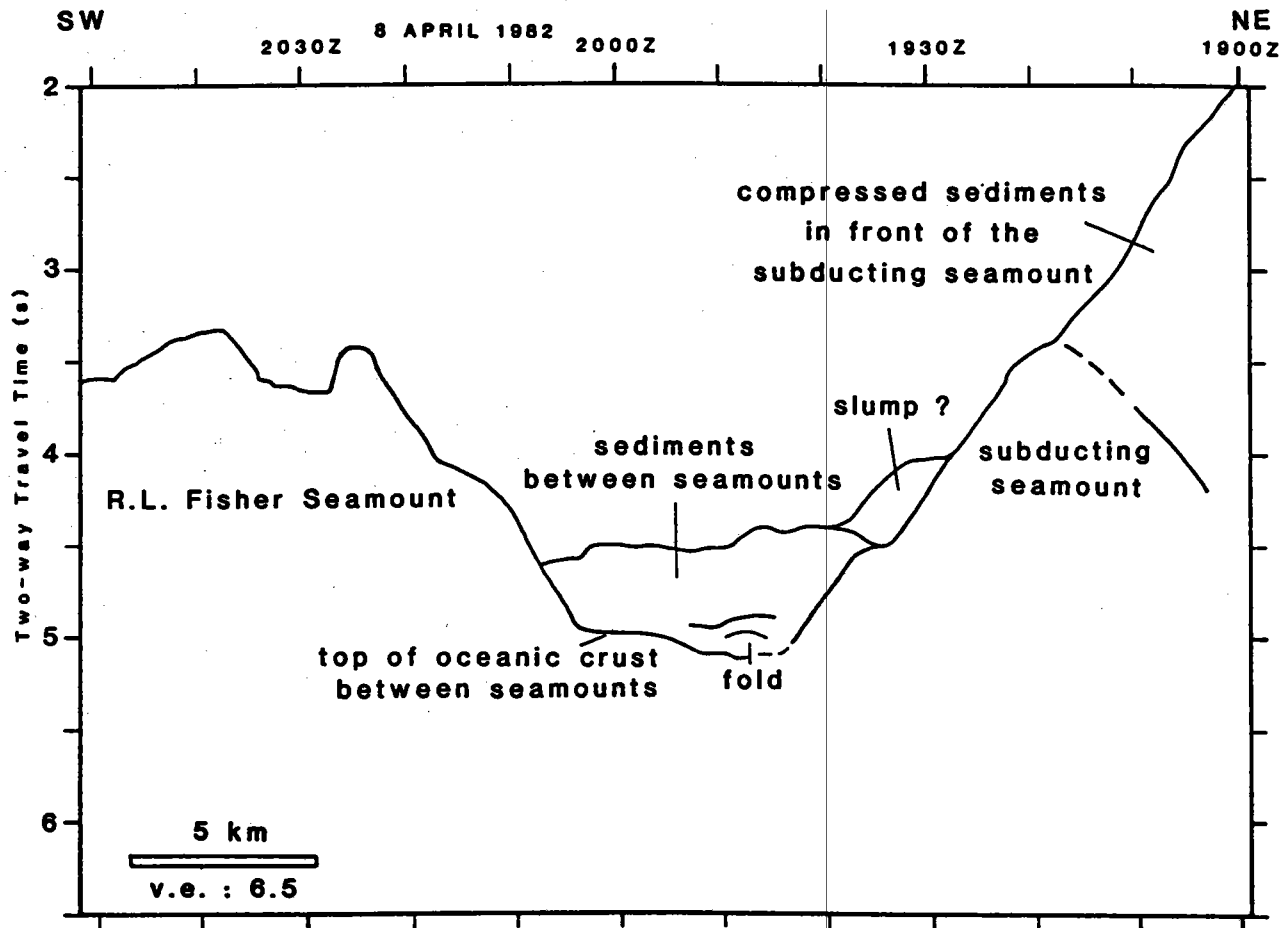


3-30

LEVE 'COSTA RICA I'

B

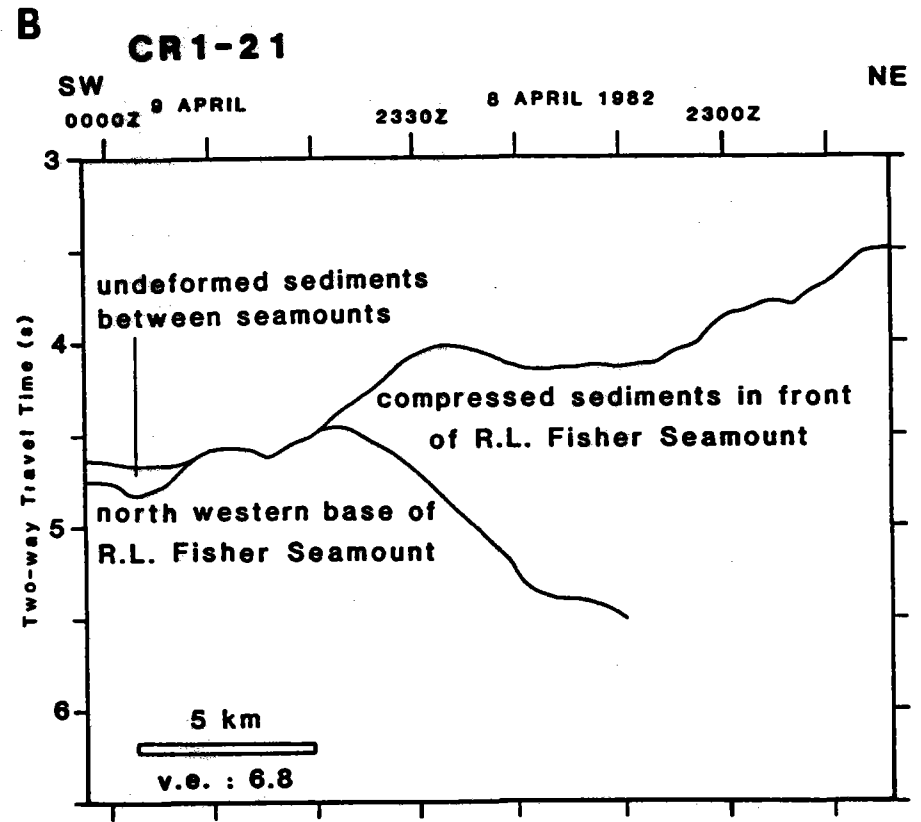
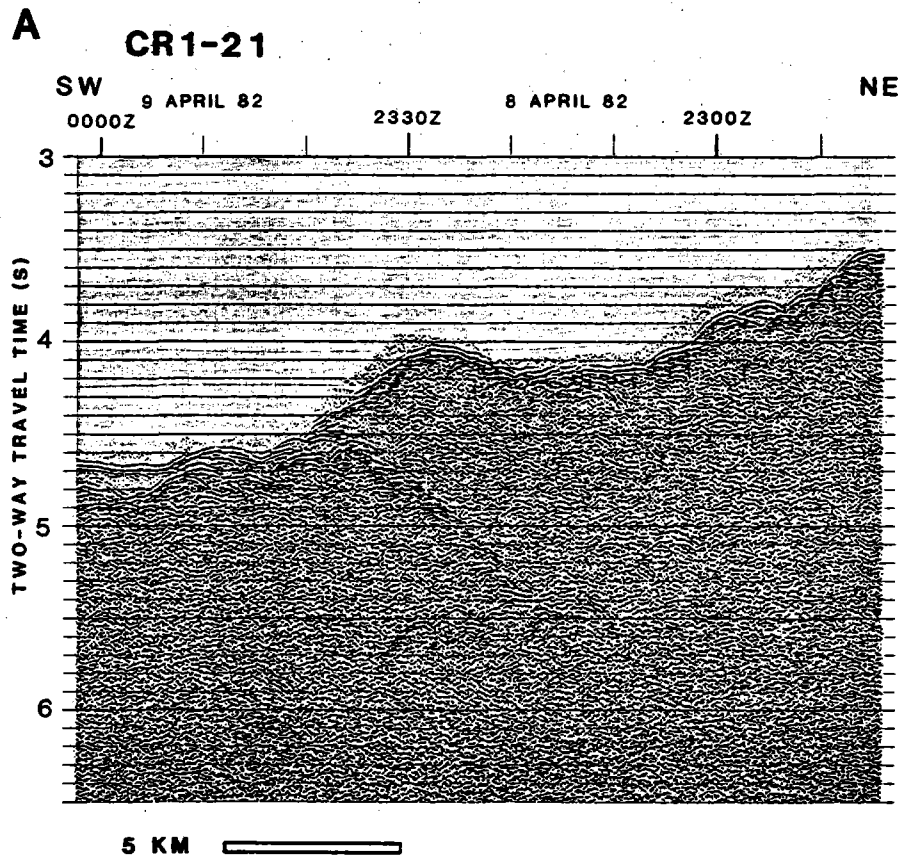
CR1-19



3-31

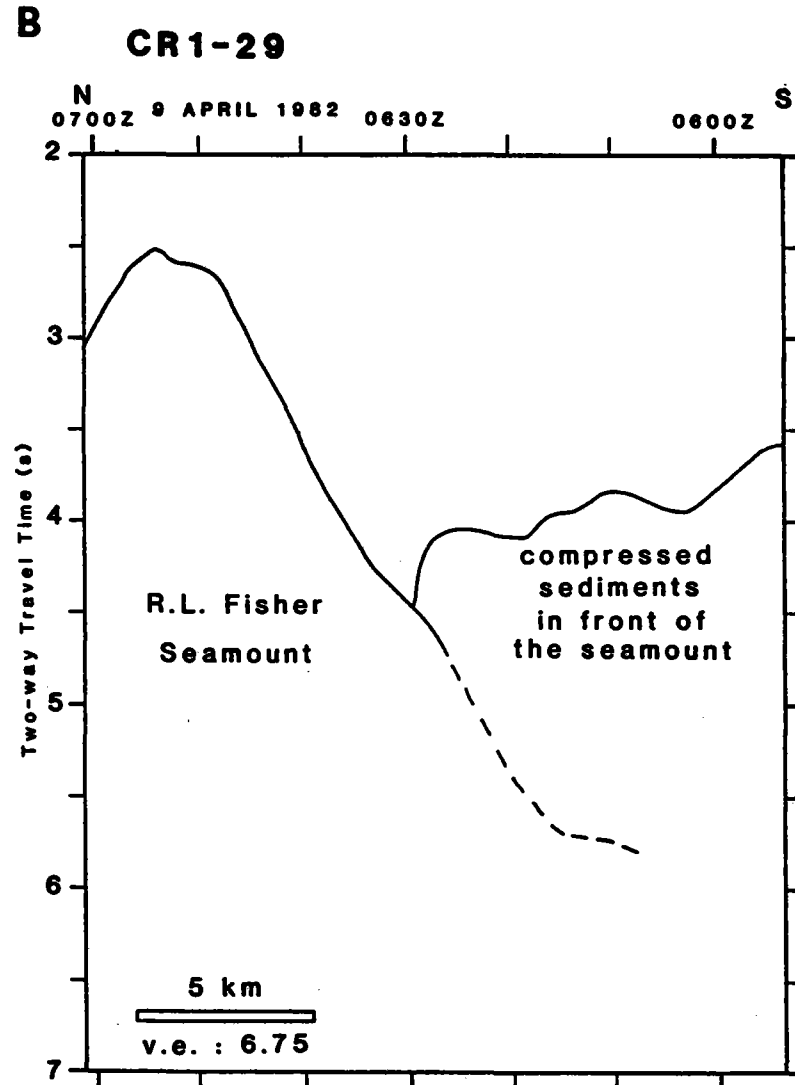
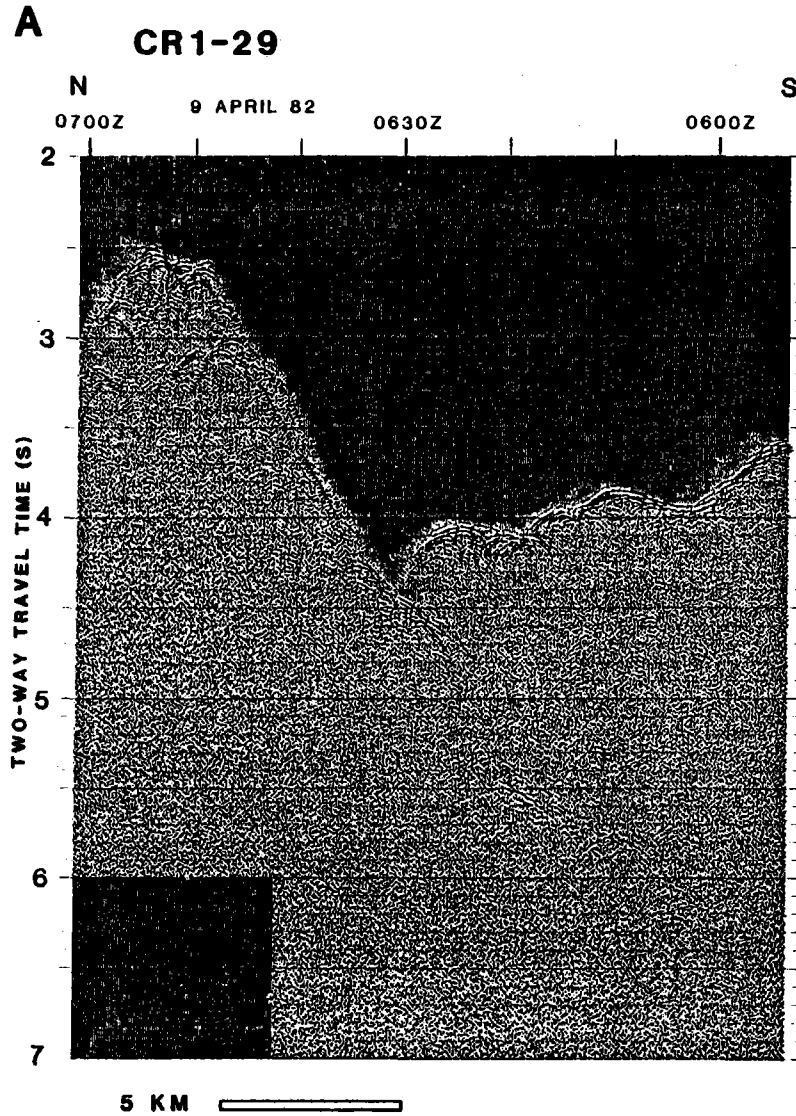
LEVE 'COSTA RICA I'

**Figure 3.14** : Sismique réflexion Profil 21. A : profil original traité (AGC : 0.5 s). B : profil interprété.





**Figure 3.15 : Sismique réflexion Profil 29. A : profil original traité (AGC : 0.5 s). B : profil interprété.**



superposés.

#### 3.2.4.3 - le début de la subduction du seamount R.L. Fisher (profils 21 et 29) (fig. 3.14 et 3.15)

Le profil 21 montre que le seamount R.L. Fisher a déjà commencé à disparaître sous la pente continentale et que sa base se trouve à environ 3 km (5 km le long du profil) de l'axe du fossé. Ce début de subduction a provoqué une compression et un soulèvement des sédiments de la base de la pente.

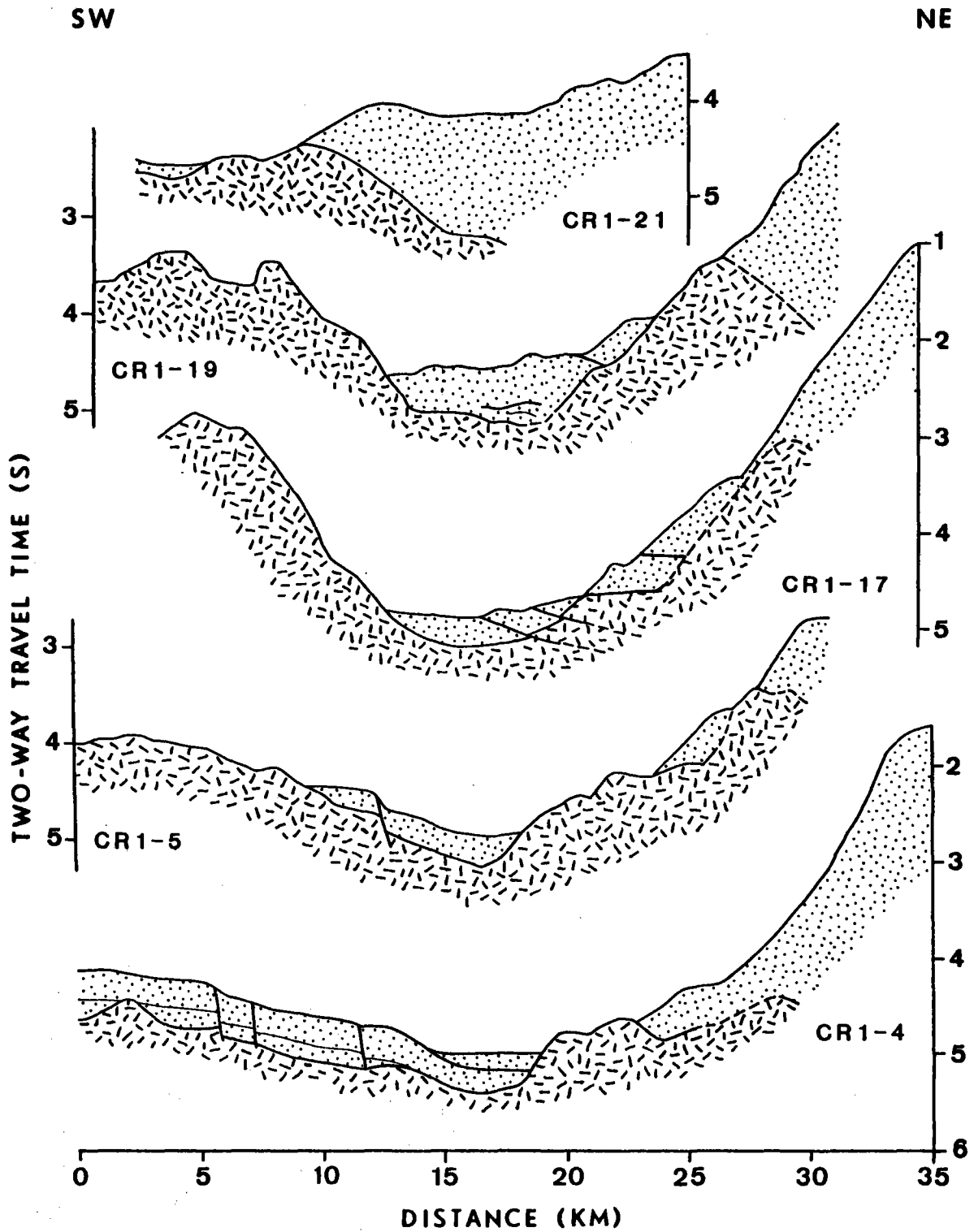
Le profil 29, perpendiculaire à l'axe local du fossé, montre aussi que 3 km du seamount R.L. Fisher ont déjà disparu sous la base de la pente continentale provoquant une importante compression des sédiments accompagnée d'un soulèvement de toute cette partie de la pente.

#### 3.2.5 - Conclusions

Les profils de sismique réflexion ont apporté la troisième dimension nécessaire à l'étude de cette région charnière.

Ils ont permis d'étudier la subduction de seamounts de taille moyenne : compression et soulèvement des sédiments de la pente continentale, puis dès que le sommet du seamount a commencé à passer sous la pente, slumping des sédiments soulevés. Le seamount subducté subit un retard de subduction par rapport à la plaque qui le porte à cause de l'aspérité qu'il forme dans le plan de subduction (fig. 3.16).

La comparaison entre les deux parties de plaque océanique observées sur la carte bathymétrique ne peut porter que sur les sédiments. Des deux côtés du seamount, la série sédimentaire est divisée en deux parties d'aspect sensiblement identique de part et d'autre du volcan. Cependant, si la série sédimentaire supérieure a une épaisseur uniforme d'environ 250 m et correspondrait selon Heezen, MacGregor et al. (1973) à des boues organiques non consolidées, la série inférieure a une épaisseur variable à cause des petites formations volcaniques parsemant la croûte océanique proche des grands seamounts et serait composée de carbonates (Heezen, MacGregor et al., 1973). Cette variation d'épaisseur ne masque pourtant pas la puissance légèrement moins importante de cette unité du côté occidental (200 m) du seamount par rapport au côté oriental (250 m) en dehors des perturbations dues aux petits cônes volcaniques. On peut voir cette différence également sur les profils enregistrés par l'University of Texas Institute for Geophysics (Buffler, 1982 ; Crowe & Buffler, 1983), et les profils du levé Costa Rica II montrent aussi que le sommet de la croûte se trouve sous 0.5 s (temps double) de sédiments (Shipley & Moore, 1984). Cette variation d'épaisseur signifie que la croûte y est d'âge légèrement différent de chaque côté du seamount R.L. Fisher : plus jeune au NW qu'au SE. Sachant que la croûte océanique de ces régions a été formée plus au Sud, on peut estimer que si les 50 premiers mètres sédimentés sur la partie SE l'ont été sous l'Equateur, c'est-à-dire avec un taux anormalement élevé de 20 m/M.Y. calculé en moyenne sur l'ensemble du Pacifique Equatorial (Heezen, MacGregor et al., 1973), la différence d'âge minimale entre les deux parties est de 2.5 M.Y. environ.



**Figure 3.16** : Série de coupes à travers les deux seamounts : interprétation des profils de sismique réflexion 4, 5, 17, 19, 21 et 29.

### 3.3 - ETUDE DES DONNEES MAGNETIQUES

Seules les données magnétiques de la mission ARIADNE2 du Thomas Washington ont été utilisées pour le dessin de la carte des anomalies magnétiques du levé 'Costa Rica I'. En effet, avant le dessin il a été nécessaire de retirer la variation diurne du champ magnétique et cela n'est possible que dans le cas de levé ayant suffisamment de croisements pour lesquels la pente magnétique n'est pas trop élevée, ce qui exclut l'utilisation des transits des missions TOULAC3 et PANAC du Jean Charcot (voir chapitre 2).

Il est utile de faire ici un bref rappel de l'origine du magnétisme et des anomalies magnétiques en milieu océanique. Le matériel basaltique lors de son refroidissement à l'axe des dorsales ou sur les seamounts, enregistre dans les minéraux magnétiques la direction et l'inclinaison du champ magnétique du lieu où il se trouve. Cette signature est conservée tant que le matériel n'est pas élevé au-dessus d'une température permettant l'effacement de cette signature (température de Curie). C'est pour la plus grande part cette aimantation thermo-rémanente d'origine qui est mesurée lors des levés en mer, l'aimantation induite par le champ actuel étant faible. La valeur la plus souvent étudiée à partir des enregistrements marins n'est pas le champ total mais l'anomalie par rapport à un champ de référence actuel, qui est le champ magnétique dû au noyau. Cette anomalie est provoquée par la juxtaposition de corps ayant des caractéristiques d'aimantation différentes, dans un champ magnétique dont l'inclinaison et l'intensité varient avec la latitude et le sens d'aimantation change dans le temps (périodes à polarité positive ou normale, et périodes à polarité négative). Le dessin des anomalies dépend donc du lieu de formation des corps aimantés, de l'aimantation du corps, de la distance entre la source et le récepteur (magnétomètre) et de la position de ce dernier par rapport aux corps magnétiques.

#### 3.3.1 - Description de la carte des anomalies magnétiques (fig. 3.17)

Le dessin de la carte à partir des données interpolées a montré que l'erreur moyenne est environ de 5 nT, et que localement elle n'est jamais supérieure à 10 nT (voir chapitre 2).

La carte des anomalies magnétiques montre deux zones fortement positives (anomalies supérieures à 100 nT) et deux zones fortement négatives (anomalies inférieures à -100 nT).

Les anomalies positives ont un axe orienté N50°E pour la plus occidentale, et N60°E pour la plus orientale. La limite entre les anomalies négative et positive dans la partie occidentale de la carte est d'orientation N60°E. La limite entre la forte anomalie positive occidentale et la forte anomalie négative centrée à 9°N-85°27'W environ est orientée N65°W. La limite entre l'anomalie positive orientale et l'anomalie positive située au Sud montre deux directions (N55-N60°W et N125-N165°W), les segments formant cette limite en 'dents de scie' étant courts on peut également considérer la moyenne qui est alors orientée E-W. La limite entre l'anomalie positive orientale et l'anomalie négative située au Nord n'a pas de direction nette. Une anomalie positive est présente au SE de la carte, sa limite avec l'anomalie légèrement négative située au Nord est environ N70°E.

La superposition de la carte magnétique (fig. 3.17) et de la carte bathymétrique simplifiée (fig. 3.18) montre que le centre bathymétrique du seamount R.L. Fisher est situé entre les courbes 50 et 75 nT de la carte magnétique mais que les maximums positif et négatif sont tous deux situés au S du seamount. La partie centrale du seamount en cours de subduction est également située entre les courbes 50 et 75 nT de la carte magnétique, mais alors que pour le seamount R.L. Fisher l'anomalie positive se situe au NW du seamount, pour le seamount en cours de subduction celle-ci se trouve au SE. La courbe 100 nT dessine un petit appendice accolé à l'anomalie positive orientale, la cartographie du socle océanique (voir plus loin) a montré qu'il existait dans cette région un édifice volcanique, sans doute plus petit que le seamount en cours de subduction mais très proche de lui (la partie visible sur les données de sismique réflexion est située juste sous l'extrémité NE du maximum de l'anomalie magnétique).

### 3.3.2 - Eléments d'interprétations

Comme tout problème d'inversion, l'interprétation des anomalies magnétiques a une infinité de solutions, c'est pourquoi il est nécessaire de contraindre d'abord le problème en utilisant le maximum de données disponibles.

On sait d'après l'étude des données de sismique réflexion que la couche océanique de part et d'autre du seamount R.L. Fisher a une différence d'âge d'environ 2.5 MY, ce qui signifie qu'elle peut avoir une aimantation de sens différent de chaque côté du seamount.

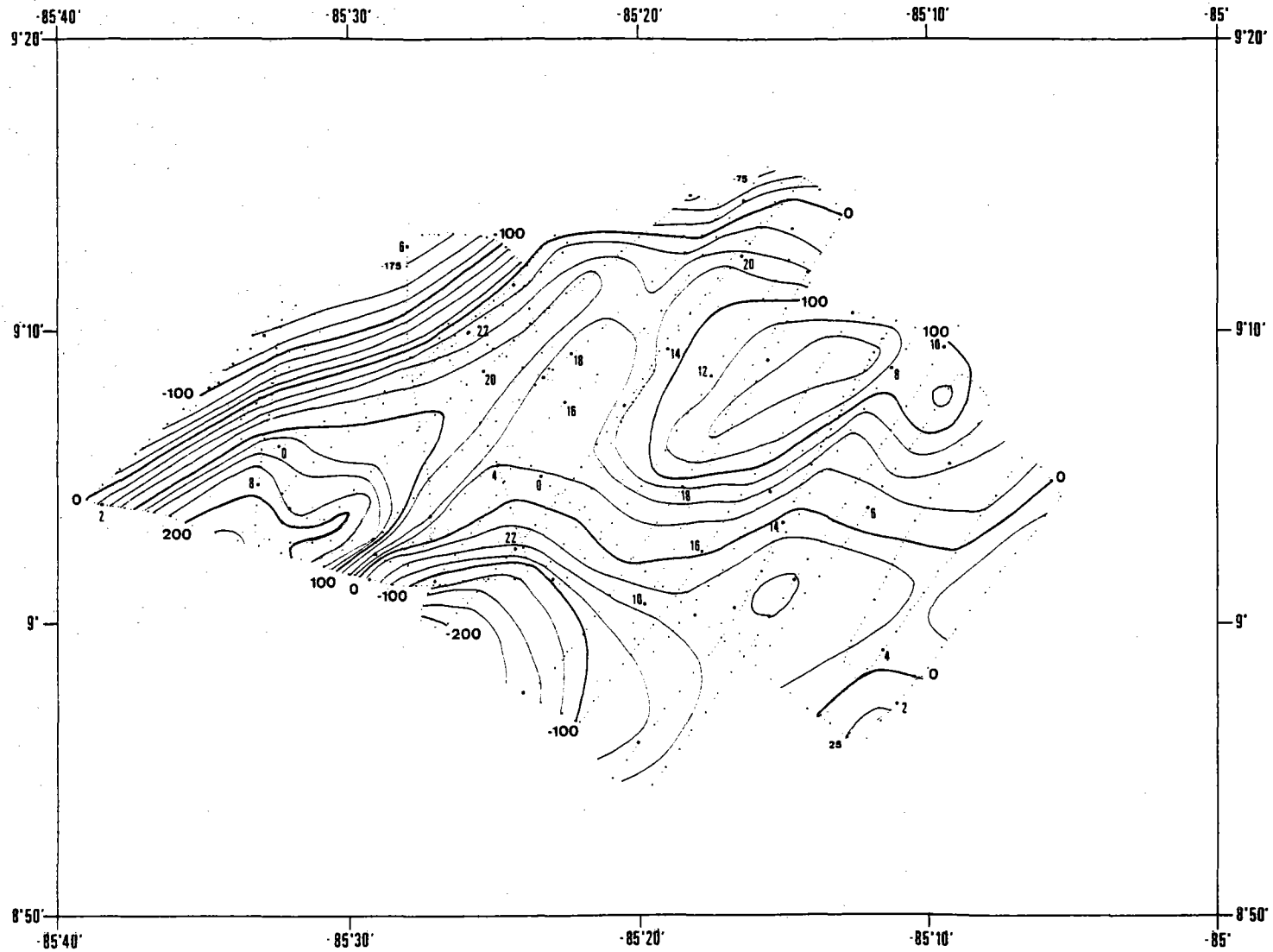
La présence des seamounts est également à considérer : Sager (1984) a étudié un seamount haut d'environ 3500 m, situé à 30°N environ (mais formé à 15-20°N environ) dont les anomalies associées vont de -350 à +250 nT. Ces valeurs sont très comparables à celles observées pour les seamount R.L. Fisher : hauteur de 2500 m environ, anomalies de -200 à +225 nT au moins, cependant la pente maximum des anomalies n'est pas située dans notre cas au dessus du seamount. Le seamount en cours de subduction pose un problème car il n'y a pas d'anomalie négative visible associée à la forte anomalie positive.

Un autre problème se pose pour le seamount R.L. Fisher : la direction de la limite entre les anomalies positive et négative diffère d'au moins une vingtaine de degrés de la direction E-W. Ceci peut s'expliquer si l'on considère que la plaque a subi une rotation depuis sa formation, ce qui est fort probable d'après ce que l'on sait de la tectonique des plaques actuelle dans cette région (voir chapitre suivant).

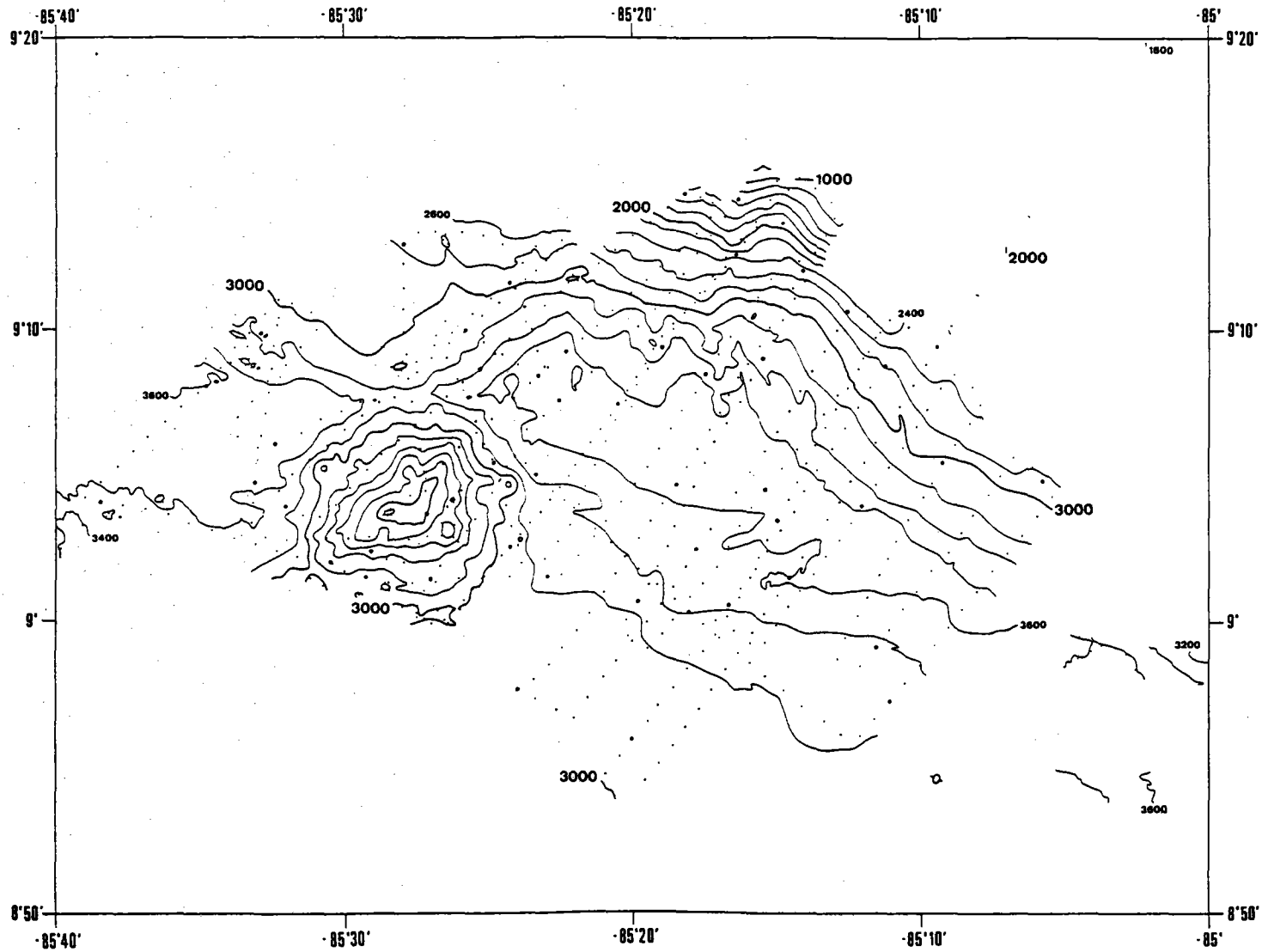
Il faut également noter que la subduction provoque un basculement des seamounts de quelques degrés (3.5 degré environ).

L'interprétation qui semble la plus plausible ici tient compte de tous ces éléments :

La croûte océanique a une polarité différente de part et d'autre des seamounts avec une ligne de séparation parallèle à l'élongation de l'anomalie positive occidentale et très proche de celle-ci : la polarité de la plaque est négative au NW expliquant la forte anomalie négative, elle est positive au SE : expliquant la petite anomalie positive au NE du seamount R.L. Fisher prolongeant l'anomalie du volcan, et l'anomalie faiblement positive à l'Est du seamount et au



**Figure 3.17** : Costa Rica 1 : carte des anomalies magnétiques. Position corrigée des points. Anomalies par rapport à la référence IGRF 1980 calculée à la date du levé. Correction de la variation diurne. Equidistance des courbes : 25 nT, et 100 nT pour les courbes maîtresses.



**Figure 3.18** : Costa Rica 1 : carte bathymétrique simplifiée, couvrant la même zone que la carte des anomalies magnétiques (fig. 3.17).  
Equidistance des courbes : 200 m, et 1000 m pour les courbes maîtresses.

## LEVE 'COSTA RICA I'

Sud de l'axe du fossé.

Les seamounts surimposent leur marque, mais ils ont subi une rotation d'au moins une vingtaine de degrés depuis leur formation : le seamount R.L. Fisher est responsable au moins en partie de l'association fortes anomalies positive et négative au SW de la carte, il a sans doute été formé durant une période de polarité inverse. Le seamount en cours de subduction s'est par contre vraisemblablement formé lors d'une période normale, l'anomalie négative qui devrait être associée à l'anomalie positive est peut-être oblitérée par le contact entre les deux morceaux de plaque océanique ou par la présence sous la pente continentale des ophiolites affleurant dans la presqu'île de Nicoya.

La vérification de cette interprétation ne peut être envisagée sans la construction d'un modèle tenant compte des divers éléments de ce levé : deux parties de croûte océanique d'âges différents et deux seamounts.

### 3.4 - SYNTHÈSE DES DONNÉES DU LEVÉ COSTA RICA 1 ET DISCUSSION

L'ensemble des données bathymétriques et sismiques du levé 'Costa Rica I' ont servi à construire une série de diagrammes en trois dimensions pour la plus grande partie du levé. Ces blocs-diagrammes aident à montrer les relations existant entre les différentes surfaces observées sur les profils de sismique réflexion : socle basaltique formé par la couche 2 de la croûte océanique et les seamounts, les deux séries sédimentaires océaniques, les sédiments de la pente continentale, le remplissage sédimentaire de fond de fossé, les slumps, les BSR (voir 2ème partie de ce chapitre).

Une meilleure compréhension des phénomènes observés sur le levé 'Costa Rica I' passe par leur intégration dans l'ensemble des connaissances du contexte régional du Fossé d'Amérique Centrale et de la plaque Cocos.

#### 3.4.1 - Synthèse des données du levé 'Costa Rica I'

Les blocs diagrammes de la figure 3.19 ont été construits, à partir de l'ensemble des profils de sismique réflexion et de la carte bathymétrique à l'aide d'un programme écrit par Dominique Gibert pour HP1000 et traceur Benson, que j'ai modifié pour PDP11 23 Plus et traceur Tektronix 4662.

##### 3.4.1.1 - le niveau basaltique (fig. 3.19A)

Le niveau inférieur représente le socle acoustique des profils de sismique réflexion, c'est-à-dire le matériel basaltique de la croûte océanique et des édifices volcaniques.

Ce niveau n'est pas visible sur la totalité du levé car une partie est cachée par la masse des sédiments de la pente continentale : la surface de la couche 2 de la croûte océanique et des seamounts ne peut être distinguée des autres réflecteurs, vrais et parasites, lorsque les sédiments de la pente continentale sont trop épais ou trop perturbés.

Outre les deux grands seamounts déjà étudiés, de petits volcans hauts



d'environ 200 à 300 m, cachés par les sédiments océaniques peuvent être observés près des grands volcans. Ils disparaissent au-delà d'une distance d'environ 10 km des grands seamounts.

A la base des grands seamounts on observe une surface peu inclinée (pente d'environ 3-4° alors que la pente est de 13.5° pour le volcan apparent) et acoustiquement opaque appelée en anglais 'volcanic apron'. Elle s'étend au plus jusqu'à 4 km de la limite du seamount proprement-dit. On n'observe pas la présence de cette base volcanique autour des petits seamounts.

La couche 2 de la croûte océanique présente des linéations souvent parallèles entre-elles, provoquées par une série de failles normales liées à la subduction.

#### 3.4.1.2 - le niveau supérieur de la série sédimentaire océanique inférieure (fig. 3.23B)

La couche inférieure des sédiments océaniques est caractérisée par de nombreux réflecteurs internes souvent atténués. Cette couche a une extension limitée essentiellement à la couche volcanique libre de toute intrusion volcanique : elle n'est pas assez épaisse pour recouvrir les petits seamounts que l'on voit pointer au travers d'elle. Elle s'arrête également sur le 'volcanic apron' des grands seamounts.

La limite supérieure de ce niveau est invisible sur les coupes près du seamount en cours de subduction sous le remplissage sédimentaire du fond du fossé mais cette disparition est probablement due à un phénomène acoustique (la plus grande partie de l'énergie acoustique est dispersée par le litage observé dans ce remplissage).

Dans la partie orientale du dessin, on peut observer cette limite seulement dans la partie supérieure du plan de subduction, elle disparaît au-delà sans doute à cause de la faible impédance de cette limite en comparaison avec celles des autres limites (surtout sédiments océanique-socle océanique).

#### 3.4.1.3 - la surface de la couche sédimentaire océanique supérieure (fig. 3.23C)

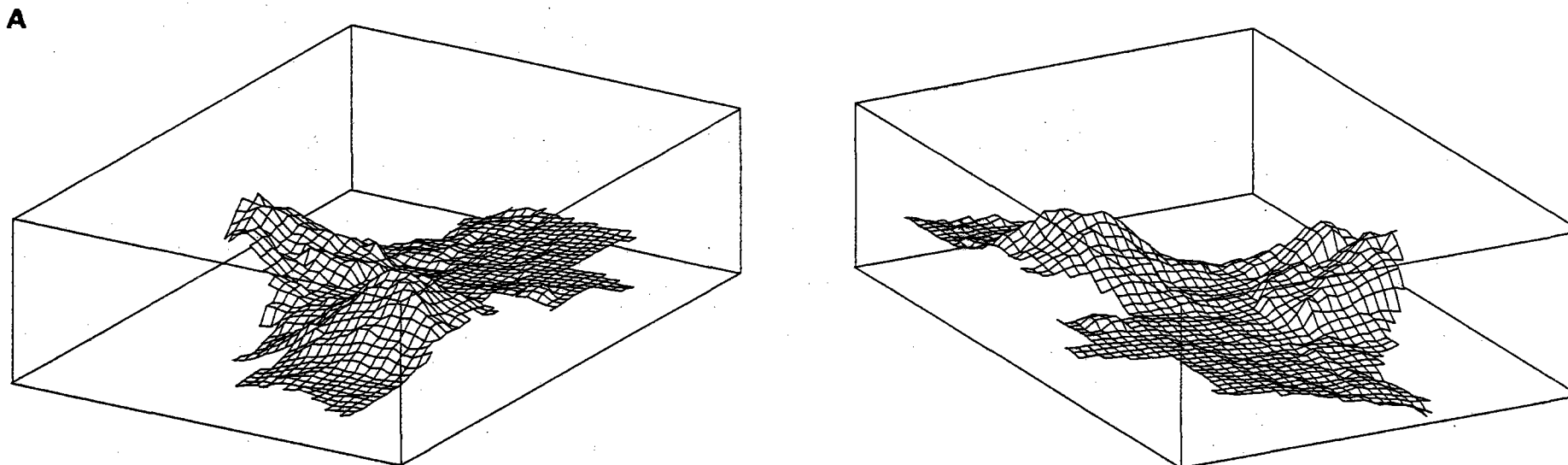
Cette limite représente en grande partie la surface bathymétrique de la croûte océanique à l'exception des grands seamounts. Tous les petits volcans sont entièrement recouverts de sédiments et invisibles de la surface.

La surface de ces sédiments est visible dans une partie du plan de subduction : on la voit s'enfoncer plus loin près du seamount en cours de subduction, vraisemblablement parce que celui-ci soulève suffisamment les sédiments de la pente continentale pour permettre à cette limite de garder son identité plus longtemps qu'ailleurs.

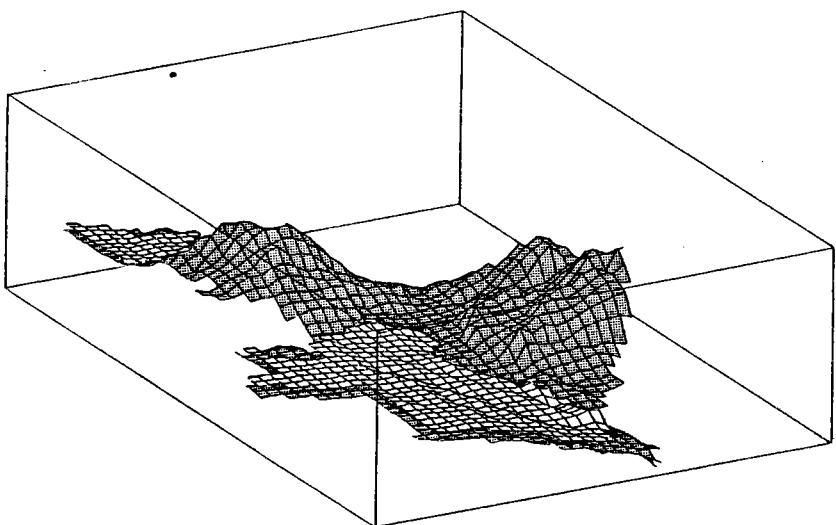
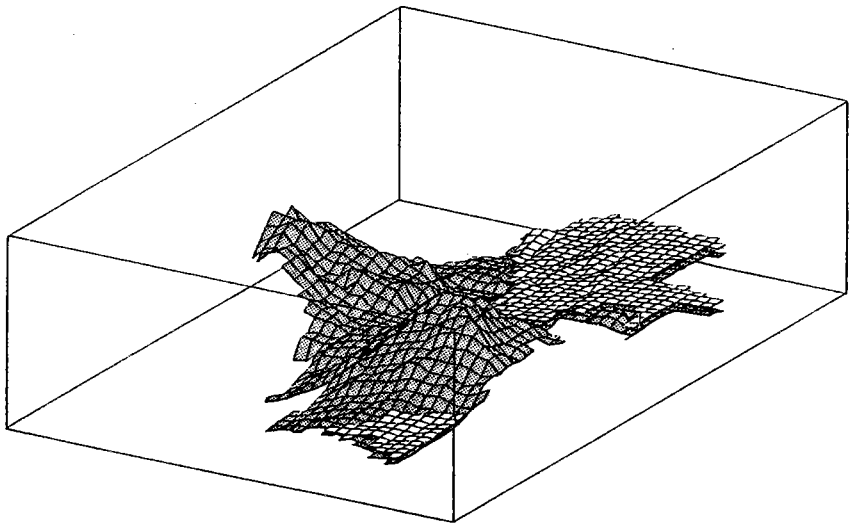
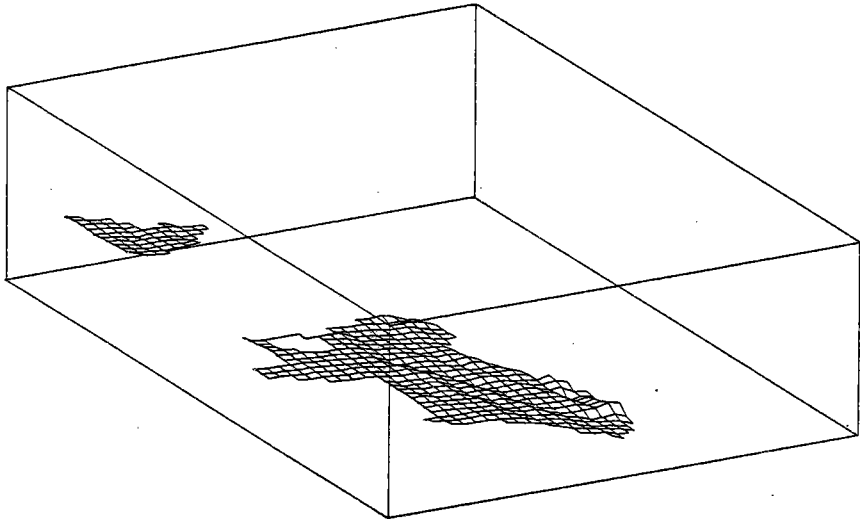
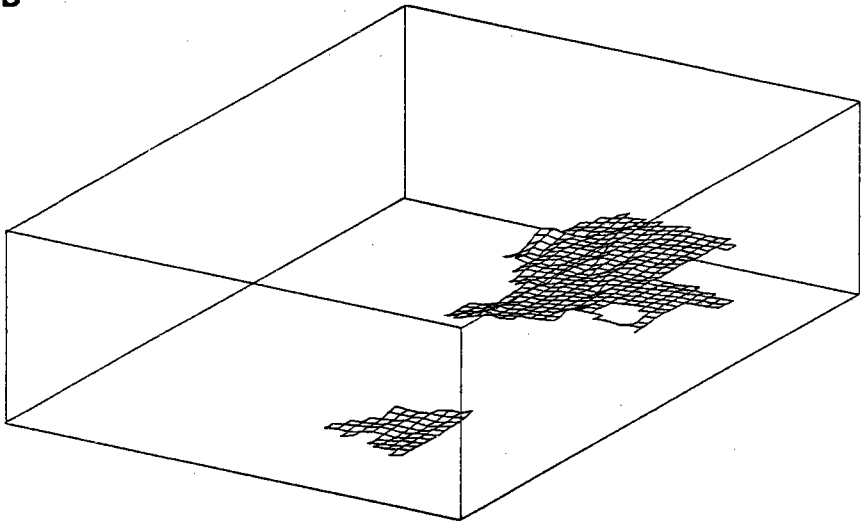
A l'Ouest du Seamont R.L. Fisher, cette limite est pratiquement invisible dans le plan de subduction mais elle a tout de même été représentée jusqu'à une distance de 2.5 km, distance observée à l'extrémité orientale du bloc, car sa disparition sur les coupes de sismique réflexion n'est sans doute due qu'à un manque de contraste acoustique avec la masse des sédiments de la pente continentale qui se situe au-dessus d'elle.

**Figure 3.19 :** Blocs-diagrammes du levé 'Costa Rica I' montrant les différents niveaux déterminés à partir des données de sismique réflexion (hauteur des blocs : de la surface à 5000 m de profondeur ; longueur des blocs : 57 km ; largeur : 39 km ; orientation du grand axe : N110°E ; maille du dessin : 1 km ; exagération verticale : 3)

- A : niveau basaltique
- B : limite supérieure des sédiments océaniques inférieurs
- C : limite supérieure des sédiments océaniques supérieurs
- D : BSR (Bottom Simulating Reflector)
- E : surface des sédiments de la pente continentale
- F : slump inférieur
- G : slump supérieur
- H : remplissage sédimentaire du fond du fossé

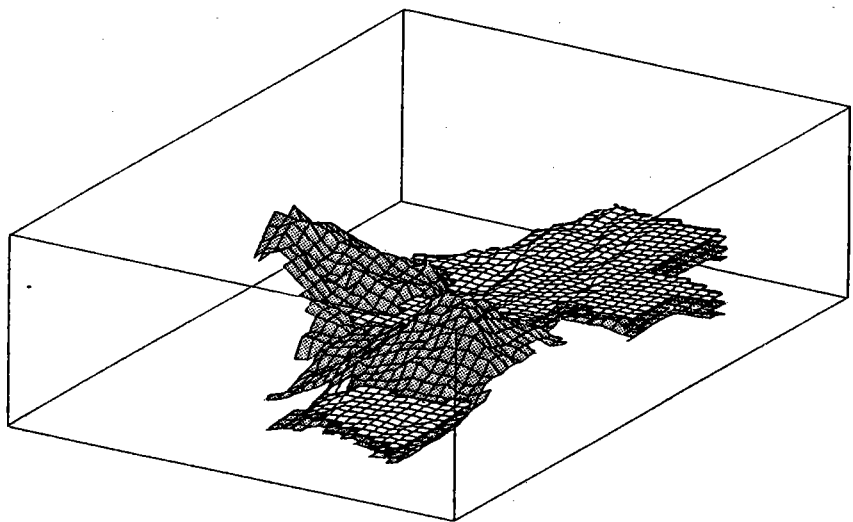
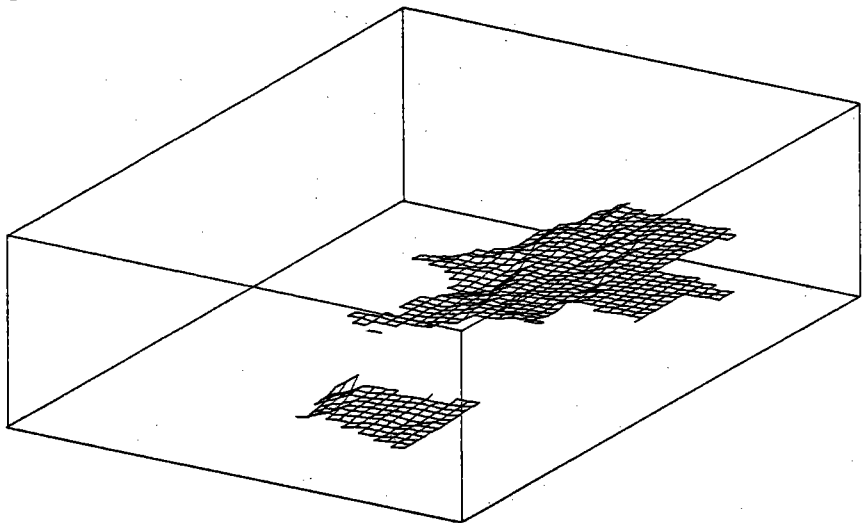
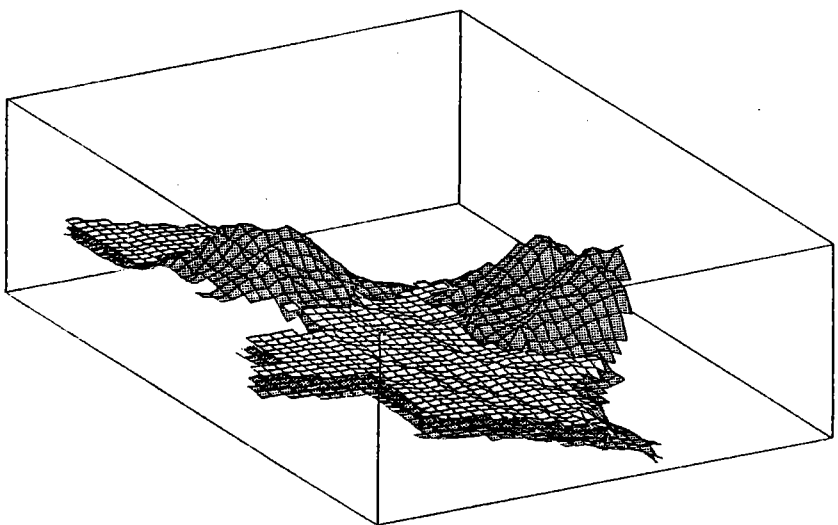
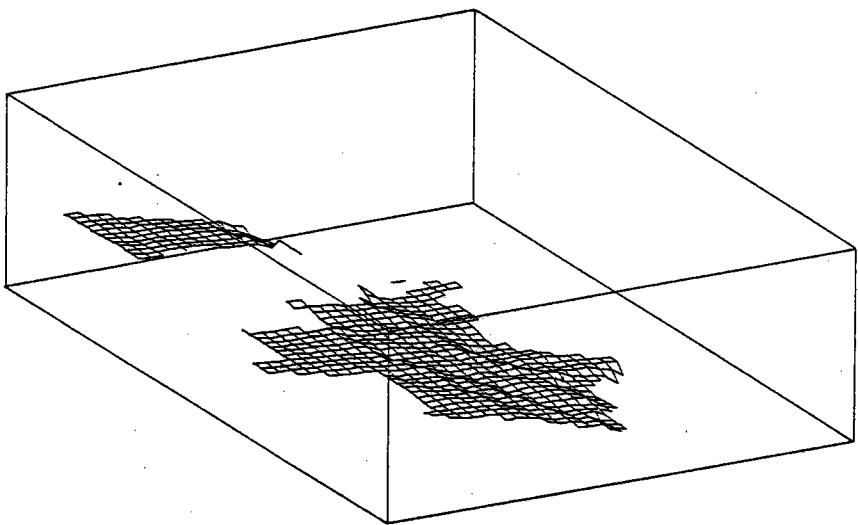


B



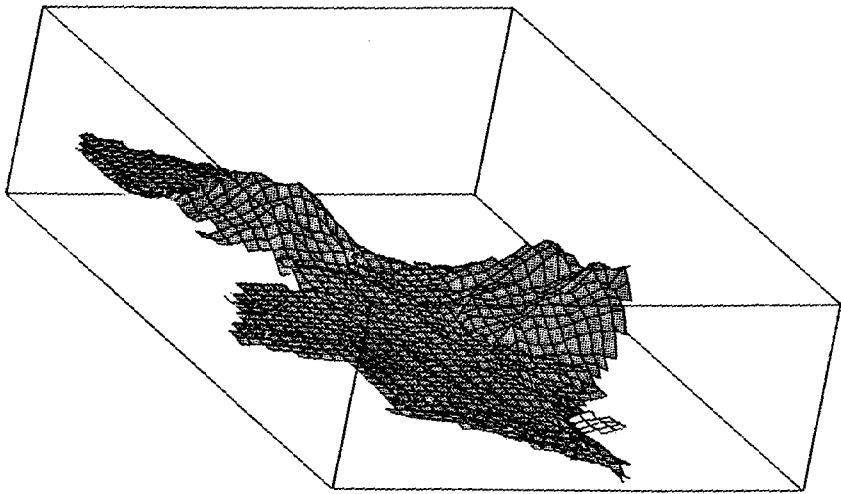
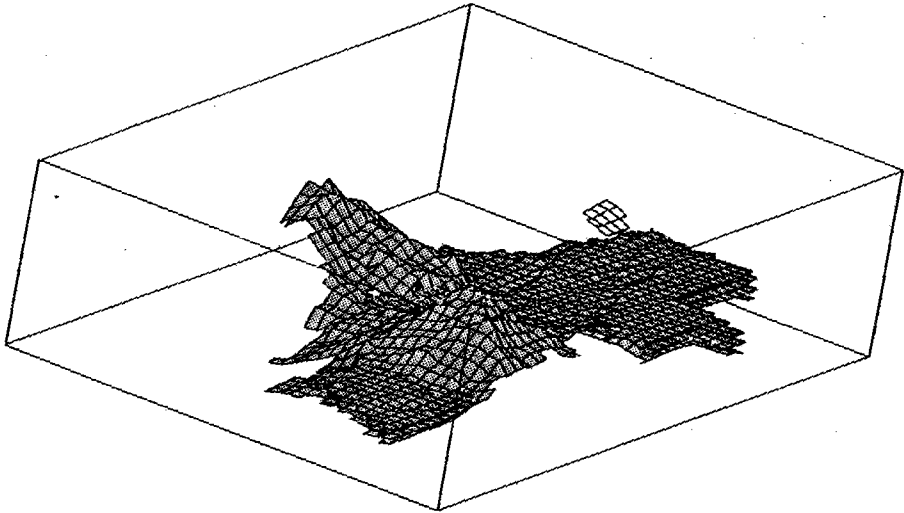
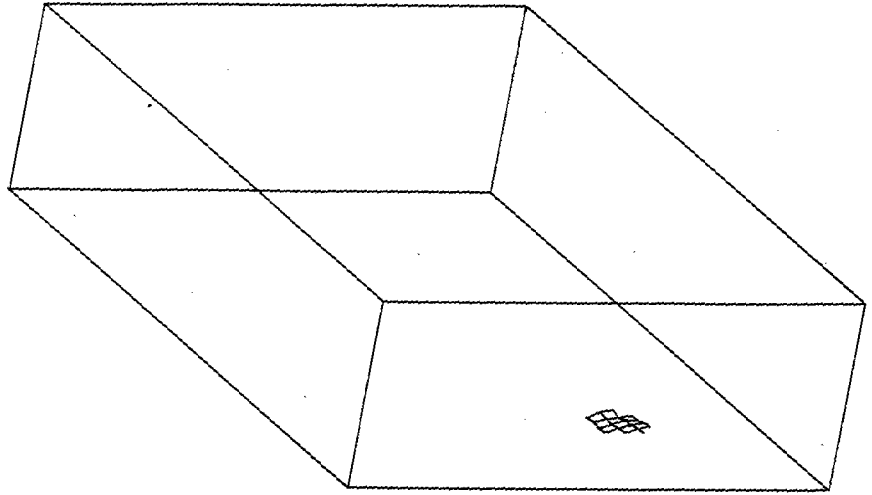
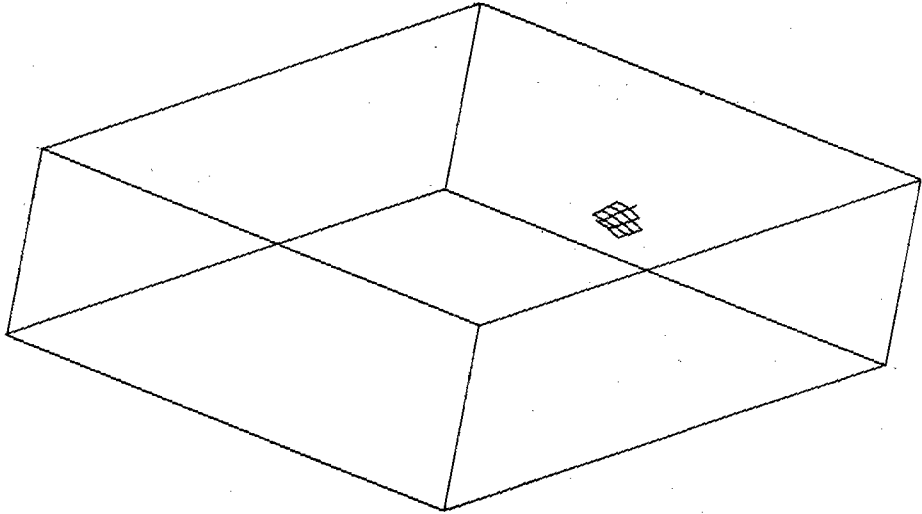
3-43

LEVE COSTA RICA I'



c

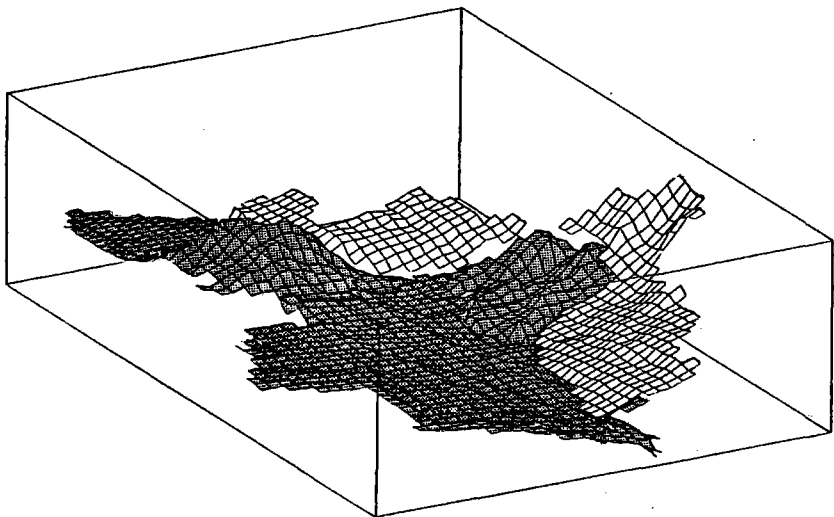
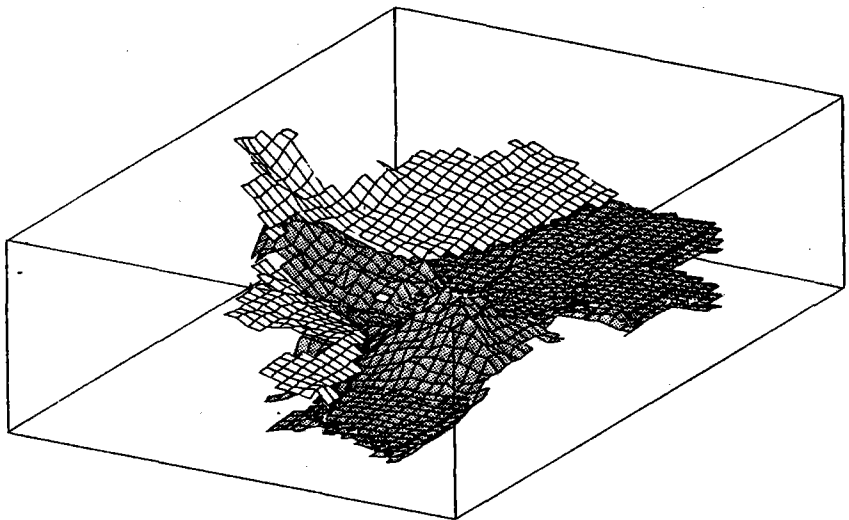
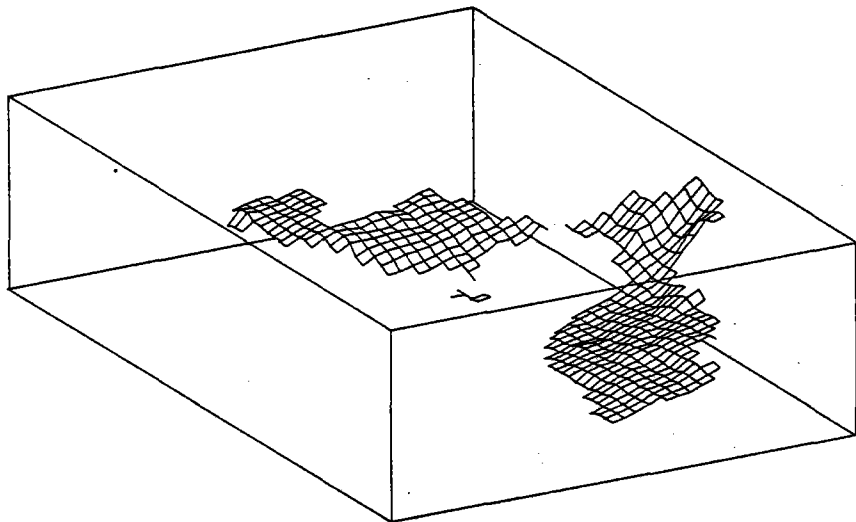
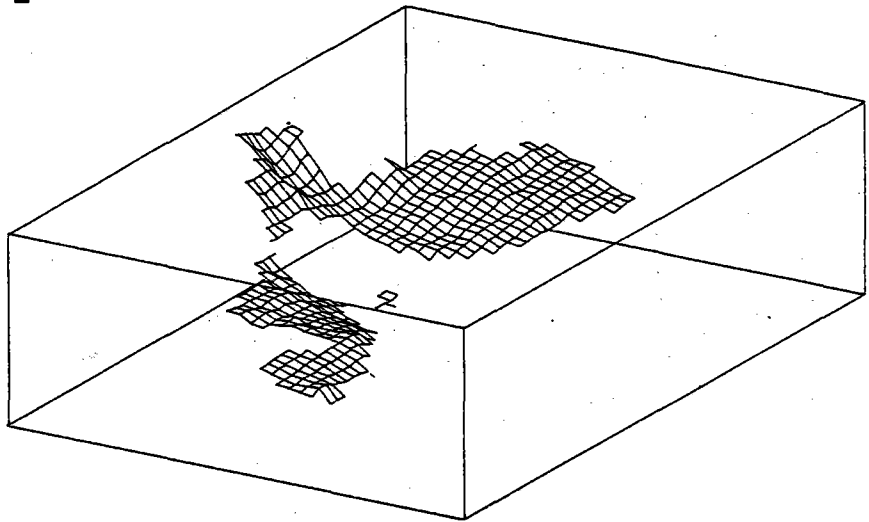
D



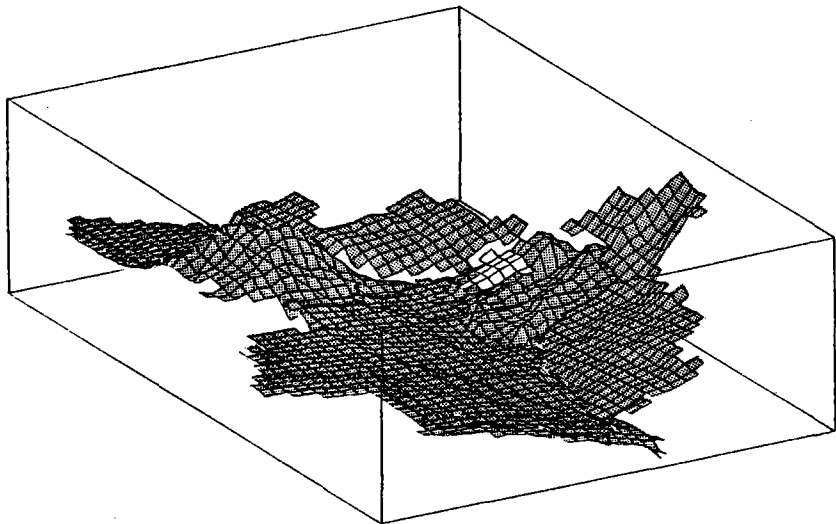
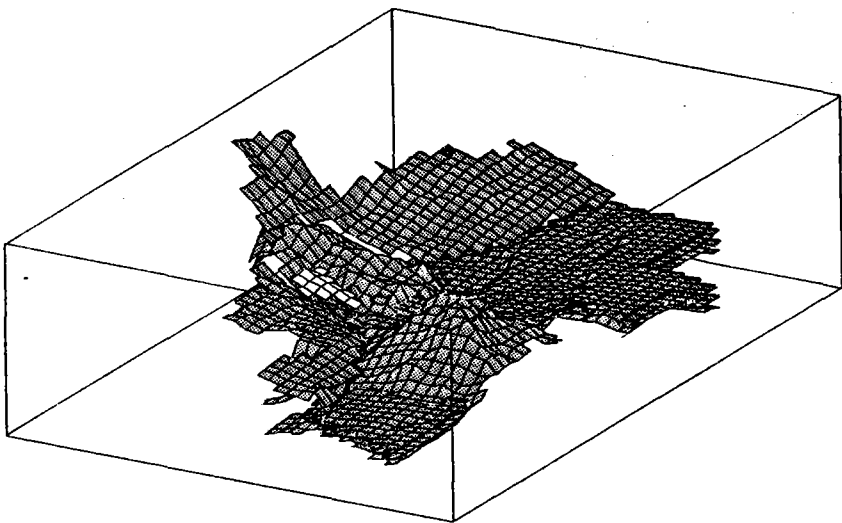
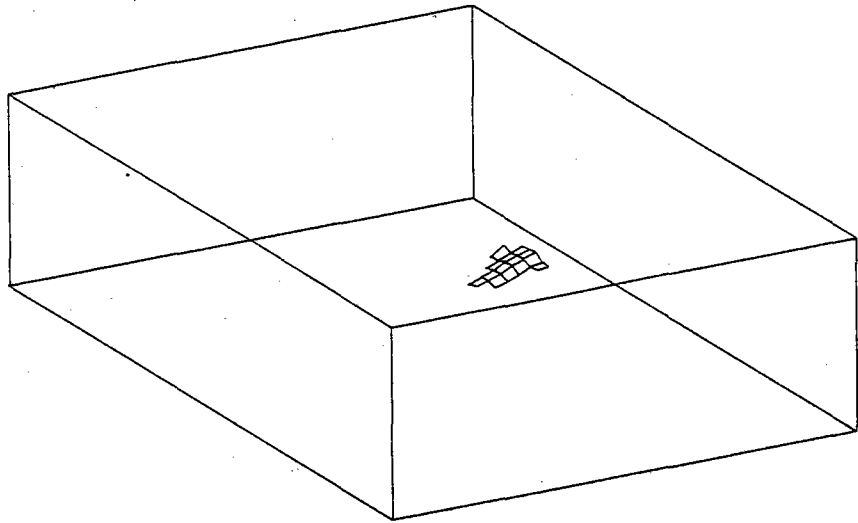
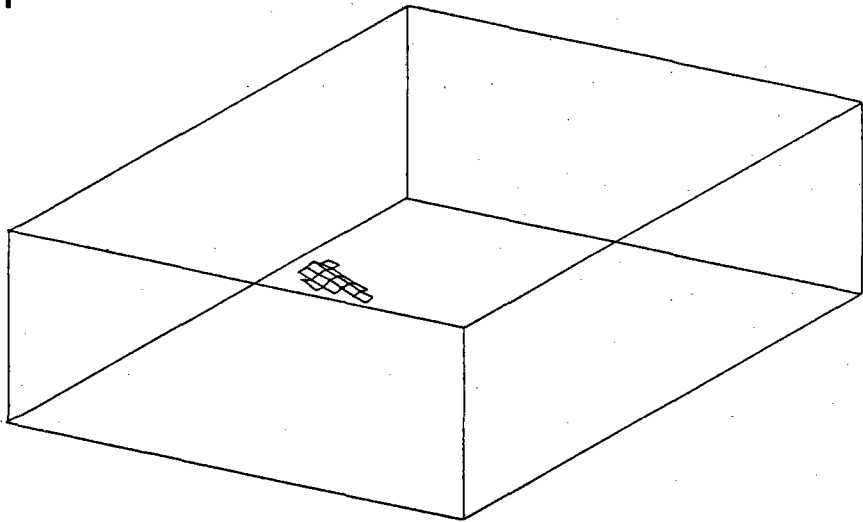
3-45

LEVE ' COSTA RICA 1,

E



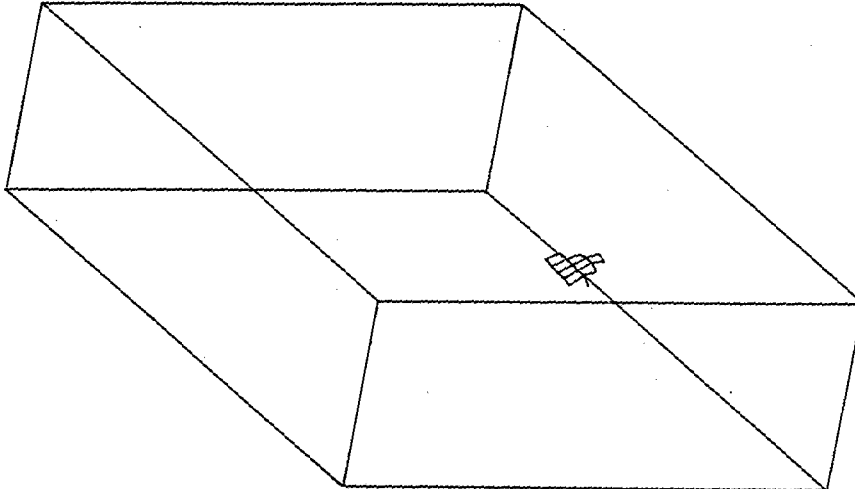
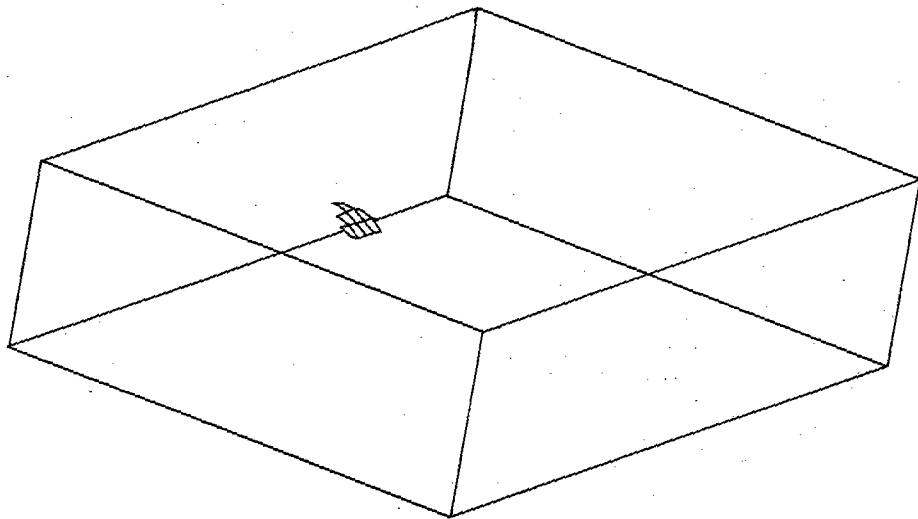
F



3-47

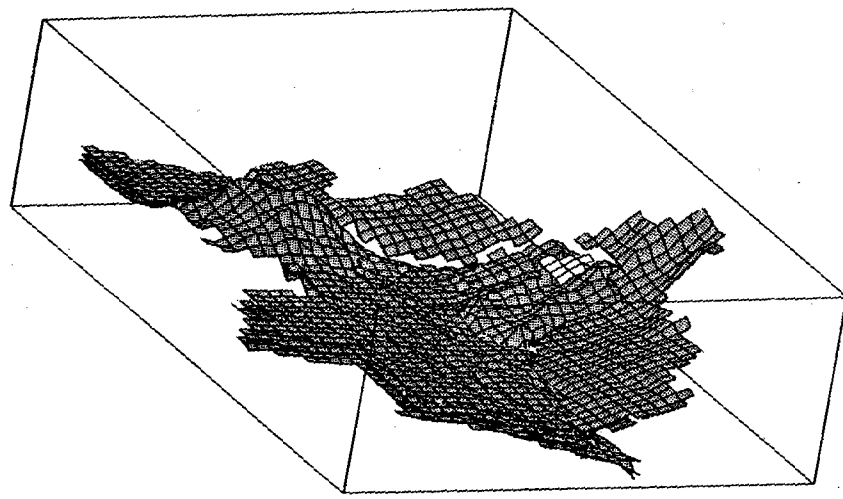
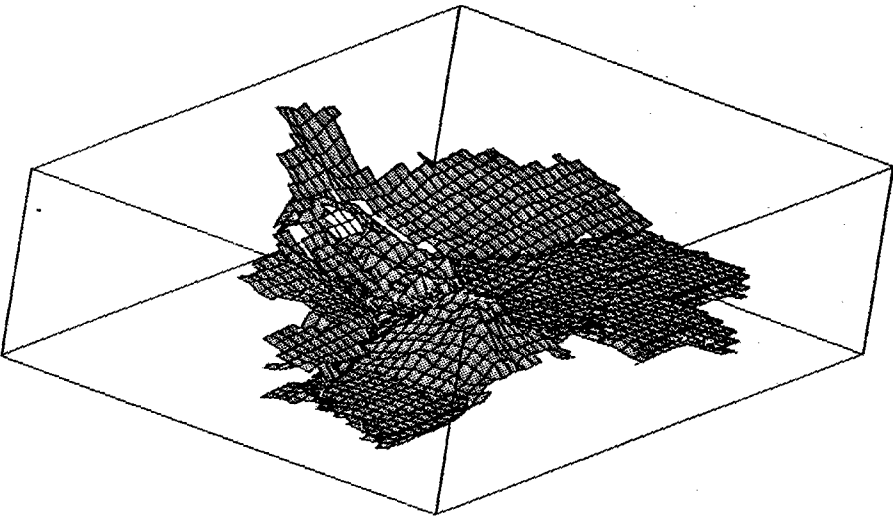
LEVE 'COSTA RICA I'

G



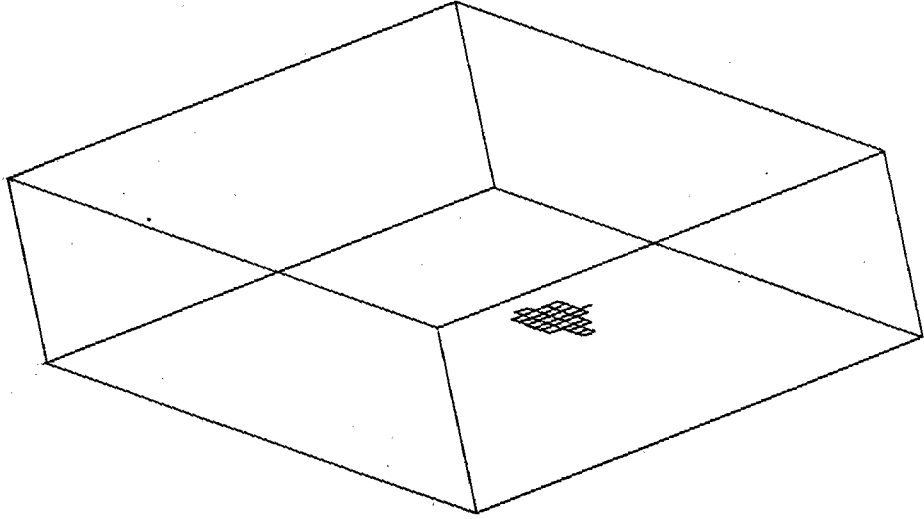
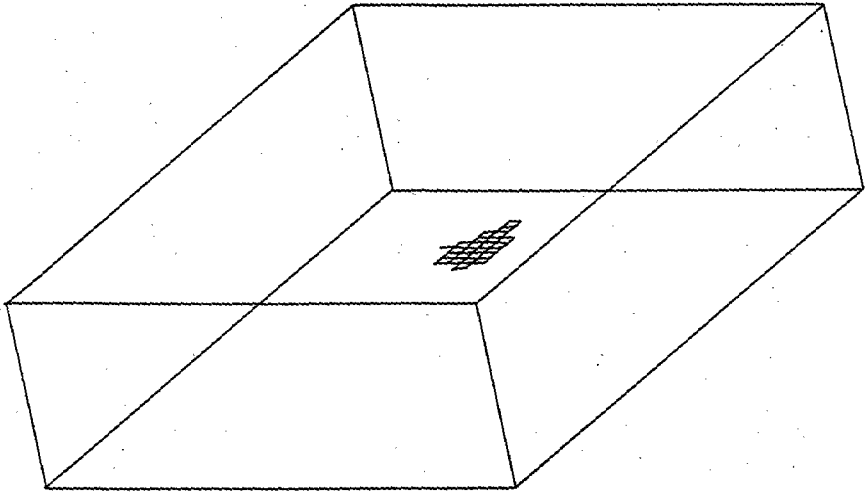
LEVE ' COSTA RICA I'

3-48

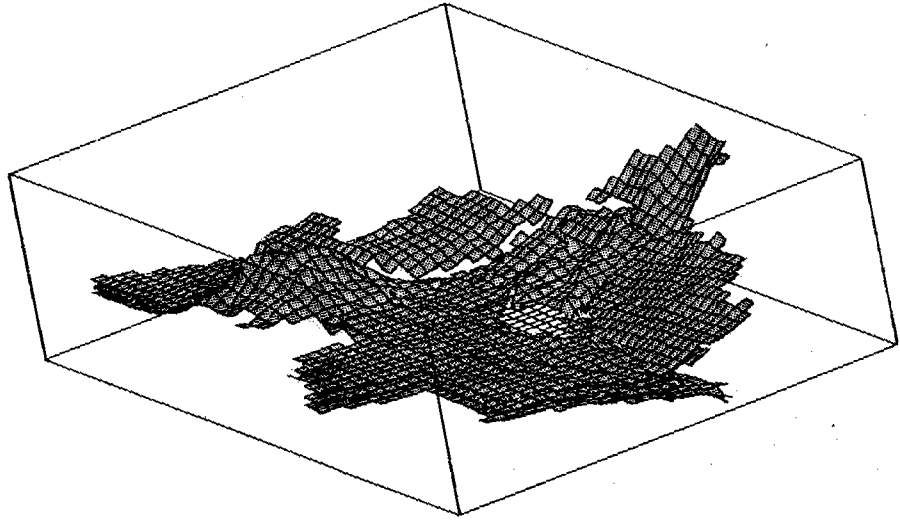
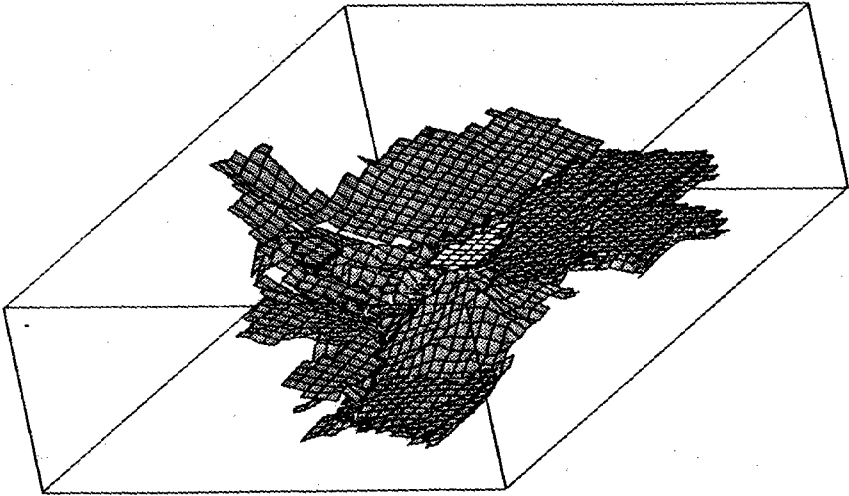




H



3-49



LEVE 'COSTA RICA I'

3.4.1.4 - la base des 'gas hydrates' ou BSR (fig. 3.23D)

Le 'Bottom Simulating Reflector' a déjà été observé sur les profils de sismique réflexion 33 et 34 (voir 2ème partie de ce chapitre), on rencontre un phénomène analogue, mais moins net sur la bordure orientale du diagramme.

La profondeur moyenne de ce réflecteur est d'environ 400 m sous la surface de la pente continentale.

3.4.1.5 - les sédiments de la pente continentale (fig 3.23E)

Les sédiments couvrent toute la pente continentale à l'exception d'une partie du seamount en cours de subduction. Les slumps ont été considérés comme des niveaux différents.

3.4.1.6 - les slumps (fig. 3.23F et G)

Les slumps proviennent du déséquilibre des sédiments sur la pente continentale lors de son soulèvement par les masses volcaniques, mais au lieu de se disperser, la masse de sédiments garde une certaine unité et glisse sur la pente, s'arrêtant devant tout obstacle ayant une pente suffisamment faible.

Sur la partie occidentale du seamount en cours de subduction on peut observer deux slumps en partie superposés, dont l'un s'est arrêté presque au pied de la pente et l'autre devant une aspérité du seamount en cours de subduction.

3.4.1.7 - le remplissage sédimentaire du fossé (fig. 3.23H)

Une partie du fond du fossé au SE du seamount en cours de subduction est comblée par des sédiments d'aspect turbiditique. Leur extension est très localisée. Les sédiments se détachent vraisemblablement de la pente continentale lorsque l'équilibre est rompu par la poussée du seamount.

3.4.2 - Discussion concernant l'environnement général du levé 'Costa Rica 1'

Le levé 'Costa Rica 1' a été effectué le long d'une petite partie du Fossé d'Amérique Centrale, long de près de 3000 km, à quelques dizaines de kilomètres de la limite nord-occidentale de la ride aismique Cocos. La présence très proche de cette ride doit être prise en compte dans l'interprétation des données bathymétriques : l'effet de sa flottabilité s'étend à une distance importante de part et d'autre de la ride proprement dite, pouvant provoquer des pentes inverses de celles des observations moyennes qui donnent un âge d'autant plus récent que la croûte océanique est moins profonde (Tréhu, 1975 ; Parsons & Sclater, 1977).

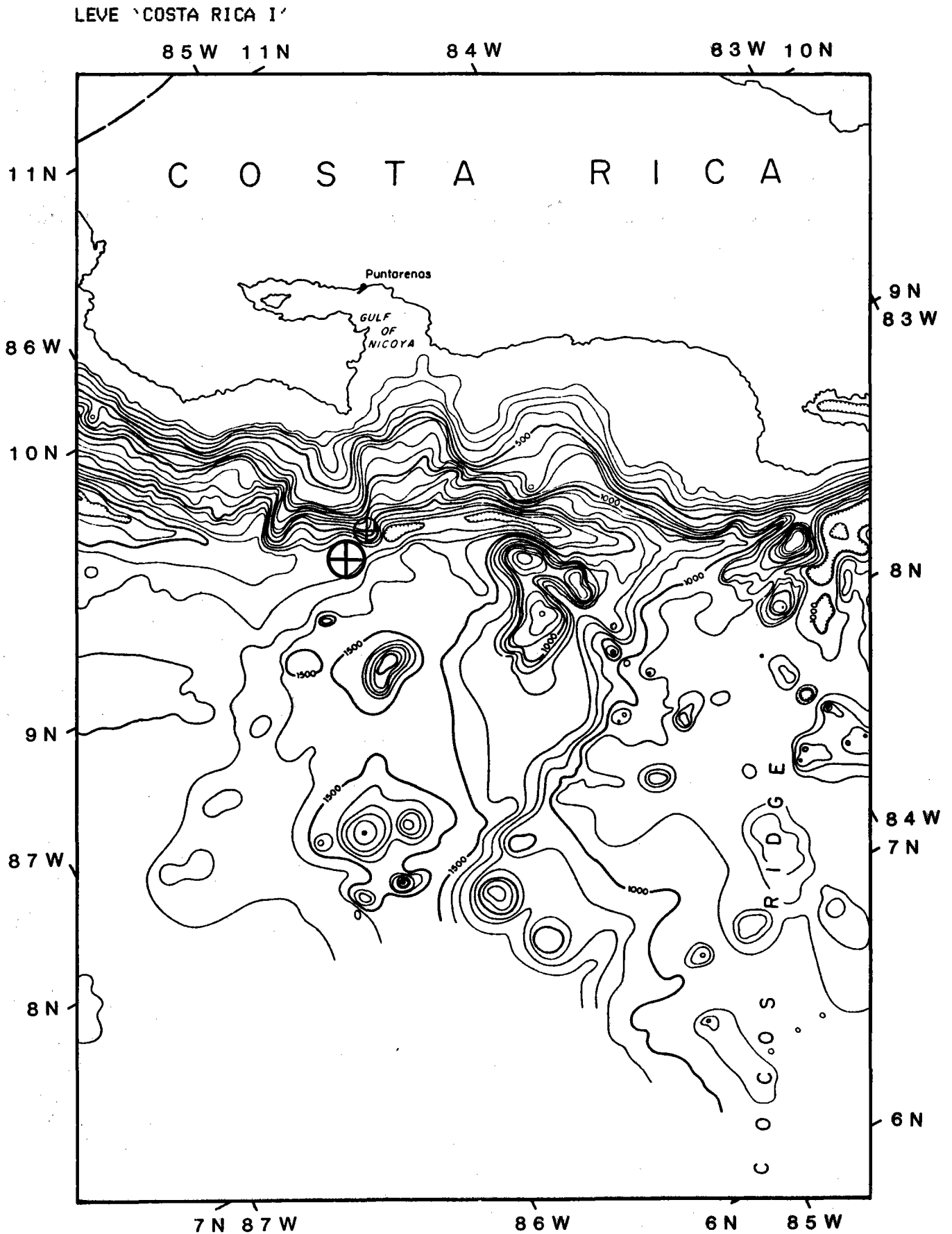
Les seamounts visibles sur le levé sont situés près de la ligne de séparation des blocs océaniques d'origine différente. Ces seamounts appartiennent en fait à une chaîne de seamounts dont deux autres éléments situés plus au SW ont été cartographiés par R.L. Fisher (1961) à 8°40'N-

85°35'W et 8°N-85°50'W (fig. 3.20). La ligne qu'ils forment a une direction N20-25°W. La présence de cette ligne de seamounts subductant le long du Fossé d'Amérique Centrale appelle quelques remarques sur la subduction des seamounts en général : le cas généralement étudié ne concerne que les seamounts isolés (Tomoda & Fujimoto, 1983), le problème est différent lorsqu'il s'agit d'une ligne de seamounts : le premier, s'il passe, préparant la voie au suivant même s'il ne subducte pas exactement au même endroit. La nature de la pente continentale (épais prisme d'accrétion ou blocs de roches consolidées), sa pente, celle de la plaque océanique arrivant à l'axe du fossé et celle des flancs du volcan sont aussi des facteurs importants dans la 'subductabilité' des seamounts.

La différence de direction des structures de la plaque océanique de chaque côté du seamount R.L. Fisher est aussi un élément important de ce levé.

Le grain bathymétrique E-W, visible au SE des seamounts sur le levé étudié est identique au grain magnétique cartographié par Hey, Johnson et Lowrie (fig. 3.21), qui a pour origine l'accrétion le long de la limite de plaques Cocos-Nazca. On peut donc déduire que les linéations E-W observées sur le levé 'Costa Rica I' ont pour origine une structuration E-W de la plaque, celle-ci réapparaissant lors de la réactivation tectonique de la plaque à l'approche du fossé de subduction. L'âge de cette partie de croûte océanique est difficile à déterminer : d'après la carte publiée par Hey, Johnson & Lowrie (1977) (fig. 3.21) elle aurait été formée il y a 20 à 25 M.Y., mais le contrôle de cette datation peut être considéré comme faible car la limite de la croûte formée par le système Cocos-Nazca est décalée de 200 km environ vers le NE par rapport à la position notée au fond du Fossé d'Amérique Centrale, de plus la ligne 25 M.Y. a une direction très différente des autres linéations magnétiques cartographiées. La carte établie par Lonsdale et Klitgord (1978) ne nous est pas plus utile, car les anomalies datées s'arrêtent au Sud de la Ride Cocos (fig. 3.22).

Au NW des seamounts du levé 'Costa Rica I' la croûte océanique montre une structuration NW-SE surtout visible à partir du levé 'Costa Rica II' (Renard, Aubouin, et al., 1980 ; Roump, Renard, et al., 1981 ; Aubouin, Stéphan et al., 1981, 1982 A & B ; Shipley & Moore, 1984 ; voir aussi chapitre 4). La constance de cette direction le long du Fossé d'Amérique Centrale et son orthogonalité par rapport à la grande zone de fracture de Tehuantepec conduit à penser que l'origine première de ces failles est à rechercher à l'accrétion de croûte océanique. Les références à des anomalies magnétiques de cette direction sur la plaque Cocos sont rares (essentiellement Herron (1972) qui a remarqué qu'il existait sur la plaque Cocos des linéations magnétiques orientées NW-SE obliques à la fois au système N-S de l'East Pacific Rise et au système E-W de la ride Cocos-Nazca (fig. 3.23)). L'âge de la plaque océanique au NW des seamounts du levé 'Costa Rica I' ne peut être déterminé d'après la carte de Herron (fig. 3.23) car ses déterminations sont trop éloignées du levé étudié. Par contre un point situé au large du Guatemala a été daté à environ 22 MY (données du Leg 67 du Glomar Challenger : Von Huene, Aubouin et al., 1980). Il est possible d'utiliser ce point pour approcher l'âge de la croûte océanique de la partie NW du levé 'Costa Rica I' car le profil du Fossé d'Amérique Centrale ne montre pas de zone de fracture majeure, avec augmentation de l'âge vers le SE, entre ces deux points : à partir du site 495 du Leg 67 on trace une droite de direction N135°E (direction moyenne des structures océaniques rencontrées le long du fossé (voir chapitre 4)), la longueur de la normale du levé 'Costa Rica I' à cette droite est de 160



**Figure 3.20** : Extrait de la carte bathymétrique établie par R.L. Fisher (1961), montrant la ligne de seamounts entrant dans le Fossé d'Amérique Centrale. Les seamounts R.L. Fisher et le seamount en cours de subduction du levé 'Costa Rica I' sont figurés par des croix cerclées. Profondeurs en brasses.

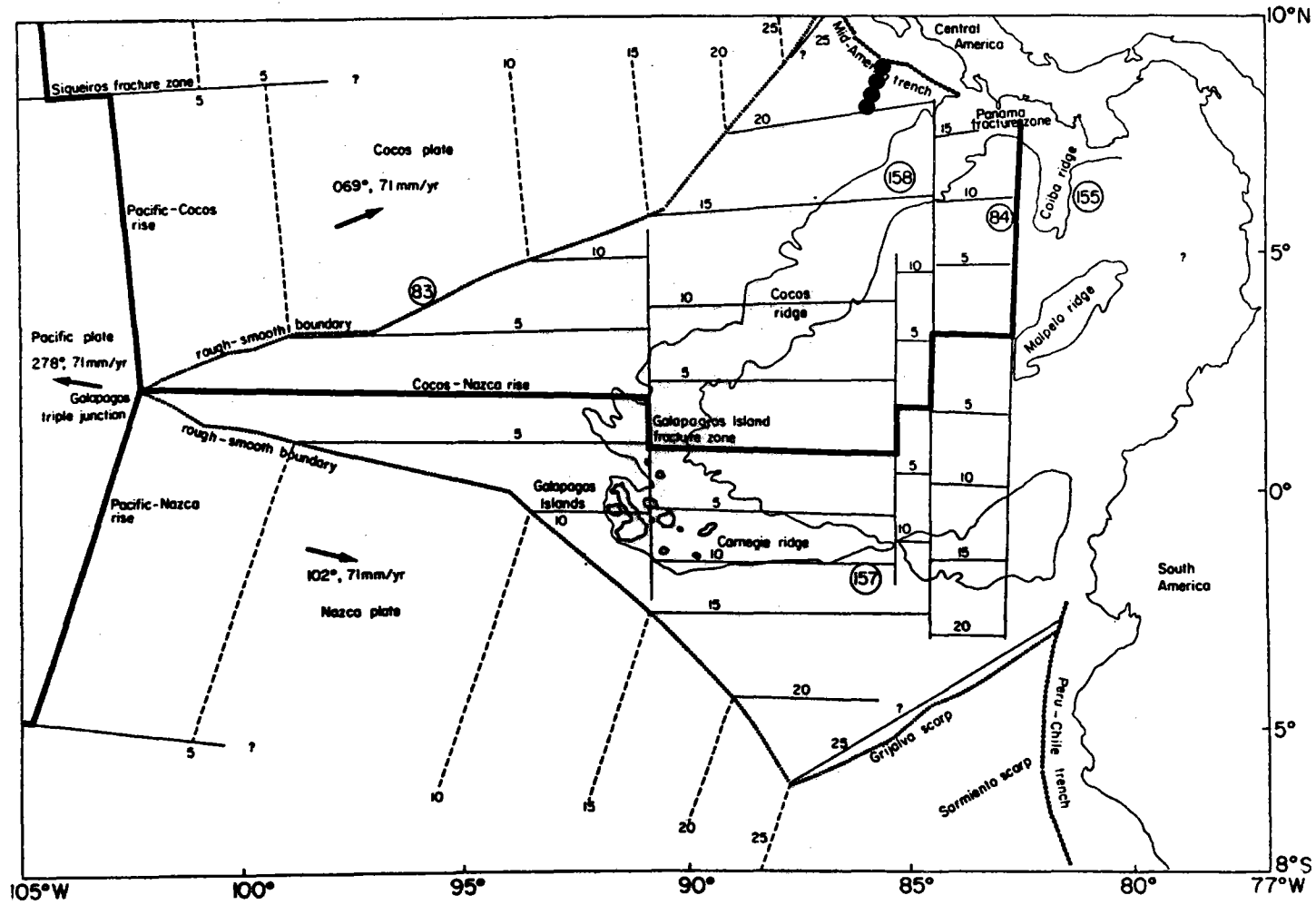
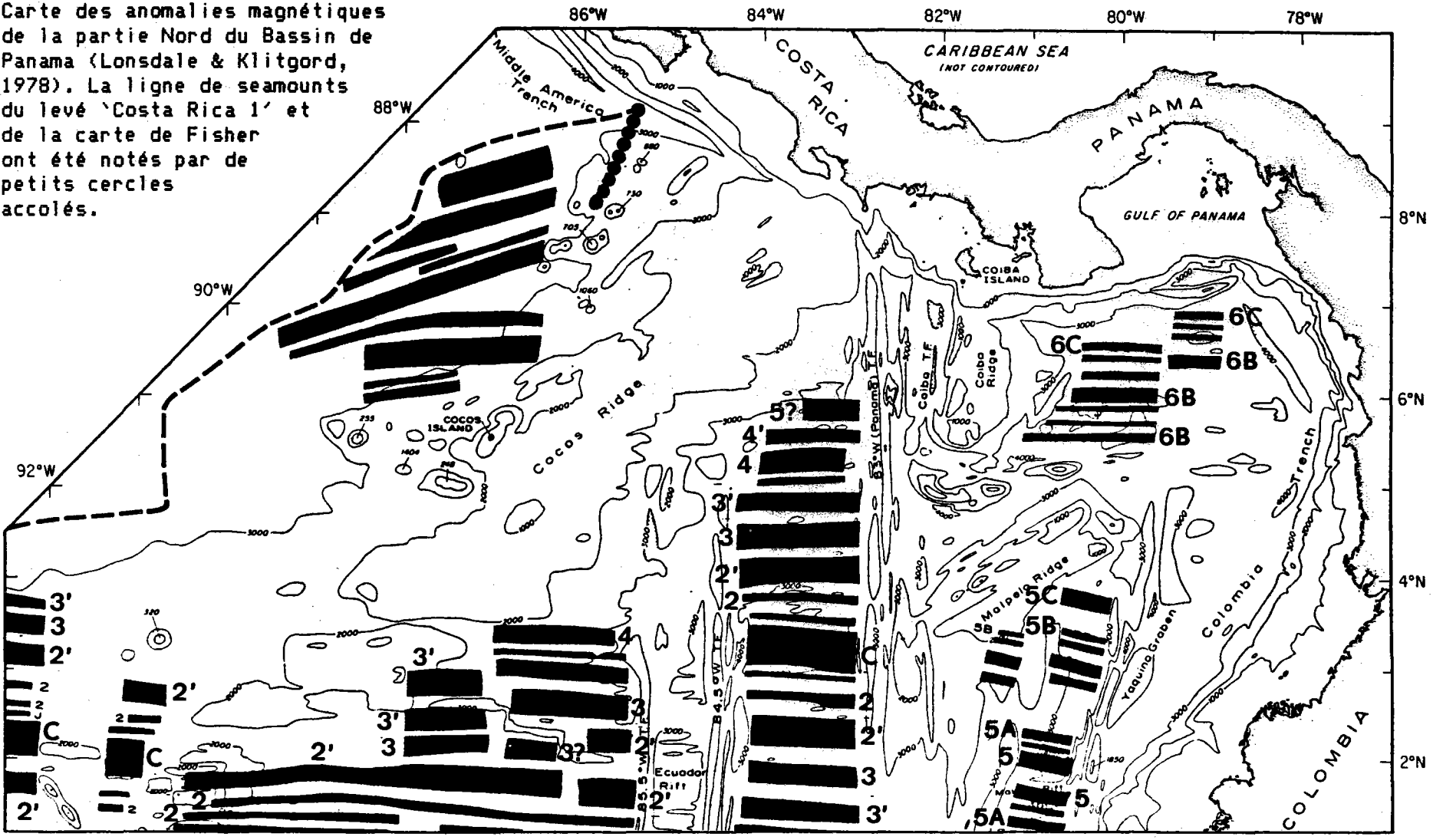
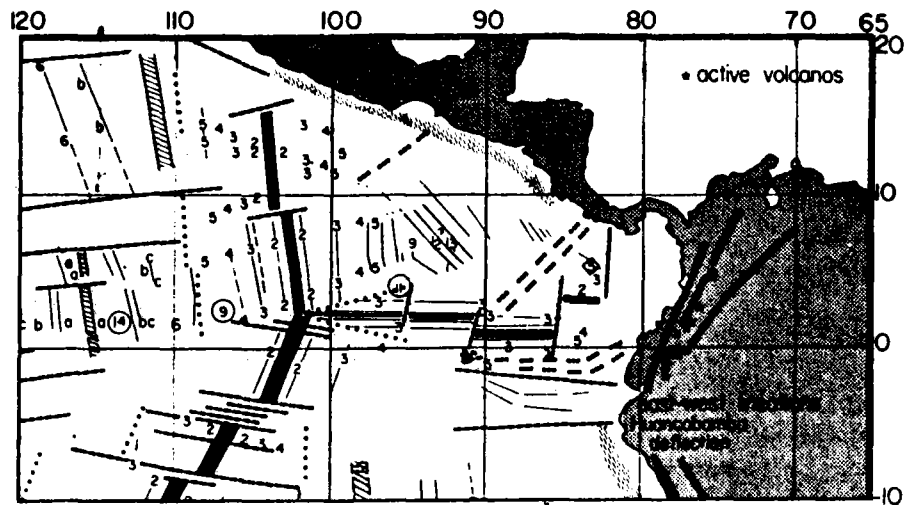


Figure 3.21 : Carte schématique des isochrones de la croûte océanique créée par la Ride Cocos-Nazca de Hey, Johnson et Lowrie (1977). La ligne de seamounts du levé 'Costa Rica 1' et de la carte de Fisher ont été notés par des petits cercles accolés.

Figure 3.22 :  
Carte des anomalies magnétiques  
de la partie Nord du Bassin de  
Panama (Lonsdale & Klitgord,  
1978). La ligne de seamounts  
du levé 'Costa Rica 1' et  
de la carte de Fisher  
ont été notés par de  
petits cercles accolés.



Km, si la croûte océanique a été formée à une vitesse de 3 cm/an en ces deux points (ce qui est une estimation peut-être faible), cela donne une différence d'âge de l'ordre de 5 MY. L'âge de la plaque océanique de la partie NW du levé 'Costa Rica I' peut donc être estimé à  $22 \pm 5$  MY environ ; le calcul de l'âge de la croûte océanique située dans la partie SE du levé à partir de cette donnée et de la différence de 2.5 MY environ donne une valeur compatible avec l'intervalle 20-25 MY donné par la carte de Hey, Johnson et Lowrie (fig. 3.21).



**Figure 3.23** : Extrait de la carte des anomalies magnétiques du Pacifique Centre-Oriental, établie par E. Herron en 1972. Les numéros associés aux linéations sont les noms des anomalies magnétiques.

Le levé 'Costa Rica I' a montré qu'il existe un changement de direction brutal le long de la ligne de seamounts ce qui conduit à interpréter la ligne de seamounts comme étant située vraisemblablement sur la trace d'un point triple. Pourtant la différence d'âge, 2.5 MY environ, indique que les relations entre les différentes plaques sont sans doute plus complexes que celles existant entre les plaques Pacifique, Cocos et Nazca (point triple ride-ride-ride), sans qu'il soit possible d'en déduire plus à partir de ces données.

Seule une étude plus étendue de cette région peut permettre de résoudre les problèmes d'âge et même de polarité de la croûte océanique de cette partie de la plaque Cocos. Certains aspects, déjà évoqués dans ce chapitre, sont abordés dans le chapitre suivant, utilisant les données bathymétriques recueillies le long du Fossé d'Amérique Centrale, les cartes régionales et les données de sismicité.

## CHAPITRE 4

### LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

4.1	<u>CONCLUSIONS DE L'ETUDE DE LA TECTONIQUE DES PLAQUES DANS LA REGION DE L'AMERIQUE CENTRALE D'APRES LE MODELE RM2 DE MINSTER ET JORDAN (1978)</u>	4-4
4.1.1	Représentation des données	4-4
4.1.2	Le Fossé d'Amérique Centrale : limite entre les plaques Cocos et Amérique du Nord, et entre les plaques Cocos et Caraïbes	4-5
4.1.3	Limite entre la plaque Amérique du Nord et la plaque Caraïbes à l'Ouest de 75°W	4-6
4.1.4	Résumé des données de la tectonique des plaques dans la région d'Amérique Centrale	4-13
4.2	<u>BATHYMETRIE DU FOND DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE D'APRES LES LEVES SEABEAM</u>	4-13
4.2.1	Description des planches Seabeam le long du Fossé d'Amérique Centrale	4-17
4.2.1.1	planche 1	4-17
4.2.1.2	planche 2	4-22
4.2.1.3	planche 3	4-22
4.2.1.4	planche 4	4-23
4.2.1.5	planche 5	4-24
4.2.1.6	planche 6	4-24
4.2.1.7	planche 7	4-25
4.2.1.8	planche 8	4-25
4.2.1.9	planche 9	4-26
4.2.1.10	planche 10	4-26
4.2.1.11	planche 11	4-26
4.2.1.12	planche 12	4-26
4.2.1.13	planche 13	4-27
4.2.1.14	planche 14	4-27



## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

4.2.1.15	planche 15	4-28
4.2.1.16	planche 16	4-28
4.2.2	Résumé des observations faites le long du Fossé d'Amérique Centrale jusqu'au Sud de Panama	4-28
4.2.2.1	le profil en long du Fossé d'Amérique Centrale	4-28
4.2.2.2	les directions des structures océaniques le long du Fossé d'Amérique Centrale	4-29
4.2.3	Discussion sur les observations faites à partir des données Seabeam le long du Fossé d'Amérique Centrale	4-31
4.3	<u>ETUDE DE LA FORME EN PLAN DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE</u>	4-37
4.3.1	Méthode d'étude	4-40
4.3.2	Ajustement des cercles aux données observées	4-40
4.3.3	Relation profondeur moyenne des groupes de données - rayon des cercles	4-47
4.3.4	Discussion	4-51
4.3.4.1	la Zone de Fracture de Rivera	4-51
4.3.4.2	les fossés de subduction	4-52
4.4	<u>ETUDE GENERALE DE LA SEISMICITE DANS LA REGION D'AMERIQUE CENTRALE</u>	4-53
4.4.1	Carte de la magnitude maximale de la région Amérique Centrale	4-54
4.4.2	La troisième dimension du plan de subduction de la plaque Cocos sous l'Amérique Centrale : les coupes et les blocs-diagrammes	4-56
4.4.2.1	les sections	4-56
4.4.2.2	les blocs-diagrammes	4-70
4.5	<u>DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS</u>	4-71
4.5.1	La Ride Cocos	4-71
4.5.2	L'ensellement de la partie supérieure du plan de subduction entre 88 et 91°W	4-72
4.5.3	La Zone de Fracture de Tehuantepec dans le plan de subduction	4-72
4.5.4	Association entre la forme arquée du tracé en plan de l'axe du fossé et la forme en cuillère du plan de subduction. La profondeur du plan de subduction en fonction de l'âge de la croûte et de la vitesse de subduction	4-74
4.5.5	La position des volcans par rapport au plan de subduction	4-76
4.5.6	Le problème de la zone 3 du plan de subduction	4-77
4.5.7	Conclusions générales : conséquences de la dynamique des arcs de cercle, et tectonique des plaques dans la région d'Amérique Centrale	4-79
4.5.7.1	les conséquences de la dynamique des arcs de cercles	4-79
4.5.7.2	la tectonique des plaques dans la région d'Amérique Centrale	4-80

L'ensemble du Fossé d'Amérique Centrale a retenu depuis longtemps l'attention de nombreux scientifiques dans différents domaines des sciences de la Terre : bathymétrie (Fisher, 1961), sismique réflexion (Shor & Fisher, 1961 ; Ross & Shor, 1965), gravité (Couch & Woodcock, 1981) et séismicité (Benioff, 1954 ; Molnar & Sykes, 1969 ; Stoiber & Carr, 1974 ; Carr & Stoiber, 1974 & 1977 ; Carr, 1976 ; Hanus & Vanek, 1977 ; Dean & Drake, 1978 ; McNally & Minster, 1981 ; Burbach et al., 1984).

Depuis l'établissement de la carte du fossé par Fisher en 1961, les sciences de la Terre se sont enrichies des apports de la théorie de la tectonique des plaques. Grâce à elle, la séismologie a progressé en permettant l'intégration de ses données à celles d'autres domaines de la géophysique et de la géologie pour mieux comprendre la 'vie de la Terre'. Depuis 1961 est également apparu un moyen de cartographie des fonds marins très efficace, le Seabeam (Allenou & Renard, 1978 ; Renard & Allenou, 1979) : cet instrument est inestimable pour le dessin et le suivi des structures que l'on trouve au fond des océans, son apport pour la tectonique locale s'est déjà révélé très important (Renard & Needham, 1983).

Les données Seabeam de trois missions du Jean Charcot et du Thomas Washington le long du Fossé d'Amérique Centrale compilées et complétées par de petits transits ont permis de cartographier la plus grande partie du fond du Fossé d'Amérique Centrale. Cette cartographie précise, aussi bien du point de vue de la localisation, grâce au système de positionnement par satellites, que de la profondeur, grâce à la précision du Seabeam, apporte de nouvelles données, pour l'étude du fond du fossé, de la déformation de la plaque océanique avant sa disparition, et des conséquences de la subduction sur l'aspect du mur interne.

Il a paru intéressant de prolonger l'étude linéaire de la subduction le long du Fossé d'Amérique Centrale par la cartographie de la séismicité du plan de subduction sous le Mexique et l'Amérique Centrale. Les observations que l'on peut faire sur une représentation, même générale, de la séismicité dans cette région complètent celles faites à partir des données Seabeam et permettent d'étudier les relations entre la morphologie du fossé celle du plan de subduction. Par ailleurs, une étude de la séismicité de l'Amérique Centrale se doit de ne pas oublier le rôle de système de failles transformantes Polochic-Motagua séparant les plaques Amérique du Nord et Caraïbes. La localisation du volcanisme actif, de part les fortes variations de distance entre cet arc et le fossé en relation partielle avec ces failles transformantes, pose un problème (fig. 4.2).

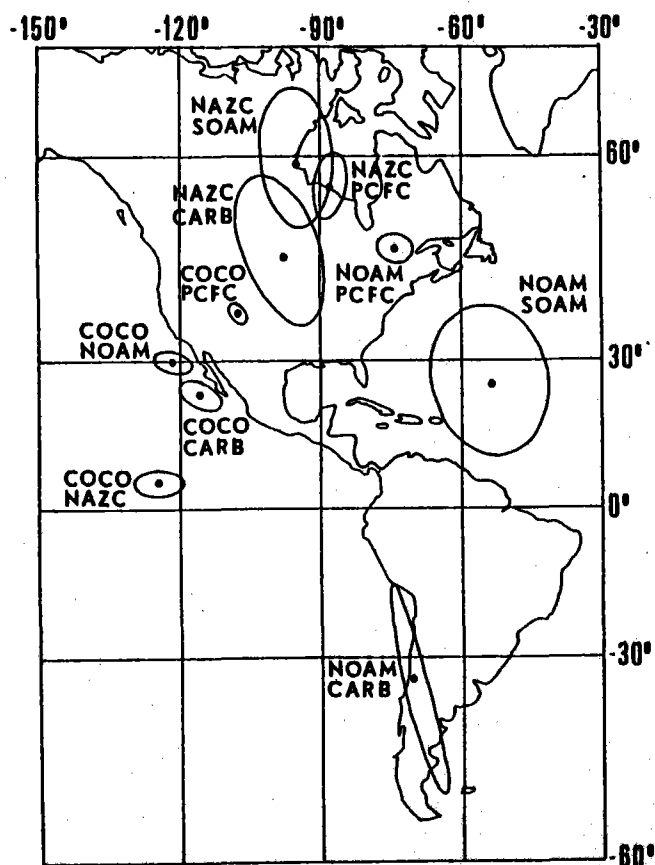
Mais avant une étude plus approfondie de la subduction le long du Fossé d'Amérique Centrale, il est nécessaire d'étudier les conclusions du travail mené par Minster et Jordan en 1978 donnant les pôles de rotations et les vitesses relatives des couples de plaques adjacentes, en calculant les valeurs des mouvements le long des limites de plaques de la Région d'Amérique Centrale, ainsi que les intervalles de confiance de ces valeurs.

**4.1 - CONCLUSIONS DE L'ETUDE DE LA TECTONIQUE DES PLAQUES  
DANS LA REGION DE L'AMERIQUE CENTRALE D'APRES LE MODELE  
RM2 DE MINSTER ET JORDAN (1978)**

La localisation des pôles de rotation des plaques et les valeurs des vitesses relatives sont présentées par Minster et Jordan essentiellement sous la forme d'un grand tableau donnant en outre une estimation de l'erreur de la localisation et de la vitesse angulaire en fonction de la qualité des données ayant servi à construire le modèle.

La carte des positions des pôles de rotation et des ellipses d'erreur (fig. 4.1) donne seulement une image très globale des relations entre les plaques dans la région de l'Amérique Centrale.

**Figure 4.1 :**  
Carte des pôles de rotation des couples de plaques de la région Amérique Centrale au sens large, d'après Minster et Jordan (1978).  
PCFC = Pacifique  
COCO = Cocos  
NAZC = Nazca  
CARB = Caraïbes  
SOAM = Amérique du Sud  
NOAM = Amérique du Nord



Les limites de plaques ont été déterminées en partie par l'activité sismique importante qui s'y produit (Isacks, Oliver & Isacks, 1968), mais ces limites sont en fait des surfaces. Lorsque ces surfaces sont verticales, cas des zones de fracture et des zones d'ouverture, la projection de ce plan à la surface de la Terre donne une ligne, mais pour les surfaces inclinées, principalement celles liées à la subduction, la limite que l'on utilise est l'intersection de ce plan avec la surface de la Terre.

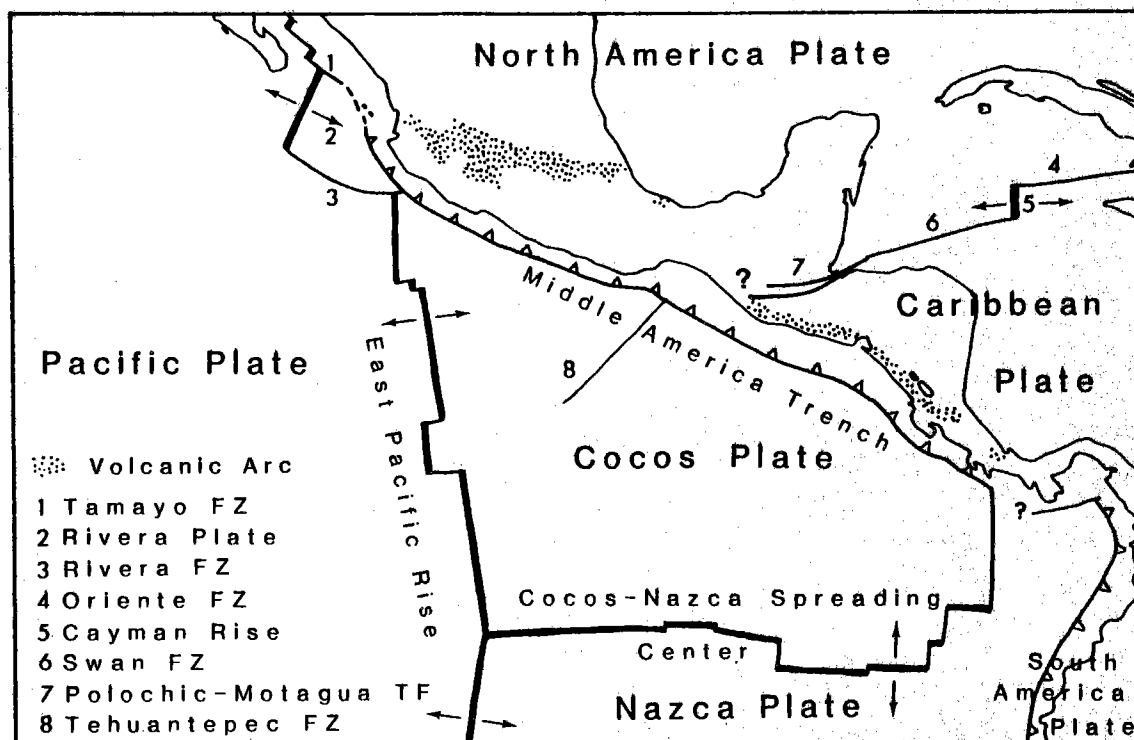
**4.1.1 - Représentation des données**

Les seules positions des pôles de rotation et les vitesses de rotation en

degrés par million d'années étant insuffisantes pour visualiser aisément les mouvements relatifs des plaques, il a été nécessaire d'écrire un programme calculant la direction et la vitesse relatives pour n'importe quel point à la limite de deux plaques à la surface de la Terre. Les erreurs sur la détermination de la position des pôles et des vitesses ayant été calculées par Minster & Jordan, les calculs de directions et de vitesses limites ont été introduits dans le programme PLATES pour deux intervalles d'erreur : 70 et 95% (voir Annexe A2). Deux autres programmes ont été utilisés pour donner une représentation graphique des résultats : diagramme X-Y en fonction de la distance le long de la limite de plaques (programme LINEDRAW.BAS, Annexe A8), et carte sur lesquelles sont dessinés des vecteurs dont la direction est celle du mouvement des plaques et dont la longueur est proportionnelle à la vitesse de ce déplacement (programme MERVECTR.BAS, Annexe A9).

#### 4.1.2 - Le Fossé d'Amérique Centrale : limite entre les plaques Cocos et Amérique du Nord, et entre les plaques Cocos et Caraïbes

L'image habituelle de la tectonique globale dans la région Amérique Centrale (fig. 4.2) montre une plaque océanique Cocos limitée à l'Ouest par la Dorsale Est-Pacifique, au Sud par la ride Cocos-Nazca et au Nord-Est par le Fossé d'Amérique Centrale. Cette plaque océanique subducte sous un continent formé par deux plaques, l'Amérique du Nord et les Caraïbes



**Figure 4.2 :** Carte schématique des limites de plaques dans la région d'Amérique Centrale. Trait épais : axe d'accrétion ; trait fin : zone de fracture ; triangles montrent direction de subduction le long des fossés

## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

dont la frontière se situe à terre le long du système de failles transformantes Polochic-Motagua. Le problème principal de cette image réside dans la localisation du point triple système transformant - Fossé d'Amérique Centrale : les failles transformantes actives, observées à terre, n'ont pues être suivies jusqu'à la côte du Pacifique.

Pour les calculs du mouvement des plaques le long du fossé, la position du point triple a été placée à l'intersection la Zone de Fracture Tehuantepec et du fossé. Ce point est également dans le prolongement des failles Polochic-Motagua et semble avoir d'ailleurs joué réellement le rôle de point triple dans le passé (Sykes, McCann & Kafka, 1982).

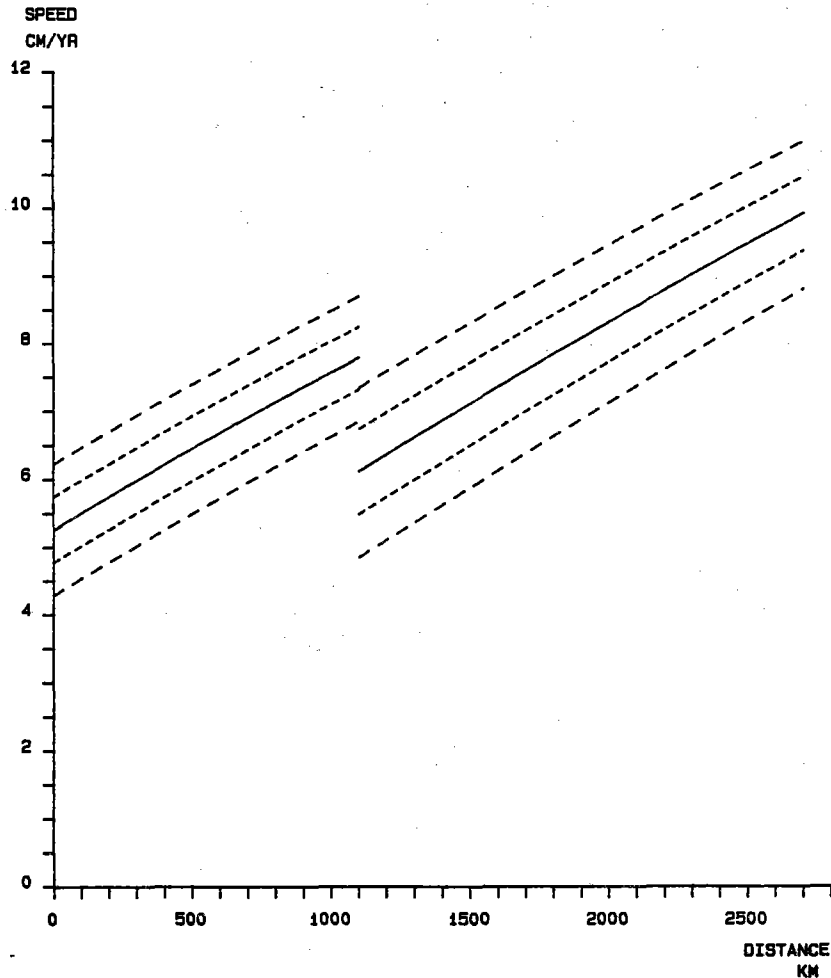
Les données calculées de vitesses (fig. 4.3) montrent qu'au point triple, point de rencontre des plaques Cocos, Amérique du Nord et Caraïbes, les vitesses pour les limites d'erreur 95% ont une zone de recouvrement assez large (fig. 4.3A). Pour chercher la région le long du fossé pouvant être le lieu du point triple, c'est-à-dire pour laquelle les zones d'erreur des vitesses se superposent, les vitesses ont été calculées en considérant que le fossé était la limite entre la plaque Cocos et une seule plaque continentale (d'abord Amérique du Nord, puis Caraïbes). La figure 4.3B montre qu'en fait la superposition des zones d'erreur est continue tout le long du fossé, augmentant progressivement du NW vers le SE. La figure 4.3C, représentant les variations de direction associées aux variations de vitesse pour le couple Cocos-Amérique du Nord, montre par ailleurs que si dans l'intervalle d'erreur on prend une vitesse élevée la direction de convergence associée se déplace vers la direction N-S (le fait est moins marqué pour le couple Cocos-Caraïbes (non représenté)).

Les données calculées de direction de convergence de la plaque Cocos sous les plaques Amérique du Nord et Caraïbes présentent également un recouvrement au 'point triple' mais il est beaucoup plus important que pour les vitesses surtout du NW à la zone de fracture Tehuantepec (fig. 4.4A). Les directions ont également été calculées le long du fossé en considérant une plaque continentale unique, successivement la plaque Amérique du Nord (fig 4.5A) et la plaque Caraïbes (fig. 4.5B). Sur les figures 4.4B et 4.5C on observe que le couple Cocos-Amérique du Nord produit des vitesses toujours plus élevées que le couple Cocos-Caraïbes mais que la différence diminue du NW vers le SE.

### 4.1.3 - Limite entre la plaque Amérique du Nord et la plaque Caraïbes à l'Ouest de 75°W

La limite concernant un mouvement transformant, la vitesse varie peu le long de celle-ci (fig. 4.6A), par contre la direction change beaucoup (fig. 4.6B).

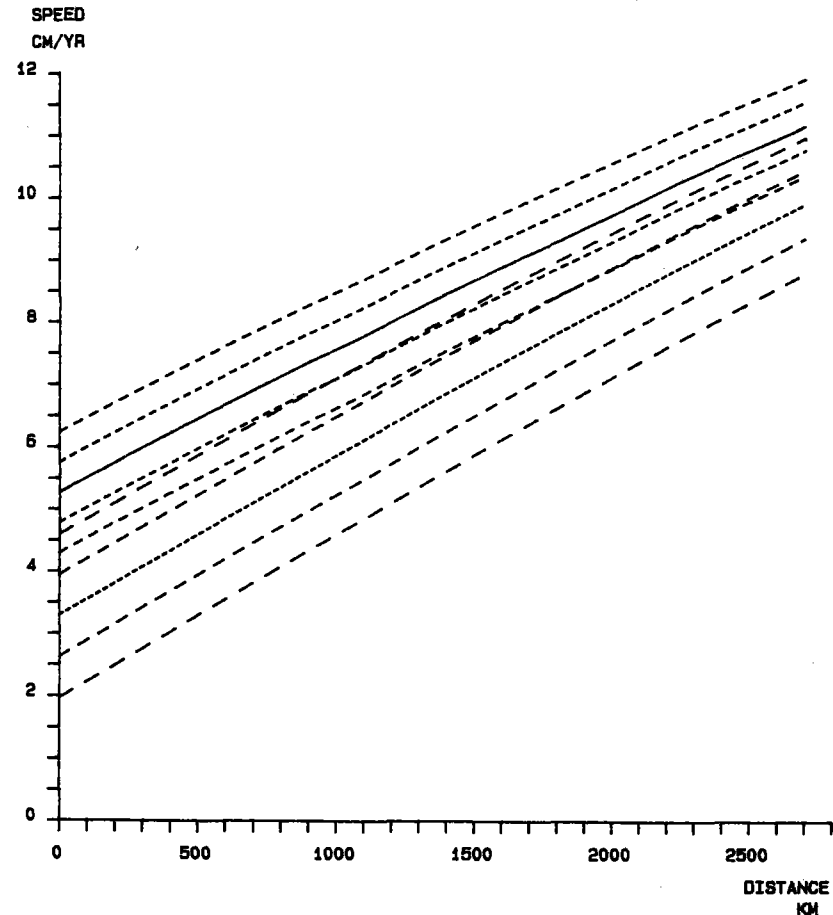
Sur la carte (fig. 4.7), on constate que les points de la Zone de Fracture Oriente (de 75 à 81.5°W) s'alignent relativement bien. Le point entre 81.5 et 82°W est situé sur la Ride Cayman. Le long de la Zone de Fracture Swan (de la Ride Cayman à 88°W) les directions calculées restent parallèles à la direction de la zone de fracture. Mais plus à l'Ouest, à terre, la fracture se subdivise en plusieurs failles dont les deux principales sont Polochic au Nord, et Motagua au Sud. Elles restent parallèles à la direction de la Zone de Fracture Swan jusqu'à 90.5°W, puis obliquent vers l'Ouest où la direction du mouvement du couple de plaques indique que seule une partie de ce mouvement a une composante en transformation.



**Figure 4.3 :**

Diagramme et carte de la variation de vitesse de subduction de la plaque Cocos sous le Mexique et l'Amérique Centrale.

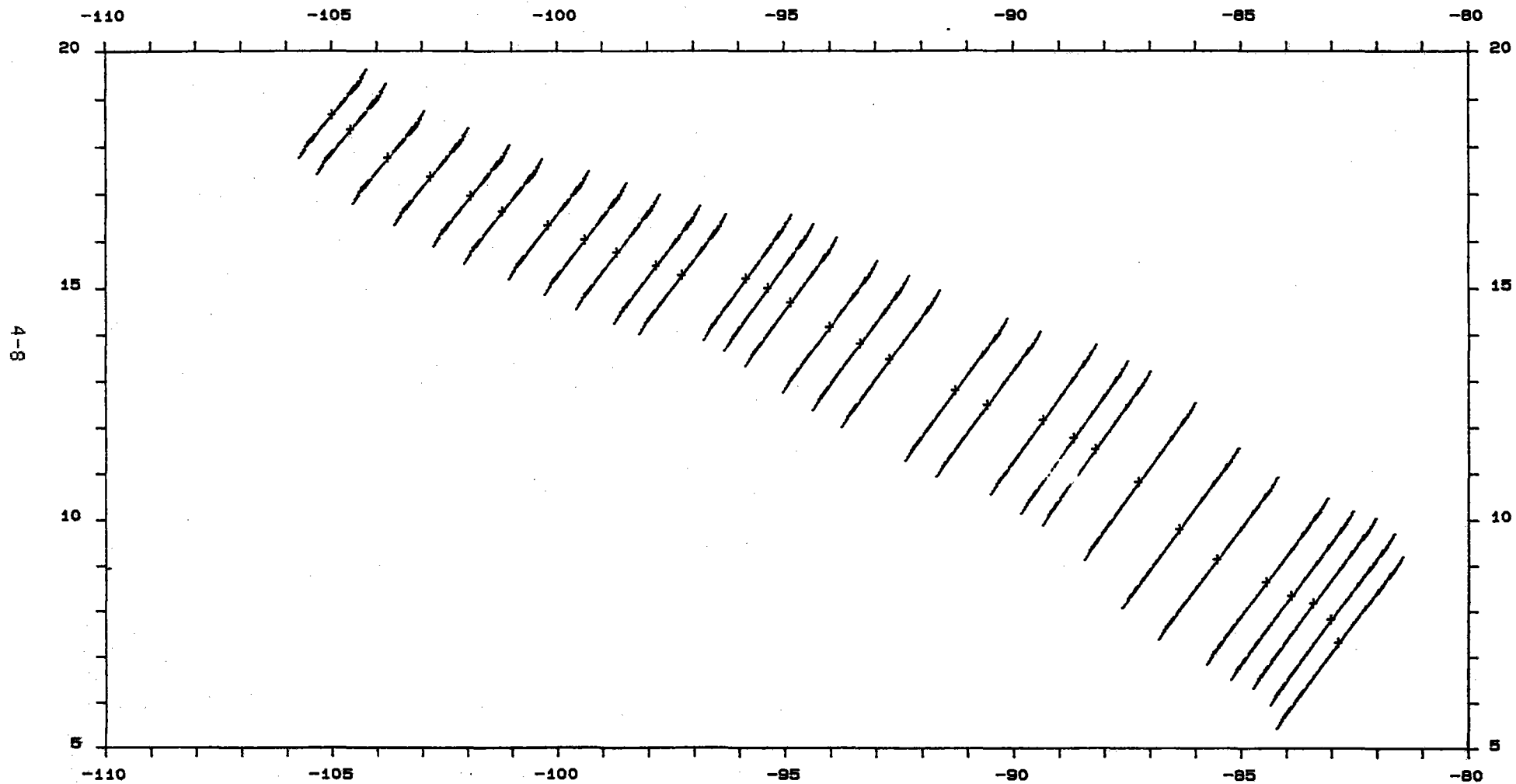
- A. Premier groupe de lignes (limite Cocos-Amérique du Nord) séparé du second groupe (limite Cocos-Caraïbes) par la Zone de Fracture Tehuantepec
- ligne continue : vitesse moyenne
  - petits tirets : intervalle de confiance 70%
  - longs tirets : intervalle de confiance 95%



B. Comparaison des valeurs des deux groupes sur toute la longueur du Fossé.

- Couple de plaques Cocos-Amérique du Nord :
- ligne continue : vitesse moyenne
  - petits tirets : intervalle de confiance 70%
  - tirets moyens : intervalle de confiance 95%
- Couple de plaques Cocos-Caraïbes :
- très petits tirets : vitesse moyenne
  - longs tirets : intervalle de confiance 70%
  - très longs tirets : intervalle de confiance 95%

Figure 4.3C. Carte des variations de direction associées aux variations de vitesses le long du Fossé d'Amérique Centrale : quand on considère une valeur de vitesses plus élevée que la moyenne, la direction a une composante N-S plus marquée



LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

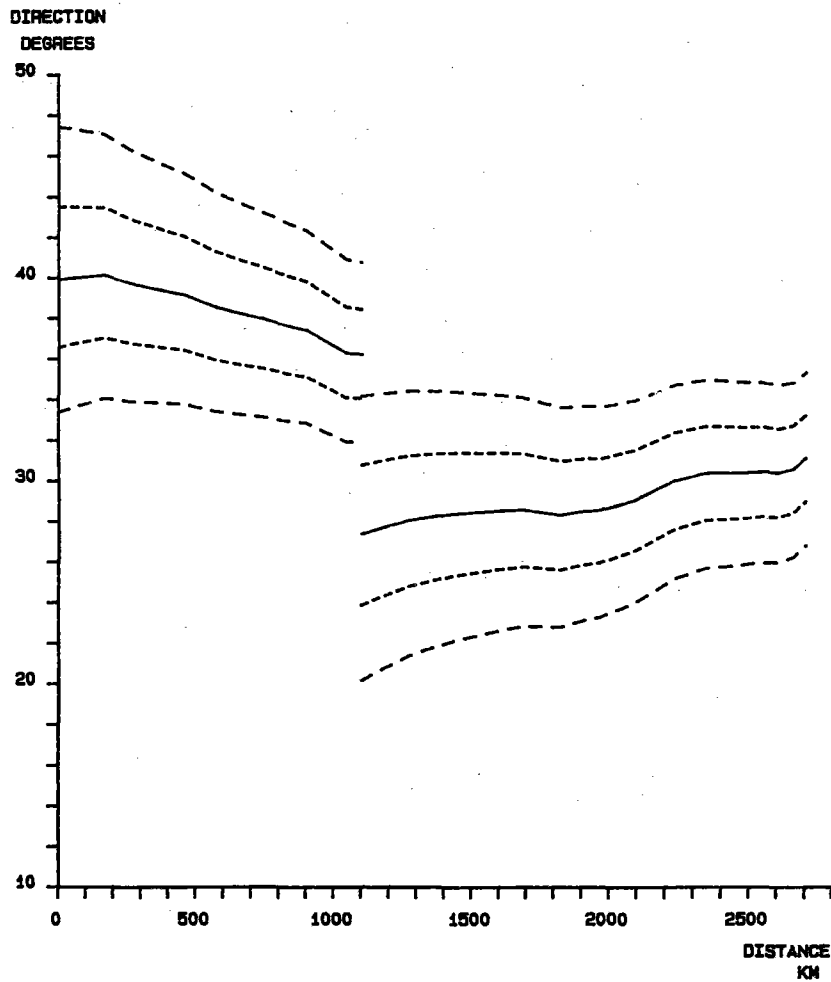
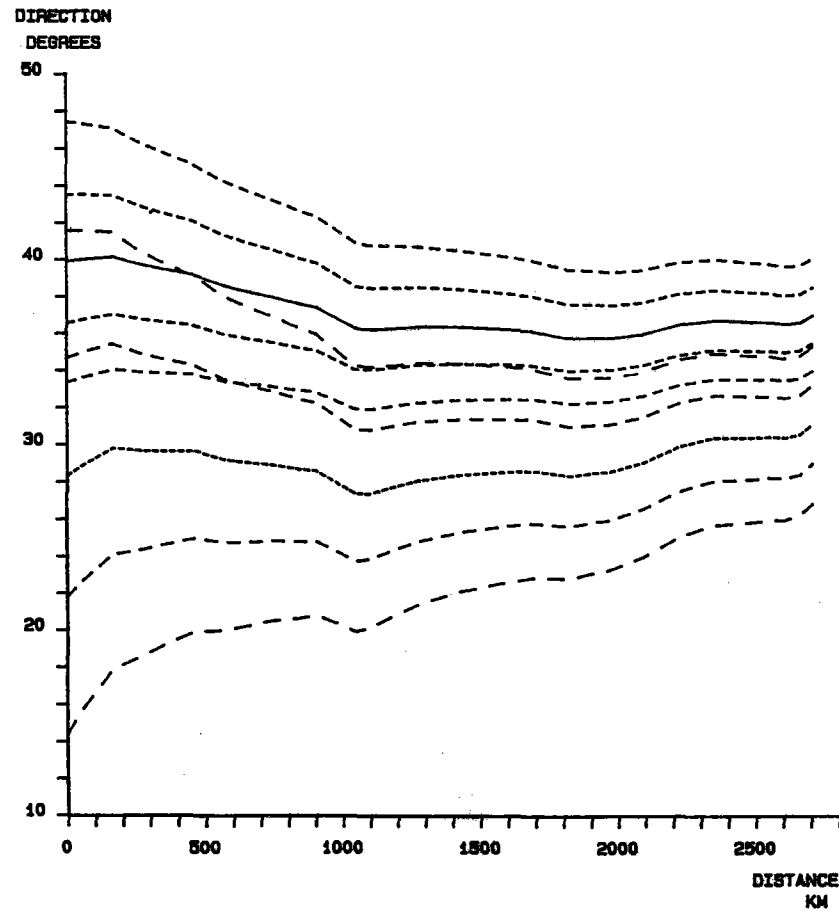


Figure 4.4 :

Diagramme de la variation de direction de subduction de la plaque Cocos sous le Mexique et l'Amérique Centrale.

- A. Premier groupe de lignes (limite Cocos-Amérique du Nord) séparé du second groupe (limite Cocos-Caraïbes) par la Zone de Fracture Tehuantepec
- ligne continue : direction moyenne
  - petits tirets : intervalle de confiance 70%
  - longs tirets : intervalle de confiance 95%



B. Comparaison des valeurs des deux groupes sur toute la longueur du Fossé.

Couple de plaques Cocos-Amérique du Nord :

- ligne continue : direction moyenne
- petits tirets : intervalle de confiance 70%
- tirets moyens : intervalle de confiance 95%

Couple de plaques Cocos-Caraïbes :

- très petits tirets : direction moyenne
- longs tirets : intervalle de confiance 70%
- très longs tirets : intervalle de confiance 95%



**Figure 4.5** : Carte de la variation de direction de la subduction le long du Fossé d'Amérique Centrale en considérant qu'il existe une seule plaque continentale.

A : La limite est entre la plaque Cocos et une plaque Amérique du Nord étendue

ligne continue : direction moyenne

petits tirets : intervalle de confiance 70%

longs tirets : intervalle de confiance 95%

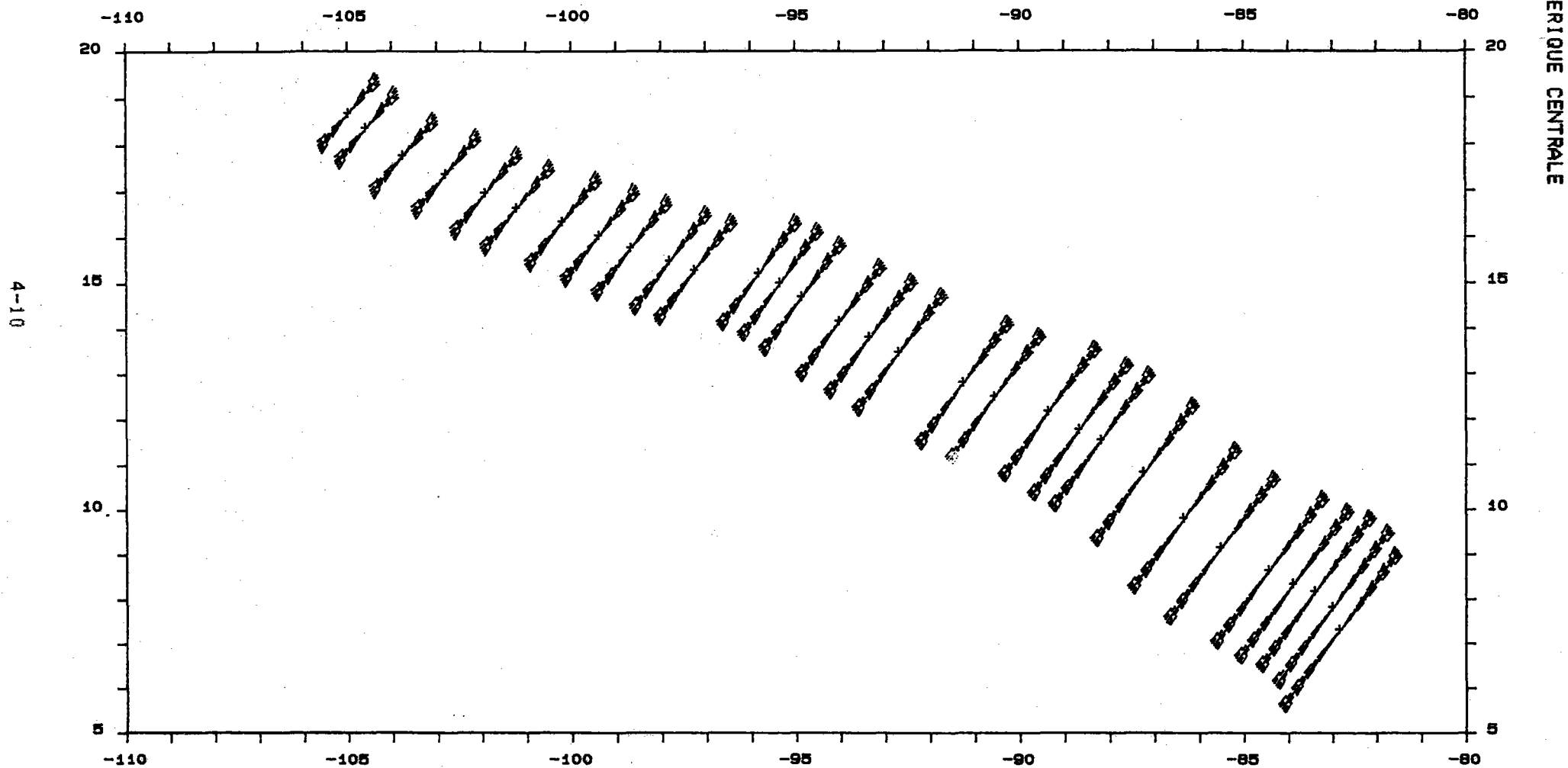


Figure 4.5B : La limite est entre la plaque Cocos et une plaque Caraibes étendue

ligne continue : direction moyenne  
petits tirets : intervalle de confiance 70%  
longs tirets : intervalle de confiance 95%

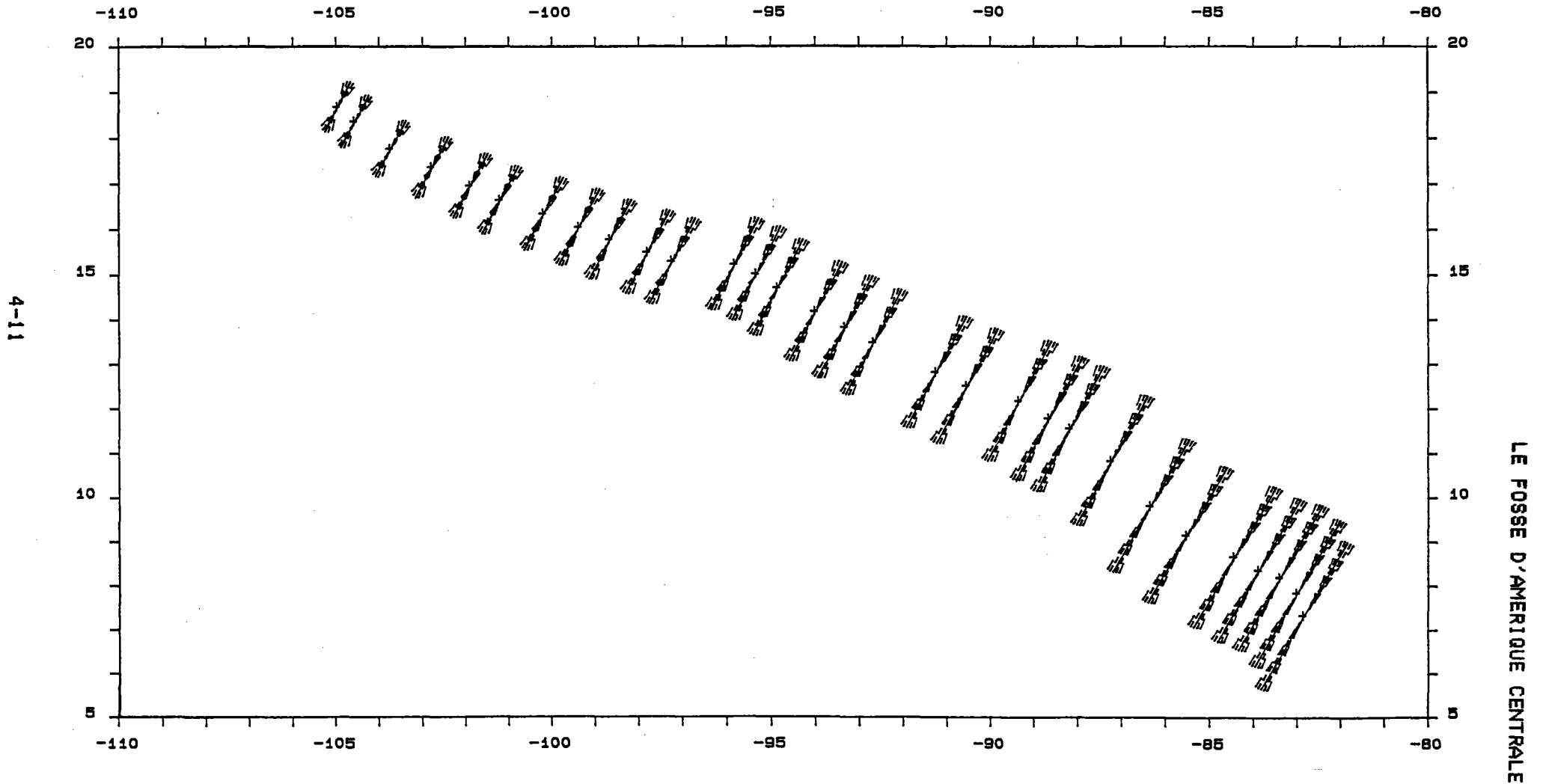
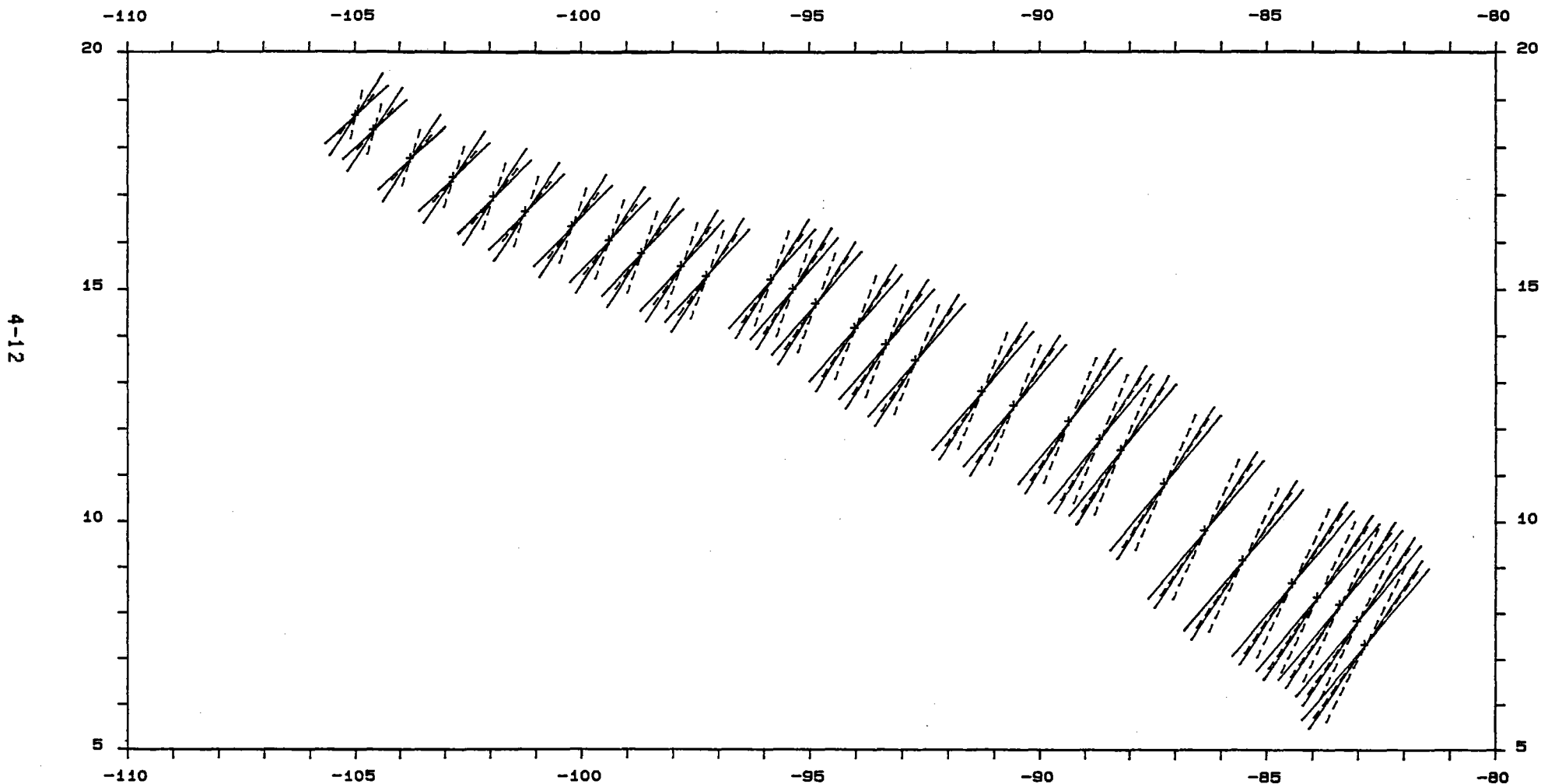


Figure 4.5C : Comparaison des valeurs extremes de direction (intervalle de confiance 95%) pour les deux couples de plaques le long de l'ensemble du Fossé d'Amérique Centrale  
lignes continues : couple Cocos-Amérique du Nord  
lignes interrompues : couple Cocos-Caraïbes



Du simple point de vue de la géométrie de la tectonique des plaques, la partie orientale du système de failles Polochic-Motagua ne peut être considérée comme prolongeant parfaitement la Zone de Fracture Swan : si deux failles (Polochic et Motagua par exemple) sont actives, la vitesse le long de chacune d'elle est la moitié de la vitesse entre les deux plaques, et d'autre part, selon la théorie de la tectonique des plaques et à vitesse angulaire égale, la vitesse le long d'une limite de plaques est d'autant plus faible que le pôle de rotation est proche, ce qui signifie que si les failles Polochic-Motagua constituaient la limite tectonique normale entre les plaques Amérique du Nord et Caraïbes, les failles devraient s'incurver vers le Sud et non vers l'Ouest.

#### 4.1.4 - Résumé des données de la tectonique des plaques dans la région d'Amérique Centrale (fig. 4.8)

Au Nord de la Zone de Fracture Tehuantepec, la plaque Cocos subducte sous l'Amérique du Nord avec une direction moyenne N38°E à une vitesse moyenne variant de 5.3 cm/an au Nord à 7.8 cm/an au Sud. L'erreur maximale (intervalle de confiance de 95%) est de +/- 1 cm/an pour la vitesse et de +/- 6° en moyenne pour la direction.

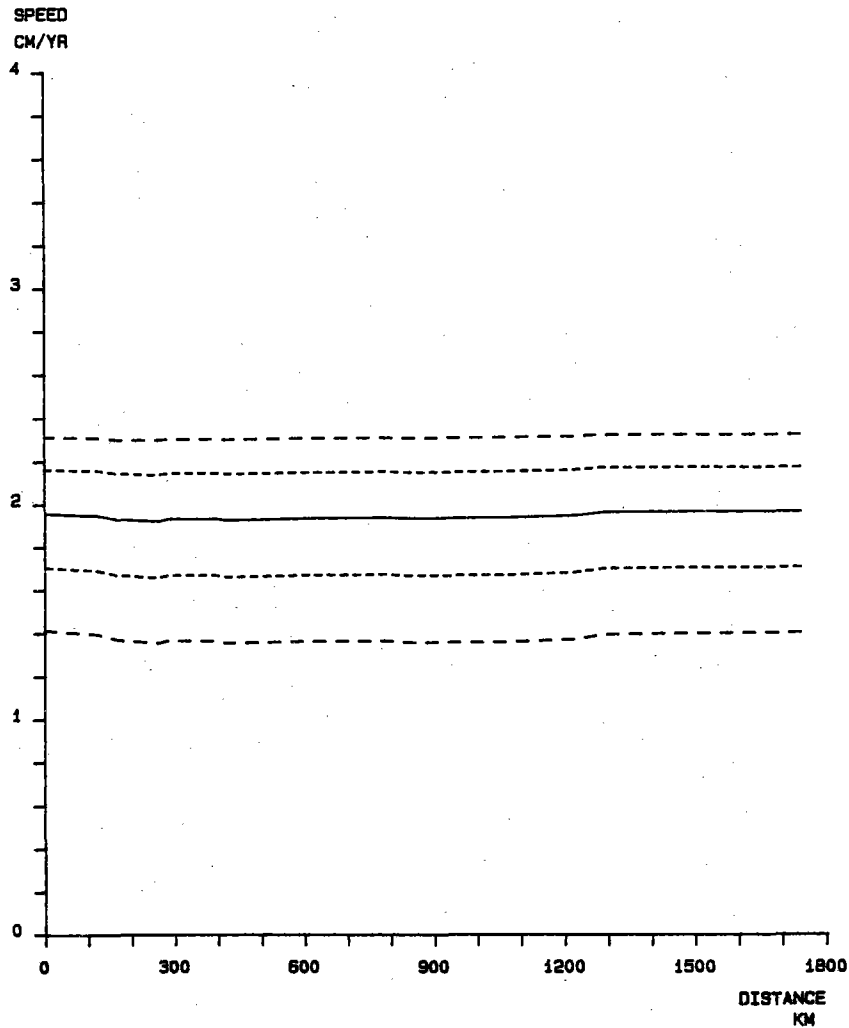
Au Sud de la Zone de Fracture Tehuantepec, la plaque Cocos subducte sous la plaque Caraïbes avec une direction moyenne N28°E à une vitesse moyenne variant de 6.3 cm/an au Nord à 9.9 cm/an au Sud. L'erreur maximale (intervalle de confiance de 95%) est de +/- 1 cm/an pour la vitesse et de +/- 5-6° en moyenne pour la direction.

Le long de la limite entre les plaques Amérique du Nord et Caraïbes, la vitesse est relativement constante et égale à 2 +/- 0.3 à 0.6 cm/an, par contre la direction moyenne varie de N67°E à l'Ouest à N83°E à l'Est et l'erreur est comprise entre 3° et 8° en moyenne. Si de la côte de la Mer des Caraïbes jusqu'à 90.5°W on peut considérer que le système de failles Polochic-Motagua prolonge la Zone de Fracture Swan, plus à l'Ouest son rôle semble très différent.

#### 4.2 - BATHYMETRIE DU FOND DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE D'APRES LES LEVES SEABEAM

Le Fossé d'Amérique Centrale forme un long sillon au pied de la pente continentale pacifique de l'Amérique Centrale et de la moitié Sud du Mexique (fig. 4.9). Il s'étend de la Ride Cocos au Sud-Est, au large de la frontière entre le Costa Rica et le Panama, jusqu'au large des Iles Tres Marias à l'entrée du Golfe de Californie. D'après la tectonique des plaques, le fossé peut déjà être divisé en trois parties (fig. 4.2) :

- de la Zone de Fracture Tamayo à la Zone de Fracture Rivera, où la plaque Rivera subducte sous la plaque Amérique du Nord (Nixon, 1982);
- de la Zone de Fracture Rivera, au large de Manzanillo, à la Zone de Fracture Tehuantepec, où la plaque Cocos subducte sous la plaque Amérique du Nord ;
- de la Zone de Fracture Tehuantepec à la Ride Cocos, où la plaque océanique subducte sous la plaque Caraïbes.



**Figure 4.6 :**

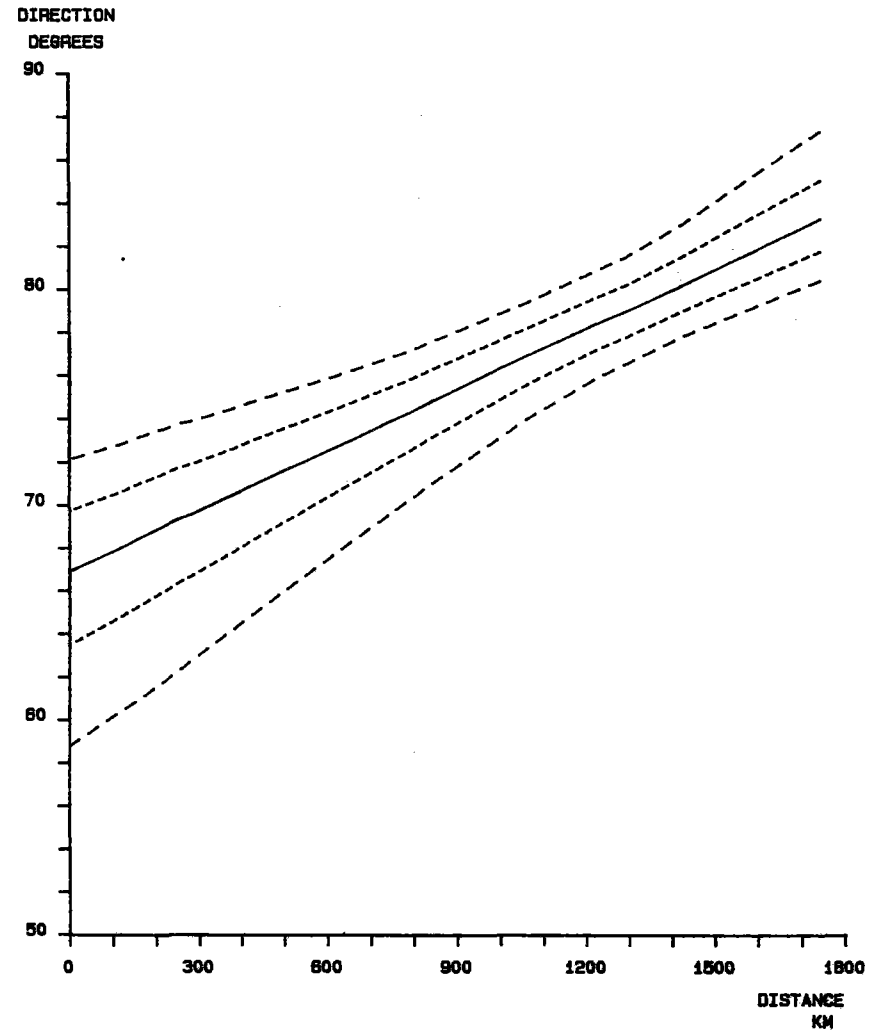
La limite plaque Amérique du Nord-plaque Caraïbes  
des failles Polochi-Motagua 75°W

A: Variation de la vitesse

ligne continue : vitesse moyenne

petits tirets : intervalle de confiance 70%

longs tirets : intervalle de confiance 95%

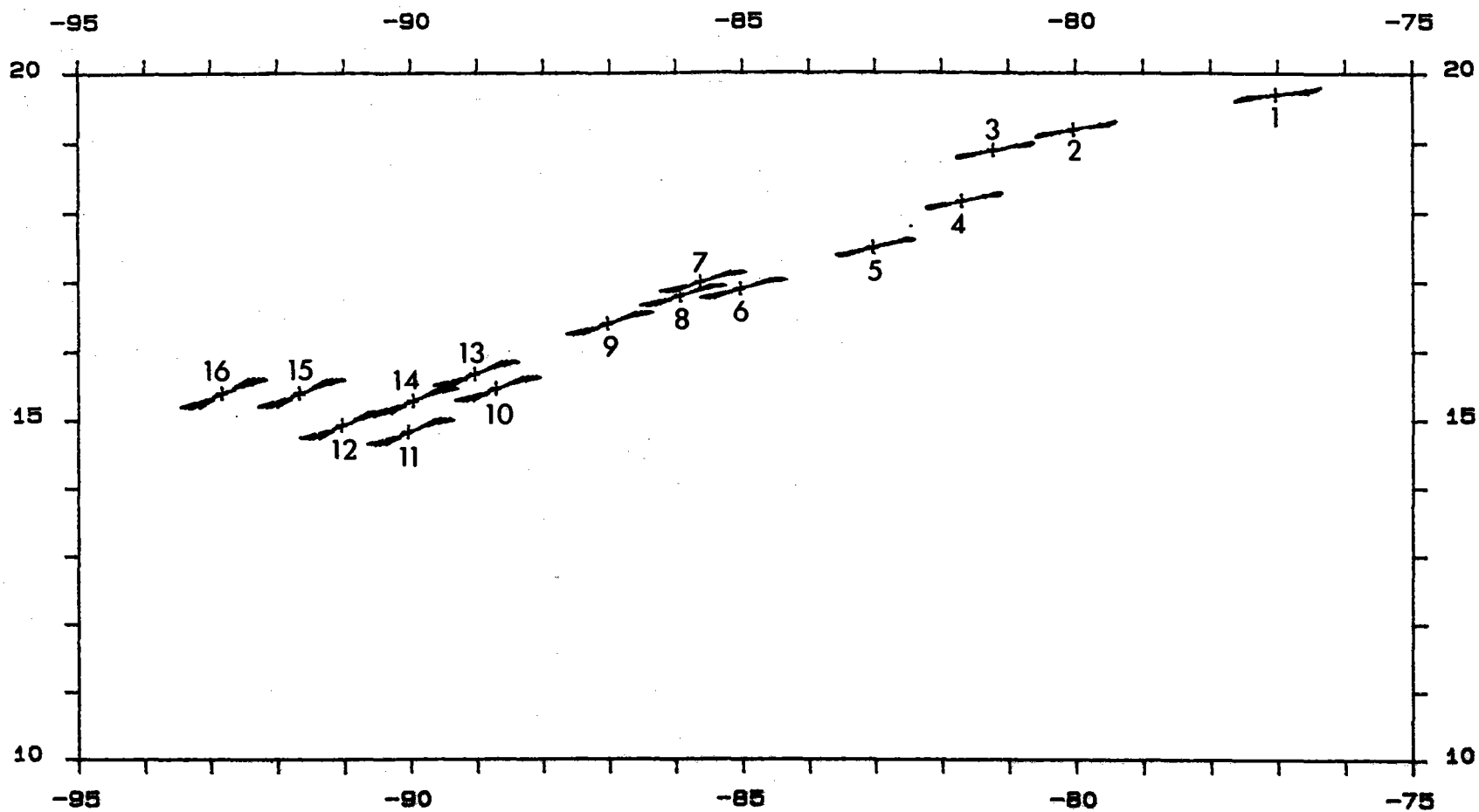


B : variation de la direction

ligne continue : vitesse moyenne

petits tirets : intervalle de confiance 70%

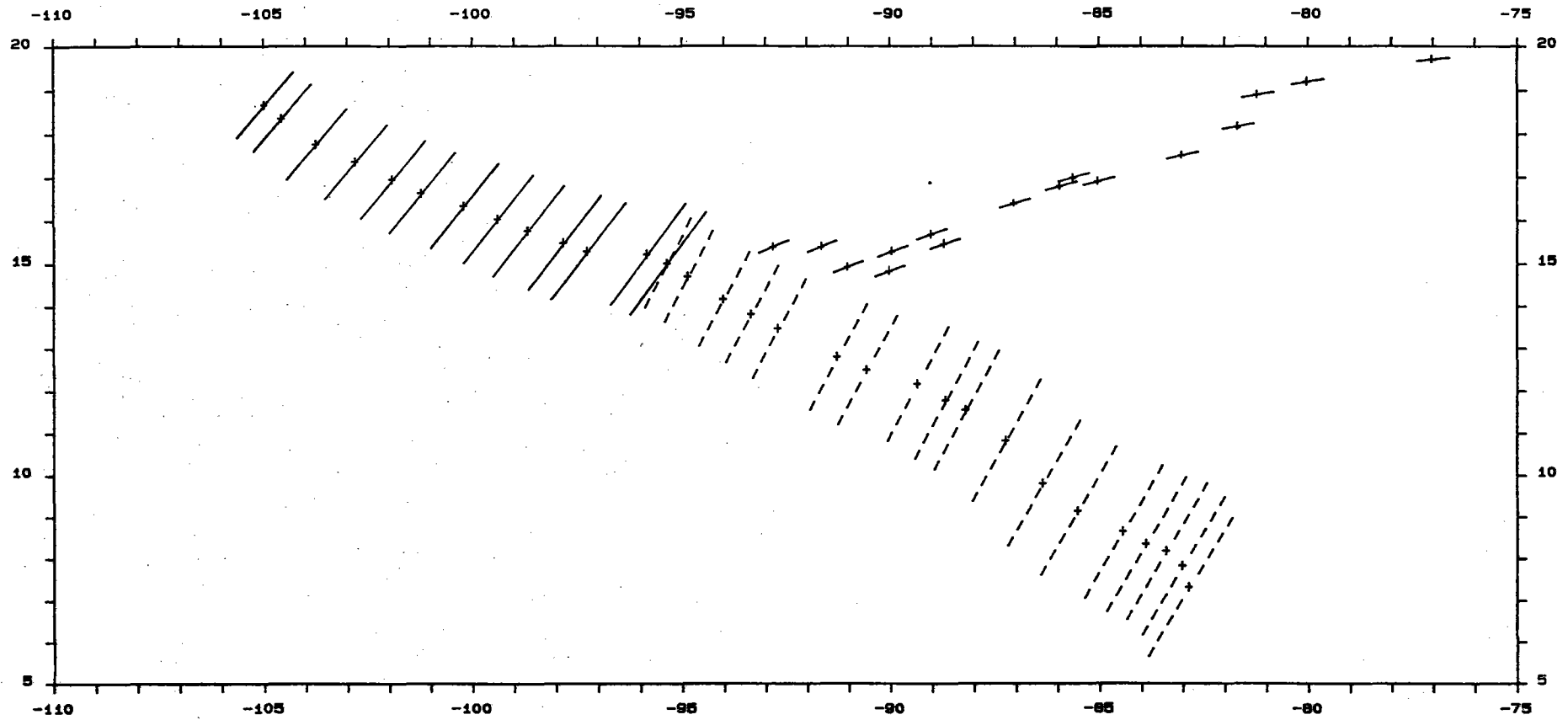
longs tirets : intervalle de confiance 95%



4-15

LE FOSSE D'AMÉRIQUE CENTRALE

**Figure 4.7** : Carte des variations de direction le long de la limite plaque  
 Amérique du Nord-plaque Caraïbes  
 ligne continue : vitesse moyenne  
 petits tirets : intervalle de confiance 70%  
 longs tirets : intervalle de confiance 95%  
 Points 1-3 : Oriente FZ (séismes : Jordan, 1975), 4 : Cayman Rise (carte :  
 MacDonald & Holcombe, 1978), 5-9 : SWAN FZ (séismes : Jordan, 1975), 10-12 :  
 Motagua F. (carte : Plafker, 1976), 13-16 : Polochic F. (carte : Burkart, 1978)



**Figure 4.8 :** Carte des directions moyennes de mouvement du triplet de plaques Cocos, Amérique du Nord et Caraïbe : point de vue traditionnel  
 ligne continue : limite Cocos-Amérique du Nord  
 longs tirets : limite Cocos-Caraïbe  
 petits tirets : limite Amérique du Nord-Caraïbe

## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

La première partie, au Nord de Manzanillo, ne sera pas étudiée ici par manque de nouvelles données bathymétriques. Par contre, les données Seabeam s'étendant jusqu'au large de Panama, il a paru intéressant de compléter l'étude du Fossé d'Amérique Centrale actif avec celle de l'ancienne portion de la très longue fosse où a disparu la plaque Farallon située au Sud de Panama (Menard, 1978).

Trois campagnes du Jean Charcot (TOULAC3 et PANAC) et du Thomas Washington (ARIADNE3) ont eu pour objectif la cartographie du Fossé d'Amérique Centrale (fig. 4.10). D'autres campagnes qui ont également traversé le fossé, ont servi à compléter, principalement sur le mur externe, les informations déjà obtenues (début de SEANOD1 et 2, fin de SEANOD4 et GUAPA, fin et début de CLIPPERTON, petite partie de SEARISE1 du Jean Charcot ; fin d'ARIADNE2 et CERES2, début de CERES3 du Thomas Washington).

La compilation des données Seabeam a été effectuée à l'échelle de 16 pouces par degré de longitude à l'Equateur en projection de Mercator. Ce type d'échelle calculée à l'Equateur, permet de garder une échelle de valeur constante pour les levés effectués sous des latitudes différentes, et autorise l'assemblage de ces levés.

La carte a été divisée en 16 planches ayant une largeur constante de 2 degrés sur une hauteur d'au moins un degré. Les levés 'Costa Rica I' (voir chapitre 3), 'Costa Rica II' (Shiple & Moore, 1984) ont été simplifiés et réduits à l'échelle des planches. Les levés des Legs 66 et 67 du Jean Charcot (Roump, Renard et al., 1981 ; Aubouin, Stéphan et al., 1982) ont complété les levés 'Mexico' et 'Guatemala' du Thomas Washington (Shiple & Moore, 1984), et ont également été réduits et simplifiés.

### 4.2.1 - Description des planches Seabeam le long du Fossé d'Amérique Centrale

La conversion entre échelle en pouces par degré à l'Equateur et échelle fractionnaire a été calculée par le programme SCALE (Annexe A3) et représentée sur la figure 4.11.

La description des cartes est menée du Nord-Ouest vers le Sud-Est.

#### 4.2.1.1 - planche 1

La partie de la campagne ARIADNE3 à l'Ouest de 105.5°W est située entièrement sur la plaque océanique : outre des rides orientées NW-SE, on observe un 'trou' à 105°36'W. Une interruption d'acquisition des données a eu lieu entre 105°40'W et 105°43'W. La profondeur moyenne augmente rapidement d'Ouest en Est le long de cette partie occidentale.

La campagne SEANOD4 a cartographié des structures parallèles à l'extrémité de la Dorsale Est-Pacifique située un peu plus au SW (voir planche 2, et Mammerickx, 1984). Cependant la majorité des structures océaniques sont également orientées NW-SE.

Le fossé a été cartographié de manière détaillée entre 104°50'W et 105°10'W. On y voit un seamount occuper le fond du fossé, cachant une dénivellation de 450 m dans l'axe de celui-ci, ce qui indique son appartenance à une importante zone de fracture. La pente continentale ne présente pas de structures particulières à part un petit bassin en bas de la pente à 105°1'W et une ride associée à une vallée entre 2750 et 3000 m

## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

à 104°50'W. Les structures de la plaque océanique présentent des pentes nettement plus élevées et plus longues que la moyenne. La large surface plane au fond du fossé trahit une forte sédimentation locale qui a enfoui les rides océaniques.

Vers le SE, le fond du fossé est également plat mais remonte légèrement vers 104°35'W où l'on trouve une structure ressemblant à un seamount dans le mur interne du fossé. Au SE de cette structure le fond du fossé est plus haut de 200 m, ceci est dû à la présence d'une zone de fracture sur laquelle serait située la structure volcanique devinée dans le mur interne. Puis la profondeur augmente assez régulièrement jusqu'à 4400 m à 18°10'N où apparaît une nouvelle dénivellation portant la profondeur du fond du fossé à 4750 m. Entre 104°18'W et le coin SE de la carte on peut observer des rides et dépressions sur le mur interne.

#### 4.2.1.2 - planche 2

Cette planche est située directement au Sud de la planche 1, et par conséquent le fossé n'est visible que dans le coin supérieur droit.

La campagne SEANOD4 a cartographié des structures océaniques de direction N-S, visibles surtout à l'Ouest de 105°40'W, typiques de la Dorsale Est-Pacifique. Les zig-zags de la route montrent des rides de direction très variée qui ont été complètement cartographiées par Mammerickx (1984) et se sont révélées appartenir à la Dorsale Est-Pacifique.

La campagne CLIPPERTON a traversé une série de structures d'orientation générale NW-SE dont la profondeur augmente en moyenne du SW vers le NE. La route du navire recoupe trois fois une profonde dépression parallèle aux rides : à 17°55'N-104°28'W, 17°41'N-104°15'W et 17°30'N-104°7'W.

Les trois lignes SEANOD1 et 2 et SEARISE1 montrent essentiellement des structures orientées N-S avec très peu de fortes dénivellations.

#### 4.2.1.3 planche 3

La campagne CLIPPERTON a recoupé à nouveau la dépression observée sur la planche 2 à 17°5'N-103°50'W et 16°50'N-103°39'W. Au Nord de 16°40'N la bande Seabeam montre uniquement des structures NW-SE, et au Sud jusqu'à 16°10'N, leur orientation est NNW-SSE.

Les rides N-S observées sur la planche 2 ne sont visibles que sur la route SEANOD la plus septentrionale mais elles cessent peu avant son intersection avec la route de la campagne CLIPPERTON. Jusqu'à 103°5'W sur SEANOD1, au Nord, et 102°45'W sur SEANOD2, au Sud, les structures sont orientées NNW-SSE. Plus à l'Est les deux lignes sont marquées par de fortes dénivellations provoquées par des rides et dépressions d'orientation NW-SE qui s'atténuent beaucoup entre les deux routes.

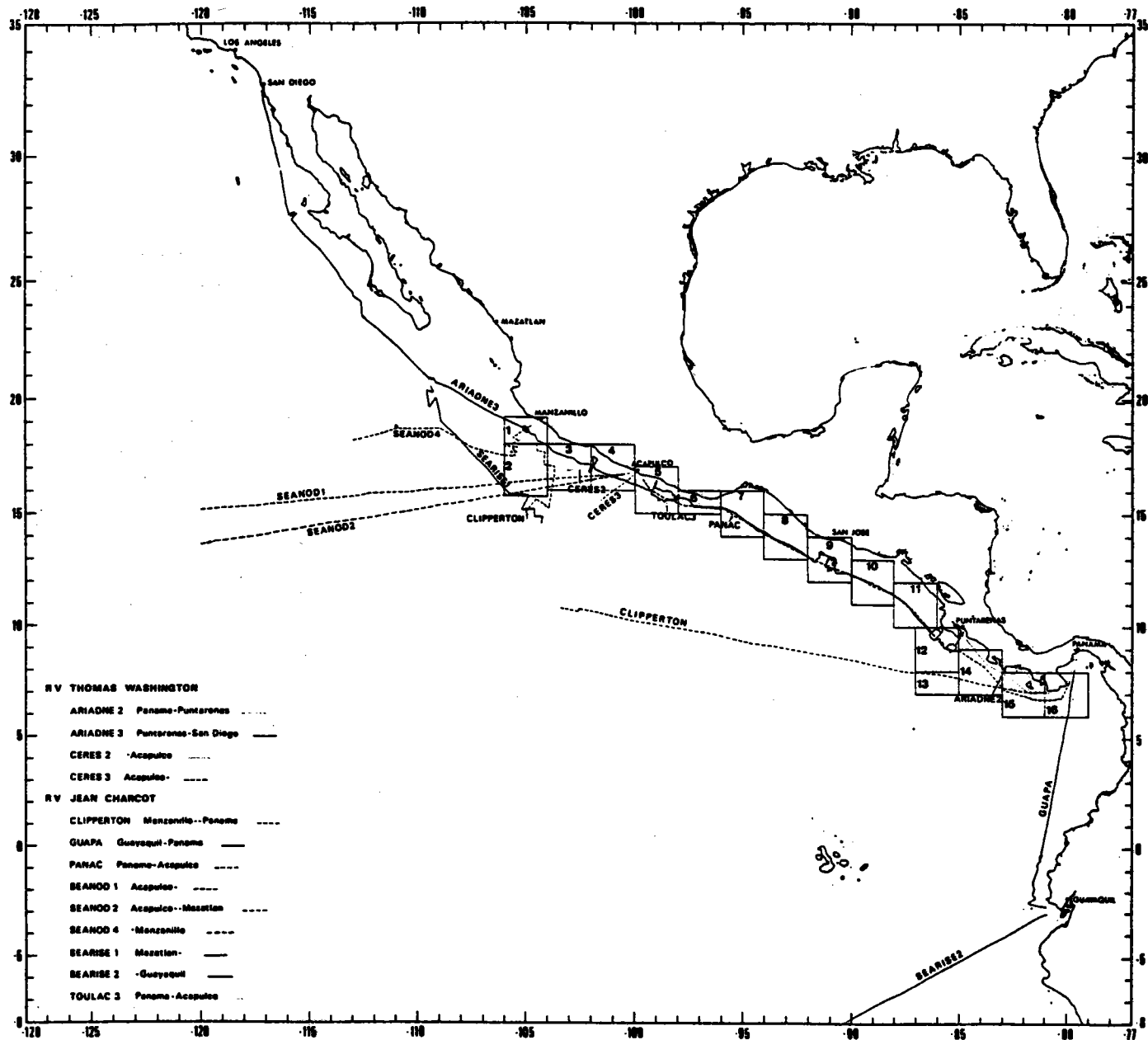
---

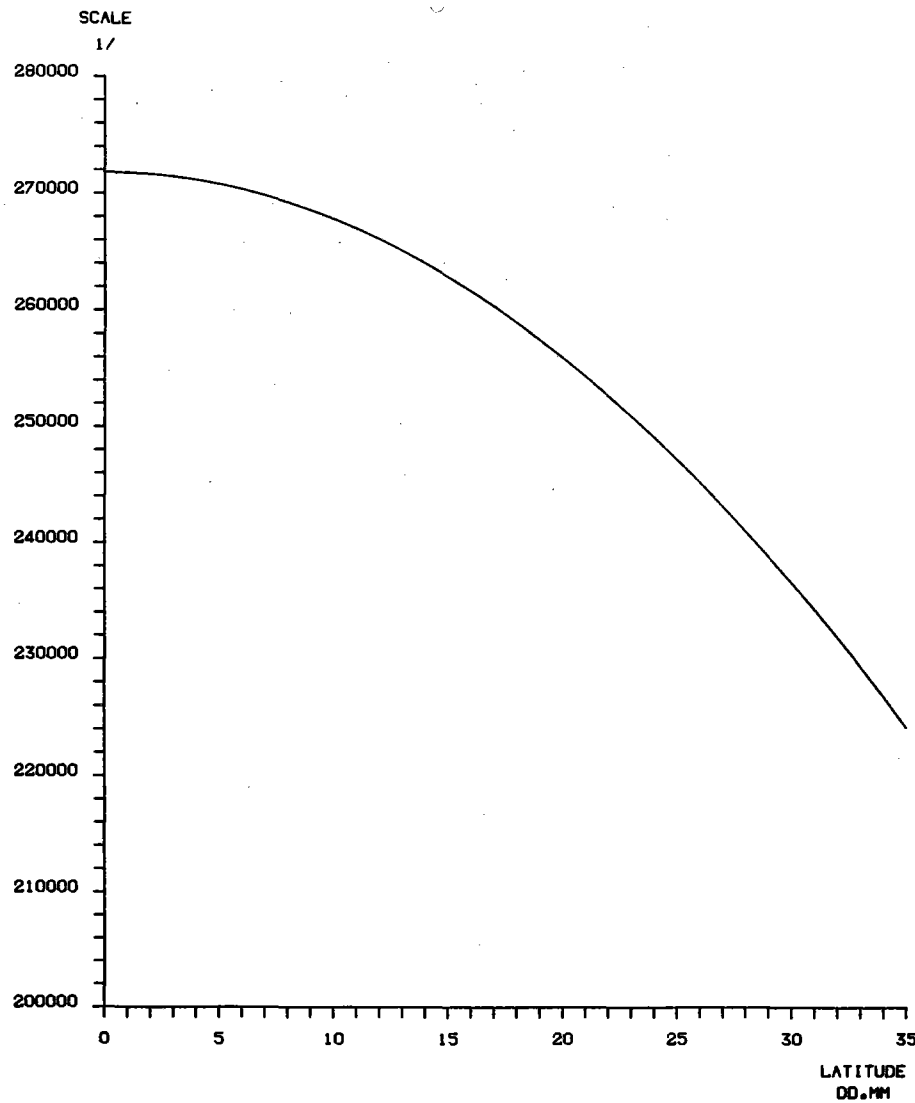
Figure 4.9 : Carte bathymétrique du Pacifique Centre Oriental (simplifiée d'après Mammerickx & Smith, 1978 et 1981) --->





**Figure 4.10 :**  
 Carte des routes  
 Seabeam dans la  
 région d'Amérique  
 Centrale et  
 localisation des  
 16 planches  
 Seabeam hors-texte  
 compilées à  
 l'échelle 16  
 pouces par degré.





**Figure 4.11** : Variation de l'échelle de type 1/ des cartes en projection de Mercator en fonction de la latitude de 0 à 35°N à l'échelle de 16 pouces par degré. Pour toute autre échelle à l'Equateur il suffit effectuer une règle de trois.

La campagne CERES2 montre une dépression plus profonde de 800 m que le fond du fossé situé à 20' au Nord. Cette dépression semble s'interrompre brutalement sur la bordure N de la bande Seabeam. A l'Est, les structures que l'on peut observer sont orientées NW-SE.

La campagne ARIADNE3 a montré que le fond du fossé était extrêmement plan entre 103°53'W et 102°55'W. La seule structure océanique rencontrée entre ces deux longitudes est orientée NW-SE et appartient au mur externe. Le mur interne observable entre 102°55'W et 102°41'W présente une étrange avancée dans le fossé associée à une dénivellation de 250 m dans le profil en long du fond du fossé : cette association ressemble beaucoup à celle rencontrée sur la planche 1 vers 104°33'W et laisse supposer qu'une zone de fracture existe ici aussi. De 102°41'W à 102°28'W le fond du fossé est plat. Puis la bande cartographiée montre la base de la pente continentale dans laquelle il est impossible de discerner une quelconque organisation.

#### 4.2.1.4 - planche 4

Le canyon cartographié lors de la campagne ARIADNE3 montre un tracé constitué de courts segments rectilignes. Le fond du fossé est plus profond de 200 m à l'Est de l'embouchure du canyon qu'à l'Ouest, ceci ne peut s'expliquer que par la présence d'une zone de fracture non cartographiée. Le fond du fossé semble en général très large et relativement plat jusqu'à 101°11'W.

Les campagnes SEANOD1 et 2, CERES3 montrent des structures océaniques orientées NW-SE avec parfois de fortes dénivellations liées à une profonde dépression. On peut observer ce qui semble être une partie de grand seamount le long de la route de SEANOD2 entre 101°25'W et 101°14'W. Un seamount plus petit est visible dans le fond du fossé centré à 16°40'N-101°10'W, sa présence est associée à une dénivellation de 250 m de la profondeur du fond du fossé, laissant supposer l'existence d'une zone de fracture.

Un troisième seamount est en partie visible formant une avancée au bas de la pente continentale à 100°48'W, il est vraisemblablement responsable de l'indentation de la ligne de bas de pente à 100°50'W. Le bas de la pente continentale est marqué vers 101°W par une petite ride qui est sans doute due à l'accrétion de sédiments. A 100°47'W, le fond du fossé subit une nouvelle dénivellation de près de 300 m, au pied du seamount visible au bas de la pente continentale, suggérant à nouveau la présence d'une zone de fracture. La partie occidentale de la large indentation des courbes de niveau de la pente continentale entre 3250 et 2000 m est dans le prolongement direct de la dénivellation observée dans le fond du fossé.

Le fond du fossé, étroit au pied de la zone de fracture, s'élargit sensiblement vers l'Est, avant de se rétrécir à nouveau à l'intersection de rides océaniques à 100°10'W où l'on observe une dénivellation d'une centaine de mètres. A l'Est de 100°10'W le fond du fossé s'élargit à nouveau pour s'arrêter brutalement à 100°2'W et ne former qu'un sillon étroit jusqu'à la limite de la carte.

Les données de la campagne CERES3 montrent des structures océaniques orientées NW-SE et un mur interne dont la pente diminue en moyenne du bas vers le haut, avec un large replat à 2800 m et un canyon à 2250 m.

## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

### 4.2.1.5 - planche 5

Entre 100°W et le levé 'Mexico' (Leg 66), le fond du fossé reste relativement étroit à l'intersection des rides océaniques (obliques par rapport à l'axe du fossé), et s'élargit légèrement entre ces points de resserrement. La profondeur augmente très légèrement entre le bord de la carte et 99°3'W où elle diminue de 150 m environ sur une courte distance, laissant supposer la présence d'une petite zone de fracture. Le tiers d'un petit seamount circulaire est visible sur la plaque océanique à 99°55'W. La base du mur interne est très ondulée : une indentation devant le petit seamount de la plaque océanique suggère que ces ondulations sont dues à la subduction d'un important seamount ou de plusieurs seamounts alignés, enfouissant la base de la pente. Les rares structures océaniques visibles ont une orientation NW-SE.

La fin des campagnes TOULAC3 et PANAC montrent que la pente du mur interne augmente de 1750 m de profondeur jusqu'au bas de la pente, avec un replat vers 3850 m ; au-dessus de 1750 m la régularité de la pente est interrompue par un canyon.

Le levé 'Mexico' ayant été décrit plusieurs fois (en particulier Renard, Aubouin et al., 1980 ; Roump, Renard et al., 1981 ; Shipley & Moore, 1984) seul un résumé des observations sera présenté ici. La plaque océanique montre des rides de direction NW-SE et de nombreux seamounts. Certains de ceux-ci sont alignés sur une zone de fracture révélée par la forte dénivellation visible en particulier dans la ligne de fond de fossé. Une autre zone de fracture peut être observée à 98°13'W mais cette fois-ci aucun seamount ne la couvre et la dénivellation est bien marquée. La pente continentale est lacérée par plusieurs canyons dont le plus important, le canyon Ometepec, est le seul à descendre jusqu'au bas de la pente. La moitié inférieure de la pente est le domaine de l'accrétion de sédiments, on remarque notamment de nombreuses rides près du canyon Ometepec.

### 4.2.1.6 - planche 6

Le tiers occidental de la planche est occupé par l'extrémité orientale du levé 'Mexico'. Aucune structure océanique nette n'est visible, à l'exception d'une zone de fracture à 97°45'W et d'une masse volcanique importante d'orientation NW-SE à 97°15'W. Le seamount situé à la limite occidentale de la planche a enfoncé le mur interne sur plusieurs kilomètres. Un canyon ne s'étendant pas jusqu'au bas de la pente a également été cartographié à 97°55'W. Le canyon recoupé à 97°23'W à 3500 m de profondeur ne semble pas non plus atteindre le fond du fossé. Une seule ride est visible au bas de la pente, vers 97°53'W, mais la couverture Seabeam est insuffisante pour dire s'il s'agit d'une ride sédimentaire contribuant au prisme d'accrétion ou d'un édifice volcanique appartenant à la plaque océanique.

À partir de 97°15'W et jusqu'à l'extrémité orientale de la carte, le fossé a une orientation Est-Ouest qui succède à une orientation générale NW-SE depuis la planche 1.

De 97°12'W à 96°42'W la plaque océanique a été très peu cartographiée, le fond du fossé est tour à tour étroit et large, vraisemblablement en fonction de l'intersection des rides océaniques avec le mur interne du fossé. Ce dernier ne présente pas une pente uniforme et est sans doute perturbé par la subduction de nombreuses structures océaniques de tailles

et de formes variées.

De 96°42'W au bord oriental de la feuille, des rides océaniques d'orientation NW-SE sont visibles, rétrécissant le fond du fossé à leur intersection avec le mur interne. On observe un petit seamount à 96°19'W, il est probablement situé sur une petite zone de fracture car localisé sur une différence de profondeur d'une centaine de mètres dans le fond du fossé. Le mur interne est plus perturbé à l'Ouest de ce seamount qu'à l'Est de celui-ci.

La moitié d'un petit seamount est visible à la limite orientale de la carte.

#### 4.2.1.7 - planche 7

L'orientation Est-Ouest de l'axe du fossé ne se poursuit que jusqu'à 95°40'W environ et redevient NW-SE sur le reste de la carte. Le changement intervient juste après une très forte dénivellation dans l'axe du fossé de 95°30'W à 95°12'W. L'approfondissement de 1000 m de l'axe du fossé, d'ailleurs peu notable car morcelé en plusieurs marches d'escalier, est le seul indice la présence de la Zone de Fracture Tehuantepec.

Les nombreuses structures océaniques visibles sont orientées NW-SE, légèrement obliques à l'axe du fossé.

Le mur interne, du bord occidental de la carte jusqu'à 95°40'W, a une pente relativement forte, sauf parfois à son pied, où une ride à 95°47'W et des replats à 95°56-58'W semblent indiquer la présence d'accrétion active de sédiments. De 95°30'W à 95°10'W, la base visible de la pente continentale est beaucoup plus perturbée par des rides et dépressions notables, mais étant donné le passage de la Zone de Fracture de Tehuantepec sous cette partie du mur interne, il est impossible de dire si ces perturbations sont d'origine sédimentaire ou volcanique. De 95°5'W jusqu'à la limite orientale de la carte, le mur interne présente une pente régulière bien que variable, et parfois de petites rides et dépressions indiquent la présence probable d'accrétion de sédiments sur le mur interne : de 94°48'W à 94°27'W et de 94°26'W à 94°17'W au bas de la pente, de 94°14'W au bord de la carte, au bas de la pente et 300 m au-dessus.

#### 4.2.1.8 - planche 8

La plupart des rides de la plaque océanique ont une direction NW-SE, oblique par rapport à l'axe du fossé.

Le fond du fossé est formé de petits bassins interrompus par la présence des rides océaniques lorsqu'elles atteignent le mur interne. Le point le plus profond du fossé, 6600 m, est situé vers 93°32'W.

La ride observée à 300 m au-dessus du fond du fossé sur la planche 7, se poursuit sur cette carte jusqu'à 93°53'W. D'autres rides sont visibles au bas de la pente le long du fossé, mais l'ensemble le plus spectaculaire est situé entre 93°15'W et 92°12'W où l'on voit de nombreuses rides et dépressions bien développées, rappelant les figures d'accrétion du levé 'Mexico' (planche 5).

## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

### 4.2.1.9 - planche 9

Ici également la plupart des structures océaniques sont orientées NW-SE, avec parfois des pentes plus fortes que la moyenne.

La profondeur du fond du fossé continue à diminuer progressivement vers le SE.

Le levé 'Guatemala' (Leg 67) ayant déjà été étudié (Aubouin, Stéphan et al., 1982 ; Shipley & Moore, 1984), seul un résumé des observations sera présenté ici. Le canyon San José disséquant le levé principal, n'atteint pas le bas de la pente. Celle-ci semble découpée en marches d'escalier entre 5500 et 4400 m de profondeur. A l'Ouest du levé principal on peut observer de petites rides au bas de la pente continentale (de 92°W à 91°47'W et de 91°22'W à 91°11'W) signalant la présence possible d'accrétion sédimentaire à la base du mur interne du fossé, mais cette accrétion est sans doute très limitée car les forages du Leg 67, proches, n'en ont pas découvert (Von Huene, Aubouin & al., 1980). Le volcan à 13°17'N a été étudié par Volpe, Shipley & Moore (1985).

La couverture Seabeam de la pente continentale à l'Est du levé principal ne montre pas d'organisation remarquable.

### 4.2.1.10 - planche 10

Les rides océaniques gardent la même direction moyenne NW-SE que sur les planches précédentes, mais les pentes sont nettement moins élevées que sur la planche 9.

La profondeur du fond du fossé continue de diminuer vers le SE progressivement et par un saut d'une centaine de mètres à 88°39'W et une remontée plus brutale de 250 m vers 88°15'W révélant la présence de zones de fracture. Ces fortes dénivellations dans l'axe du fossé sont les premières depuis le Zone de Fracture Tehuantepec (planche 6). Le fond du fossé est formé de petits bassins limités par les rides océaniques obliques arrivant jusqu'au mur interne.

On peut observer quelques rares bassins et rides peu développées à la base du mur interne à 89°40'W, 89°15'W, 89°4'W et 88°49'W.

### 4.2.1.11 - planche 11

Sur cette planche l'axe du fossé change progressivement de direction et devient parallèle aux rides océaniques NW-SE à partir de 87°20'W. Sa profondeur continue de diminuer progressivement vers le SE.

Le mur interne ne présente plus qu'une pente uniforme sans rides ni bassins, sauf au débouché d'un canyon à 86°55'W.

### 4.2.1.12 - planche 12

Cette planche réunit les levés 'Costa Rica I' et 'Costa Rica II' étudiés respectivement dans le chapitre 3 et par Shipley et Moore (1984).

Le seamount centré à 9°4'N-85°28'W partage la plaque océanique en deux parties : au NW les rides océaniques ont une direction NW-SE, à l'Est du seamount elles sont orientées E-W.

La profondeur du fond du fossé continue à remonter vers le SE, progressivement mais aussi brutalement à 86°20'W et à 86°1'W avec des pertes de 200 m en chacun de ces deux endroits, révélant l'existence de petites zones de fracture.

Sur le levé 'Costa Rica II', la pente du mur interne est très uniforme, sans rides ni dépressions, beaucoup moins forte que sur le levé 'Costa Rica I', où une ligne de seamounts défonce le mur interne provoquant un net recul dans le tracé de l'axe du fossé.

#### 4.2.1.13 - planche 13

Une seule ligne, provenant de la campagne CLIPPERTON, traverse le cadre de cette planche. On observe que la pente de la plaque océanique augmente légèrement de 86° à 87°W, et qu'il existe un seamount à 85°50'W qui semble appartenir à la même ligne que les seamounts du levé 'Costa Rica I'. Aucune structuration de la plaque océanique n'est observable. Une ride s'élevant à moins de 1050 m est visible entre 85°20'W et le bord de la carte, sa direction est NNE-SSW à NE-SW. Elle appartient à l'ensemble plus important de la Ride Cocos.

#### 4.2.1.14 - planche 14

La bande cartographiée lors de la campagne CLIPPERTON se poursuit sur cette planche. On y voit, au-dessus du relief peu marqué de la ride, deux autres élévations, dont les sommets atteignent 750 m à 84°45'W et à 84°6'W. Cette dernière ride marque une remontée de la Ride Cocos de 250 m vers l'Est. La profondeur augmente brutalement juste avant la limite orientale de la carte.

Les structures océaniques cartographiées sur cette planche ont une orientation générale E-W de 85°W à 84°10'W, plus à l'Est la direction dominante est SW-NE, direction de la Ride Cocos à laquelle appartiennent ces structures.

Le fond du fossé est relativement plat du bord occidental de la carte à 84°39'W, puis il remonte rapidement jusqu'à 84°30'W où l'on aperçoit une chaîne de petits seamounts atteignant le mur interne. Après un petit bassin, la profondeur recommence à diminuer rapidement de 84°20'W à 84°11'W, puis plus lentement jusqu'à 83°55'W. A partir de cette longitude et jusqu'à la limite orientale de la planche, la profondeur oscille autour de 1750 m mais on possède peu de données sur l'axe du fossé à cet endroit.

La pente continentale a été peu cartographiée, et les quelques structures visibles ne sont pas interprétables à cause de l'étroitesse de la bande Seabeam à ces faibles profondeurs.



## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

### 4.2.1.15 - planche 15

La campagne ARIADNE2 est entièrement située sur la pente continentale.

Les lignes des campagnes TOULAC3, PANAC et CLIPPERTON servent essentiellement à localiser 3 importantes zones de fracture. La plaque océanique qu'elles découpent ne montre aucune structuration perpendiculaire correspondant aux rides observées sur toutes les autres cartes. La zone de fracture la plus occidentale porte le nom de Zone de Fracture de Panama et sert de limite orientale à la plaque Cocos et à la subduction le long du Fossé d'Amérique Centrale. La seconde est une ride dissymétrique située à 82°20'W, elle est la bordure orientale de Mykland Trough (Lowrie, Aitken et al., 1979). La troisième zone de fracture, située à 81°53'W et appelée Zone de Fracture de Coiba, fait remonter brutalement la profondeur de la croûte océanique de 1000 m. En s'éloignant vers l'Est, la profondeur augmente de nouveau, régulièrement et assez rapidement donnant l'impression d'appartenir au revers d'un bloc basculé dont le flanc abrupt serait la Zone de Fracture de Coiba.

### 4.2.1.16 - planche 16

La fin de la campagne CLIPPERTON a cartographié le milieu de la pente continentale.

Les routes des campagnes TOULAC3 et PANAC sont situées au pied de la pente continentale entre le bord occidental de la carte et 80°20'W environ.

Les 3 lignes perpendiculaires à la pente montrent des vallées ou dépressions parallèles aux courbes de niveau : à 7°10'N sur la route la plus occidentale, à 80°W sur la route médiane, et à 7°10'N sur les données de la campagne GUAPA. Sur cette dernière ligne la base de la pente continentale a une pente relativement faible rappelant les glaciers des marges actives.

Le point le plus profond de la partie océanique a été cartographié près de la pente continentale. La profondeur diminue lentement mais régulièrement au Sud de 6°31'N.

## 4.2.2 - Résumé des observations faites le long du Fossé d'Amérique Centrale jusqu'au Sud de Panama

Pour donner quelques images synthétiques des observations faites le long du Fossé d'Amérique Centrale il a été nécessaire de relever les valeurs de certains paramètres le long du fossé et d'effectuer des rejeux sur ordinateur. Les seules données facilement mesurables mais caractéristiques du fossé sont la profondeur à l'axe et la direction des structures océaniques.

### 4.2.2.1 - le profil en long du Fossé d'Amérique Centrale

Ce profil a été réalisé en notant la position et profondeur de tous les changements de pente le long de l'axe du fossé. Un certain nombre de points, marquant en général une dénivellation importante dans l'axe ont servi à délimiter des sections à partir desquelles ont été effectués tous les calculs. C'est la distance entre ces points de rupture qui a servi à

calculer la longueur totale du fossé, et à recalculer la distance entre chaque point le long du fossé avant la construction du profil lui-même (Annexe A4).

Le dessin du profil (fig. 4.12) permet de distinguer plusieurs zones en fonction de la profondeur et de l'aspect même du profil :

- de 105°W à 99°W environ. Le tracé est très régulier dans le détail mais comporte quelques dénivellations importantes correspondant vraisemblablement à des zones de fracture. Celles-ci délimitent des marches d'escalier relativement planes car couvertes de sédiments (dans cette partie le fond du fossé est souvent large et plan).

- de 99°W à la Zone de Fracture Tehuantepec. Le tracé est très irrégulier dans le détail en particulier à l'Est de 97°W. Dans cette zone la sédimentation du fond du fossé est beaucoup moins importante que dans la zone précédente, de plus on observe de nombreux seamounts arrivant au mur interne du fossé.

- de la Zone de Fracture Tehuantepec à 90°W. Le tracé est en dents de scie dans le détail, sans dénivellation majeure, ce qui s'explique par un fond de fossé étroit dû en partie à un manque de sédiments, et par l'absence de zone de fracture notable.

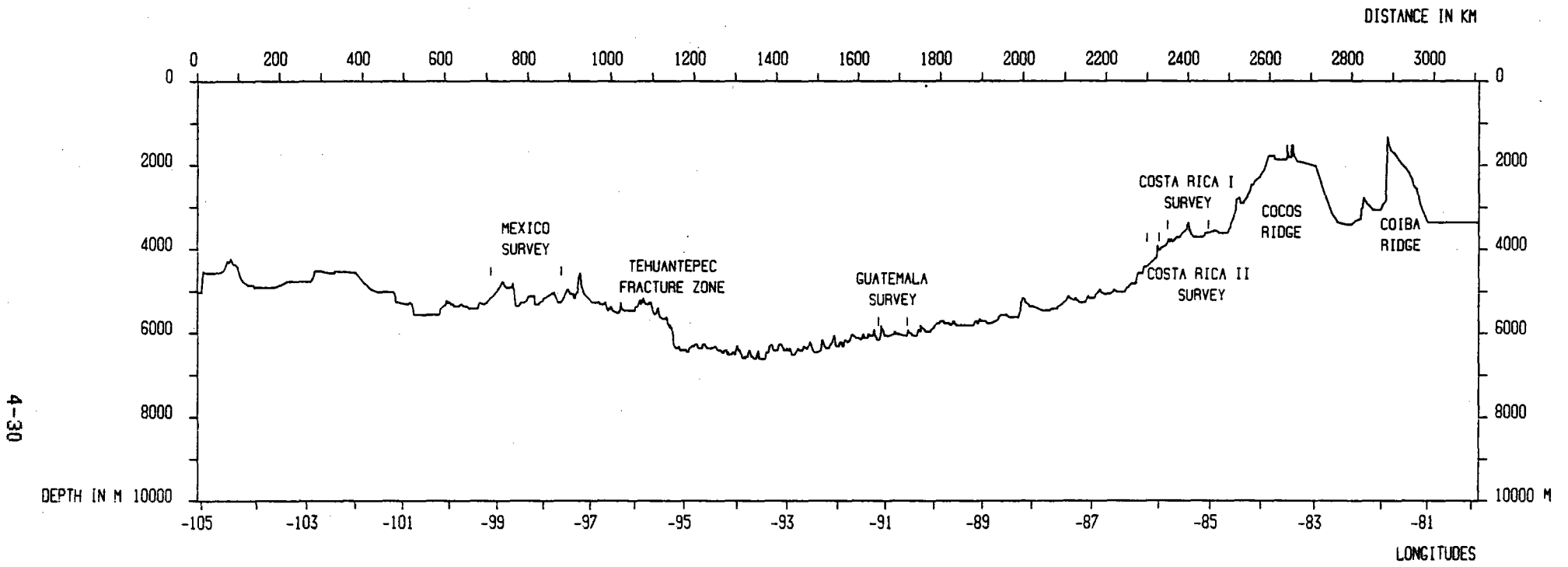
- de 90°W à 86.3°W. Le profil présente quelques irrégularités dans le détail et une seule grande dénivellation, probablement due à une zone de fracture. La régularité du tracé semble due à des rides océaniques peu prononcées de 90° à 88°W, au-delà le nombre d'intersections de rides avec le mur interne est très réduit car la direction de l'axe du fossé est quasiment parallèle à celle des rides océaniques.

- de 86.3°W à la limite orientale du profil. Le profil est marqué par la présence de grandes structures. Entre 86.3°W et le seamount du levé Costa Rica I' la pente du fond du fossé est élevée, semblable à celle du rebord occidental de la Ride Cocos. De ce seamount au pied de la Ride Cocos, le relief est peu marqué. La Ride Cocos forme une masse importante. Entre cette ride et la Ride Coiba limitée à l'Ouest par une zone de fracture il existe une autre petite ride également limitée à l'Ouest par une zone de fracture. A l'Est de la Ride Coiba, le profil du Bassin de Panama est extrêmement plat en raison de l'épaisse couche sédimentaire (Lowrie, 1978).

On doit également noter que la profondeur moyenne de la première zone est légèrement inférieure à celle de la seconde zone. Au SE de la Zone de Fracture Tehuantepec, la profondeur diminue assez régulièrement vers le SE de 93°W à 86.3°W où la profondeur est identique à la profondeur de la zone située juste au NW de la Zone de Fracture Tehuantepec (zone 2). La dernière zone est le segment ayant la profondeur moyenne la plus faible, mais les Rides Cocos et Coiba n'en sont qu'en partie responsables. La forte diminution de la profondeur du fossé entre 86.3°W et le seamount à 85.5°W est sans doute en partie due à l'effet de la flottabilité de la Ride Cocos sur cette partie de la plaque océanique.

#### 4.2.2.2 - les directions des structures océaniques le long du Fossé d'Amérique Centrale

Les directions et longueurs de toutes les structures océaniques



**Figure 4.12** : Profil en long du fond du Fossé d'Amérique Centrale jusqu'au Sud de Panama avec localisation des principaux reliefs et des levés Seabeam les plus importants

rectilignes et de longueur supérieures à 1.5 km environ ont été mesurées sur les cartes Seabeam compilées à 16 pouces par degré. Toutes les longueurs mesurées en mm sur les cartes ont été traduites en longueurs réelles (en km) en tenant compte de la latitude des points.

Les figures 4.13 et 4.14 permettent de distinguer quatre zones. De 106°W à 103°W environ les valeurs des directions sont très dispersées avec un nombre un peu plus important de structures ayant une direction voisine de N140-150°E. De 103°W à 100°W le nombre de structures étudiées est peu important mais leur direction est constante (N100-110°E). De 100°W à 85.5°W la grande majorité des structures a une direction N135°E +/-15° ; le changement de direction du fossé vers 88°W n'affecte en rien cette répartition. De 85.5°W à la donnée la plus orientale vers 81.5°W, la direction moyenne des structures est très différente de celle de la zone précédente (N90-100°E), le changement est nettement visible sur la figure 4.13. La densité des points sur les deux figures est fonction de l'existence de levés détaillés et de l'absence de sédiments dans le fond du fossé couvrant les rides océaniques.

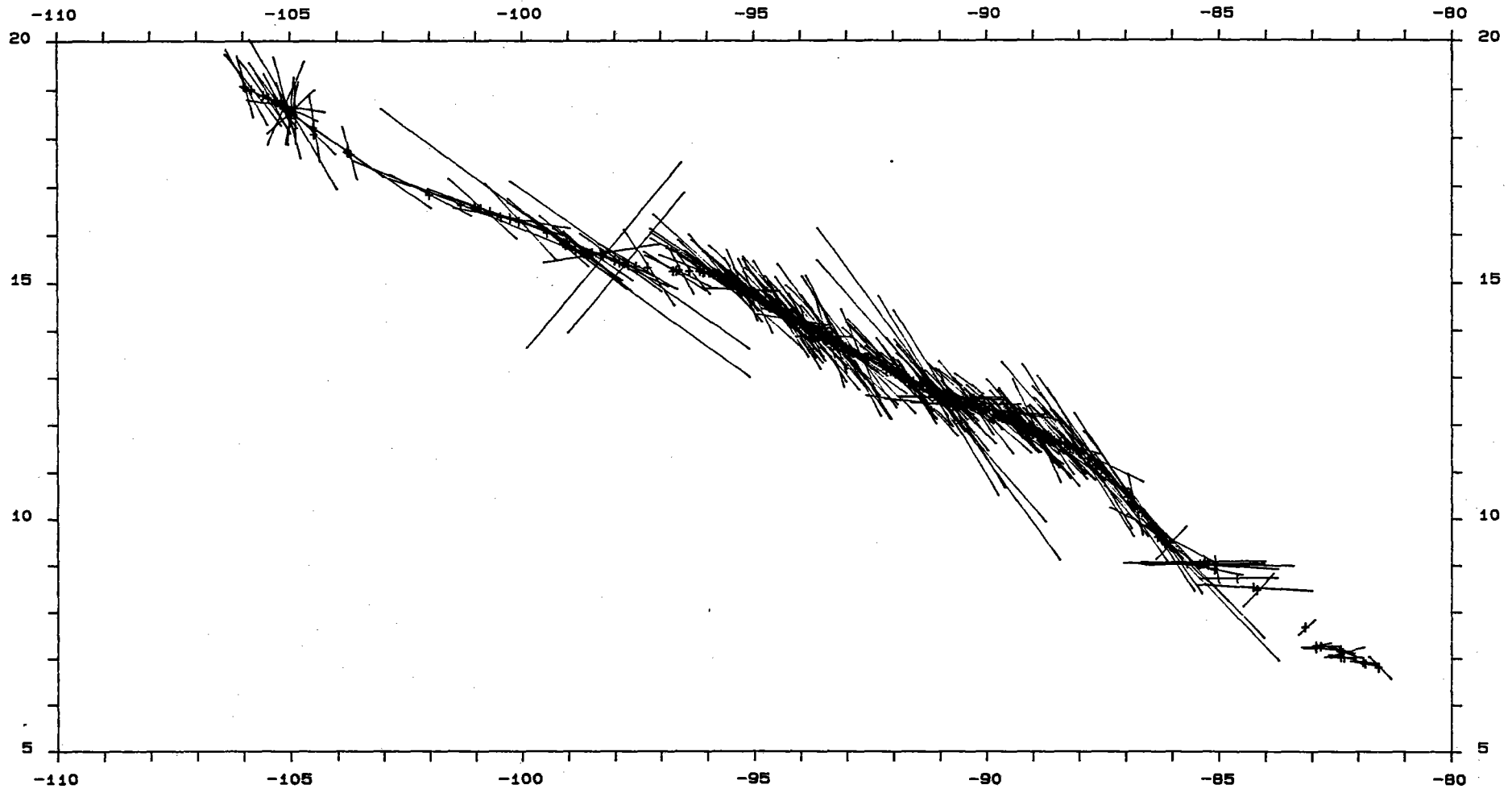
Les figures 4.15 montrent la répartition globale des directions des structures de la plaque océanique le long du fossé. Les deux diagrammes donnent : le nombre de structures par classe de direction (fig. 4.15A) et la somme des longueurs des structures en fonction de la direction (fig. 4.15B). Les différences entre ces deux diagrammes sont très faibles : la direction principale est N120-150°E, mais on note aussi une classe de direction orthogonale due aux zones de fracture associées aux rides de la classe principale, on doit également distinguer une troisième classe, à N90-100°E, dont la majorité des éléments a été relevée à l'Est de 85.5°W.

On remarque que parmi les directions mesurées, peu appartiennent à des zones de fracture, ceci est dû au fait qu'elles sont en général presque perpendiculaires à la route Seabeam et donc peu visibles en dehors des levés réunissant plusieurs lignes. La plus grande largeur des zones de fracture, comparée à celle des rides océaniques, est aussi un facteur dont il faut tenir compte.

#### 4.2.3 - Discussion sur les observations faites à partir des données Seabeam le long du Fossé d'Amérique Centrale

La variation de la profondeur à l'axe du fossé est parallèle à une variation de profondeur des bassins océaniques au large du fossé (fig. 4.9) : par exemple le bassin du Guatemala est nettement plus profond vers le NW, près de la Zone de Fracture Tehuantepec qu'au SE près de la Ride Cocos. La profondeur des bassins océaniques étant étroitement liée à l'âge de la croûte (Parker & Oldenburg, 1973 ; Tréhu, 1975 ; Parsons & Sclater, 1977), il est raisonnable de supposer que la profondeur des fossés océaniques l'est également. Mais si pour les bassins océaniques l'effet de la couche sédimentaire est négligé, il est nécessaire d'en tenir compte pour les fossés : les plaques en cours de subduction sont en général plus âgées que la moyenne des plaques océaniques et ont donc une épaisseur sédimentaire moyenne plus importante, de plus d'autres sédiments s'accumulent préférentiellement dans les fossés, en provenance de la pente continentale, constituant une surcharge locale surtout située dans le fond du fossé mais pouvant atteindre des épaisseurs importantes. Un modèle calculant la profondeur d'un fossé en fonction de l'âge de la croûte qui y subducte devra donc intégrer l'épaisseur des sédiments océaniques et la surcharge des sédiments de fond de fossé bien qu'elle ne soit

4-32



**Figure 4.13** : Carte des directions et longueurs des structures de la plaque océanique le long du Fossé d'Amérique Centrale d'après les cartes Seabeam à l'échelle 16 pouces par degré

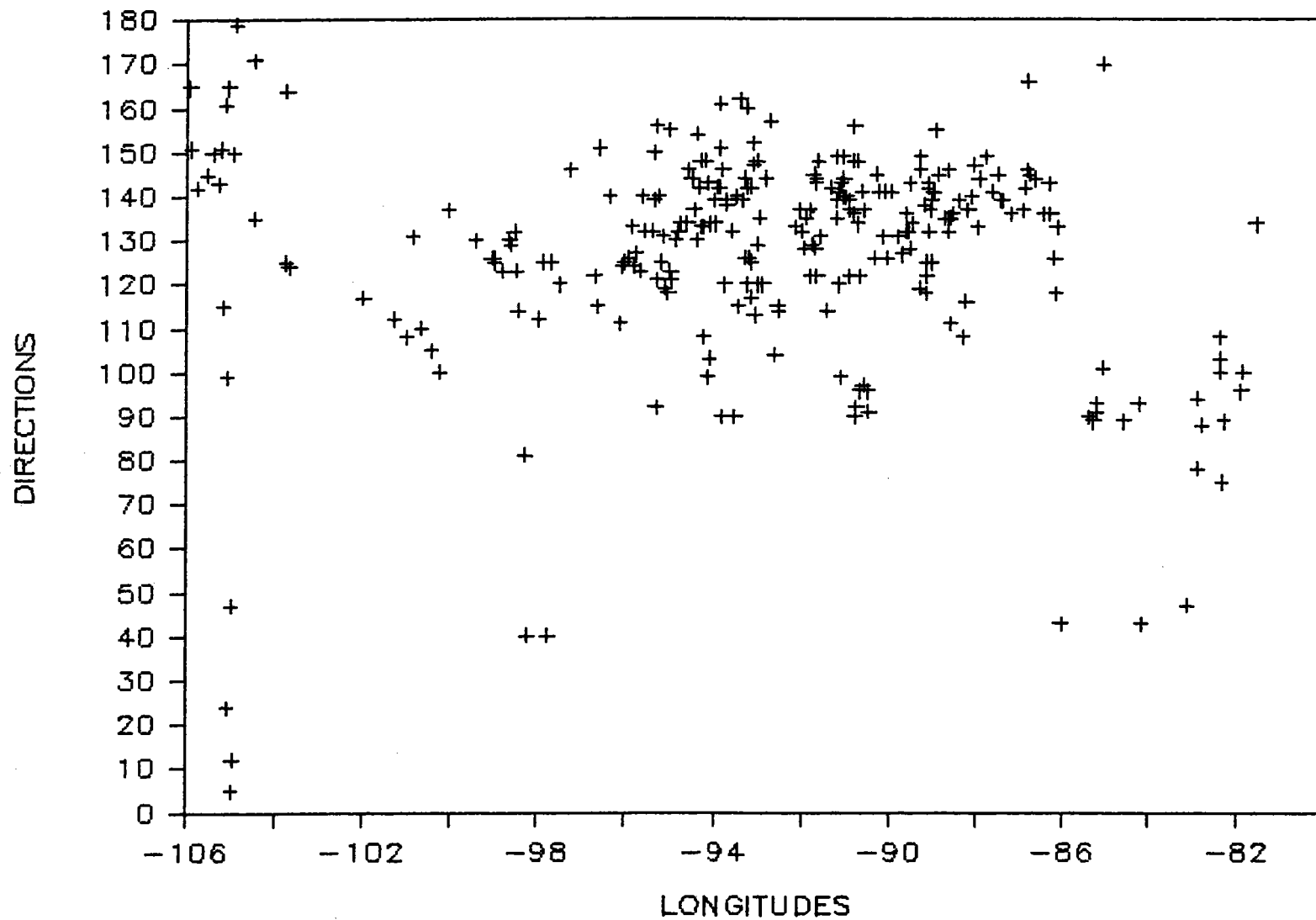
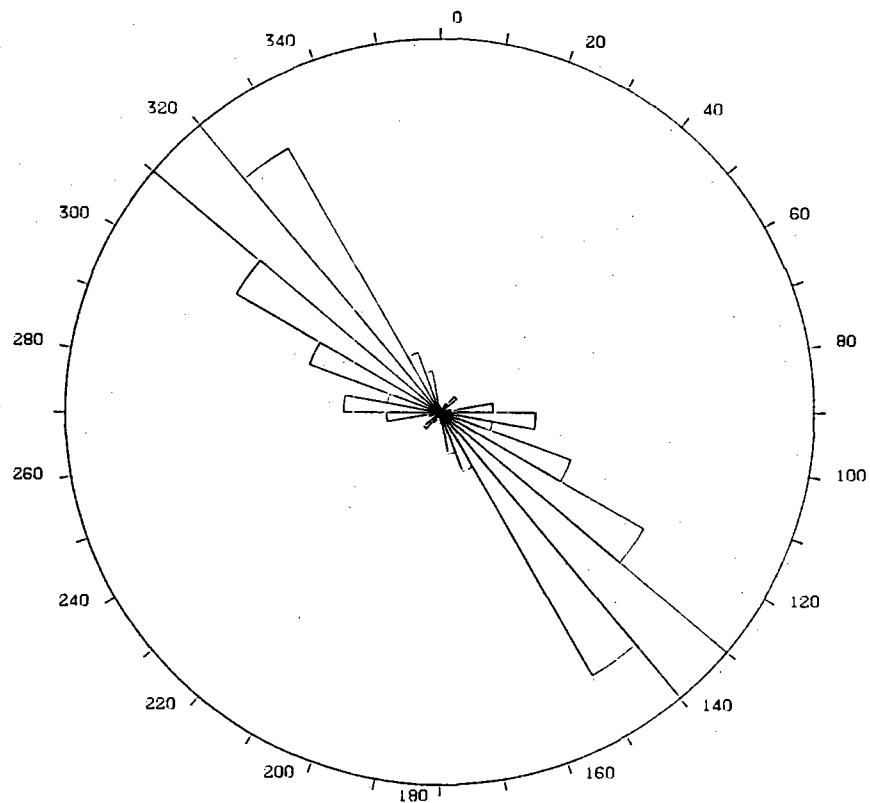
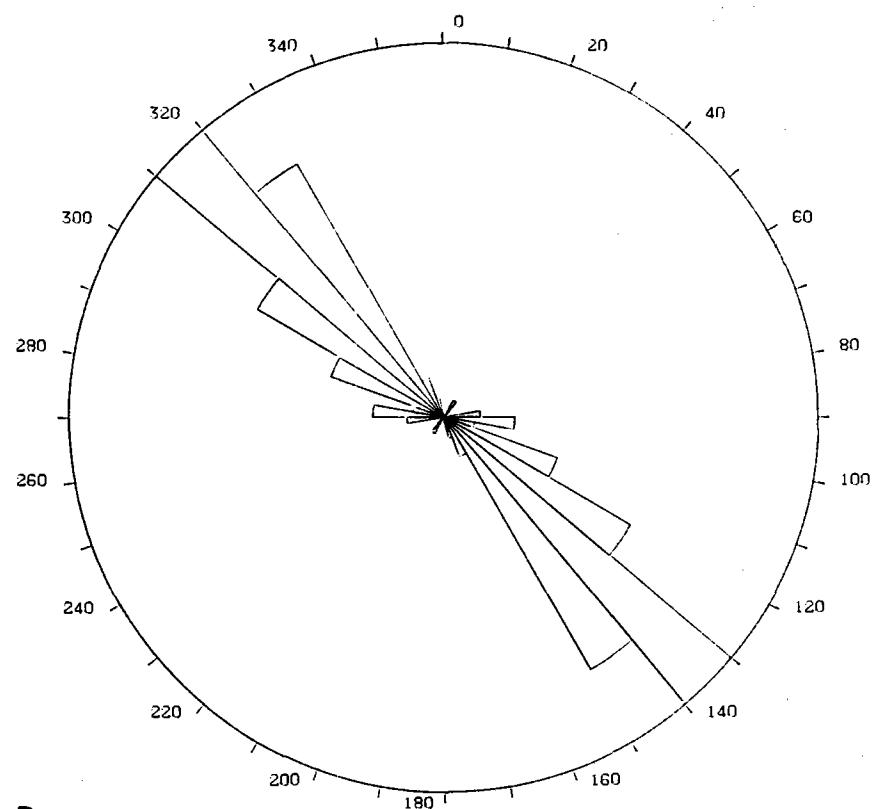


Figure 4.14 : Diagramme de la variation de la direction des structures de la plaque océanique le long du Fossé d'Amérique Centrale en fonction de la longitude

4-34



A

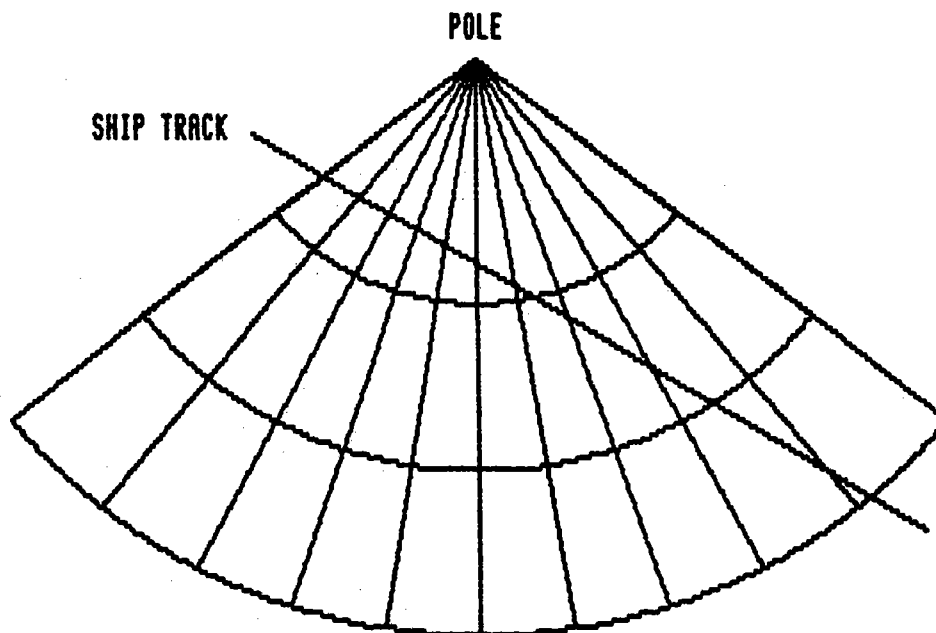


B

**Figure 4.15** : Diagrammes circulaires montrant la variation du nombre d'observations de structures sur la plaque océanique le long du Fossé d'Amérique Centrale, en fonction de la direction (A, valeurs de 0 à 70), et la variation de la somme des longueurs des structures en fonction de la direction (B, valeurs de 0 à 489)

vraisemblablement que partiellement compensée par un enfoncement de la plaque océanique. Les données du Fossé d'Amérique Centrale ne peuvent contribuer que pour une faible part dans la construction de ce modèle étant donné que seuls deux sites ont été datés par les forages du Glomar Challenger : 12 MY au Leg 66 (Watkins, Moore et al., 1979) (profondeur du fossé : 5000 m), et 22 MY au Leg 67 (Von Huene, Aubouin et al., 1980) (profondeur du fossé : 6000 m). En ce dernier point l'influence de la flottabilité de la Ride Cocos est indéterminée. Toutefois il est difficile d'expliquer que cette influence soit assez importante pour soulever tout le Bassin du Guatemala : l'approfondissement de l'axe du fossé de la Ride Cocos vers la Zone de Fracture Tehuantepec, continu sauf près de la zone de fracture elle-même, est sans doute dû en partie au vieillissement de la plaque dans cette direction.

La constance de la direction moyenne N135°E des structures océaniques le long du fossé de 100 à 85.5°W et le brusque passage à des structures orientées E-W doit être commenté. Ces deux groupes de rides océaniques clairement séparées le long du fossé montrent que la croûte océanique arrivant au fossé a été formée par deux rides de directions différentes, et les conclusions tirées de l'étude du levé 'Costa Rica 1' situé à la limite entre ces deux régions (chapitre 3) peuvent être généralisées. On doit également observer que bien que l'axe du fossé recoupe les directions des structures océaniques N135°E, on ne note pas de variation dans la direction moyenne de celles-ci comme on pourrait s'y attendre d'après le



**Figure 4.16** : Schéma montrant les directions des rides océaniques théoriques observables sur une ligne Seabeam lors de la traversée d'une plaque.

schéma de la figure 4.16. Ceci ne peut se produire que si le pôle de rotation lors de la création de la plaque est très éloigné (distance angulaire supérieure à 60° environ). Dans la même région on observe en effet que la Zone de Fracture Tehuantepec est relativement rectiligne (voir fig. 4.9) et que de l'autre côté de la Dorsale Est-Pacifique, les grandes zones de fracture de la plaque Pacifique (Clarion, Clipperton, également que la direction de la Zone de Fracture Tehuantepec, N42°E, est



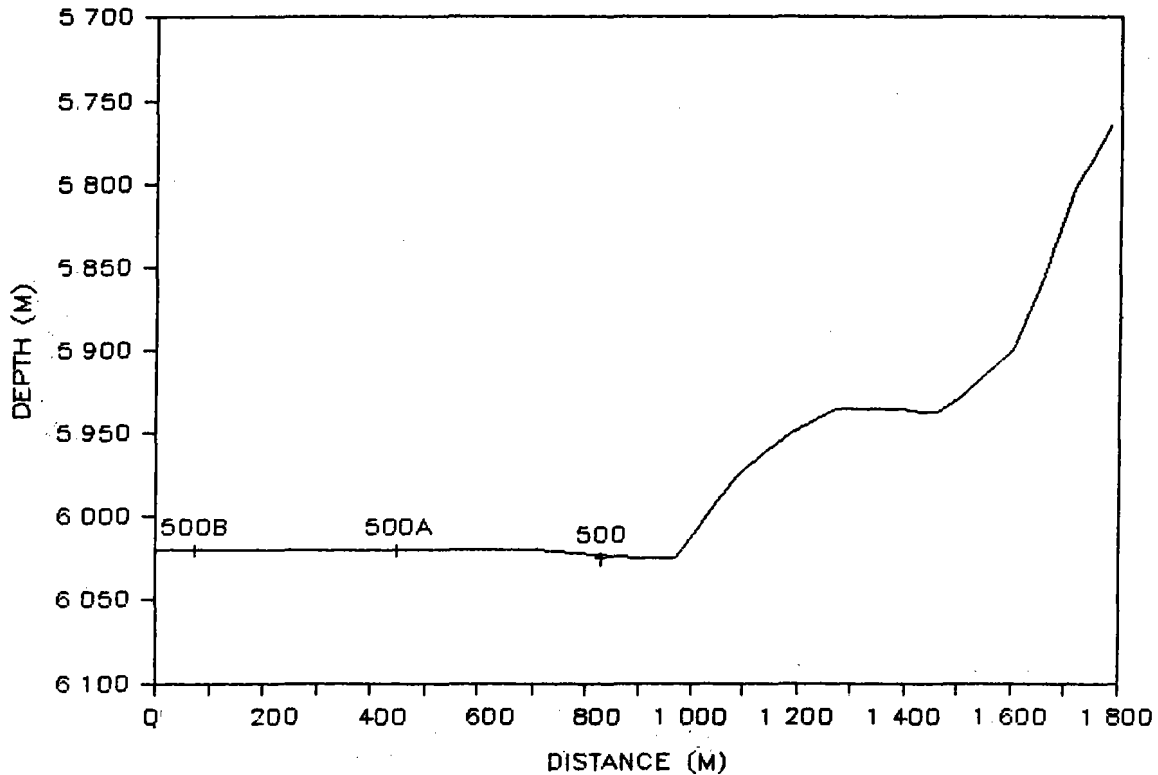
## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

normale à celle des rides observées le long du fossé, confirmant l'origine des rides comme provenant d'un simple rejeu de failles formées à la dorsale lors de la création de la croûte, et montrant ici l'orthogonalité probable de l'expansion par rapport aux zones de fracture. Près de celles-ci l'orthogonalité des rides n'est plus vérifiée à cause du mouvement opposé des deux plaques de chaque côté de la faille transformante pendant un temps suffisamment long pour déformer légèrement l'extrémité de ces rides.

La limite entre la zone des structures N135°E et les rides N-S liées à l'expansion océanique le long de la Dorsale Est-Pacifique est aussi très nette, à la différence du passage progressif en éventail déduit de l'analyse des anomalies magnétiques par Klitgord & Mammerickx (1982). Ces observations présentées ici conduisent à penser que la Dorsale Est-Pacifique est relativement récente à cette latitude et qu'elle est apparue par un saut de dorsale, recoupant à l'emporte-pièce les anciennes structures NW-SE (voir aussi Roump, 1981). Les grandes dépressions, parallèles aux rides océaniques entre le fossé et les rides orientées N-S liées à l'actuelle dorsale Est-Pacifique, sont une énigme : sont-elles d'origine entièrement océanique ou sont-elles liées à la subduction le long du fossé ?, seule une étude particulière, alliant la sismique réflexion et le magnétisme à la bathymétrie pourra peut-être le déterminer.

Les rides observées sur le mur interne du fossé autour des sites du Leg 66 se sont avérées être des rides d'accrétion sédimentaire : on en observe sur le fond du fossé, en cours de développement et à la base du mur interne (Roump, Renard et al., 1981 ; Shipley & Moore, 1984). En d'autres endroits du fossé on a pu voir également des rides et dépressions. Lorsque celles-ci sont relativement longues et basses et collées à la base du mur interne, on peut conclure qu'il s'agit également de rides sédimentaires (planches 7, 9 et 10), mais lorsque les perturbations sont plus importantes (planche 8) il est d'autant plus difficile de conclure que le levé ne montre pas l'intégralité de la zone et ses relations avec les zones l'encadrant et la croûte océanique. En fait il semble que les rides d'accrétion puissent exister tout le long du fossé, mais leur élévation les rend très souvent invisibles à la résolution du Seabeam, par exemple une petite ride au pied du mur interne a été observée lors d'un levé Deep-Tow dans la zone des forages du Leg 67 (Moore, Lonsdale & Von Huene) (fig. 4.17) alors que le levé Seabeam, même avec un contourage tous les 10 m, ne la montre pas (Aubouin, Stéphan et al., 1982) et que l'absence d'accrétion a été prouvée par un forage situé juste au-dessus d'elle (site 494). Mais l'existence de ces petites rides n'est sans doute qu'éphémère : les sédiments accrétés sont vraisemblablement emportés par la prochaine ride océanique arrivant à la base du mur interne.

Les différentes cartes de ce chapitre ont aussi montré que la direction de l'axe du fossé était une variable importante : quelquefois la variation est très progressive et peu apparente sur les cartes à grande échelle, parfois le changement de direction est brutal, en particulier à l'intersection de la Zone de Fracture Tehuantepec et à 88°W. L'image que donne par exemple les figures 4.9 et 4.13 est celle d'un fossé formé d'une succession de ce qui semble être des arcs de cercle. Cette observation et les calculs associés sont rassemblés dans les pages suivantes.



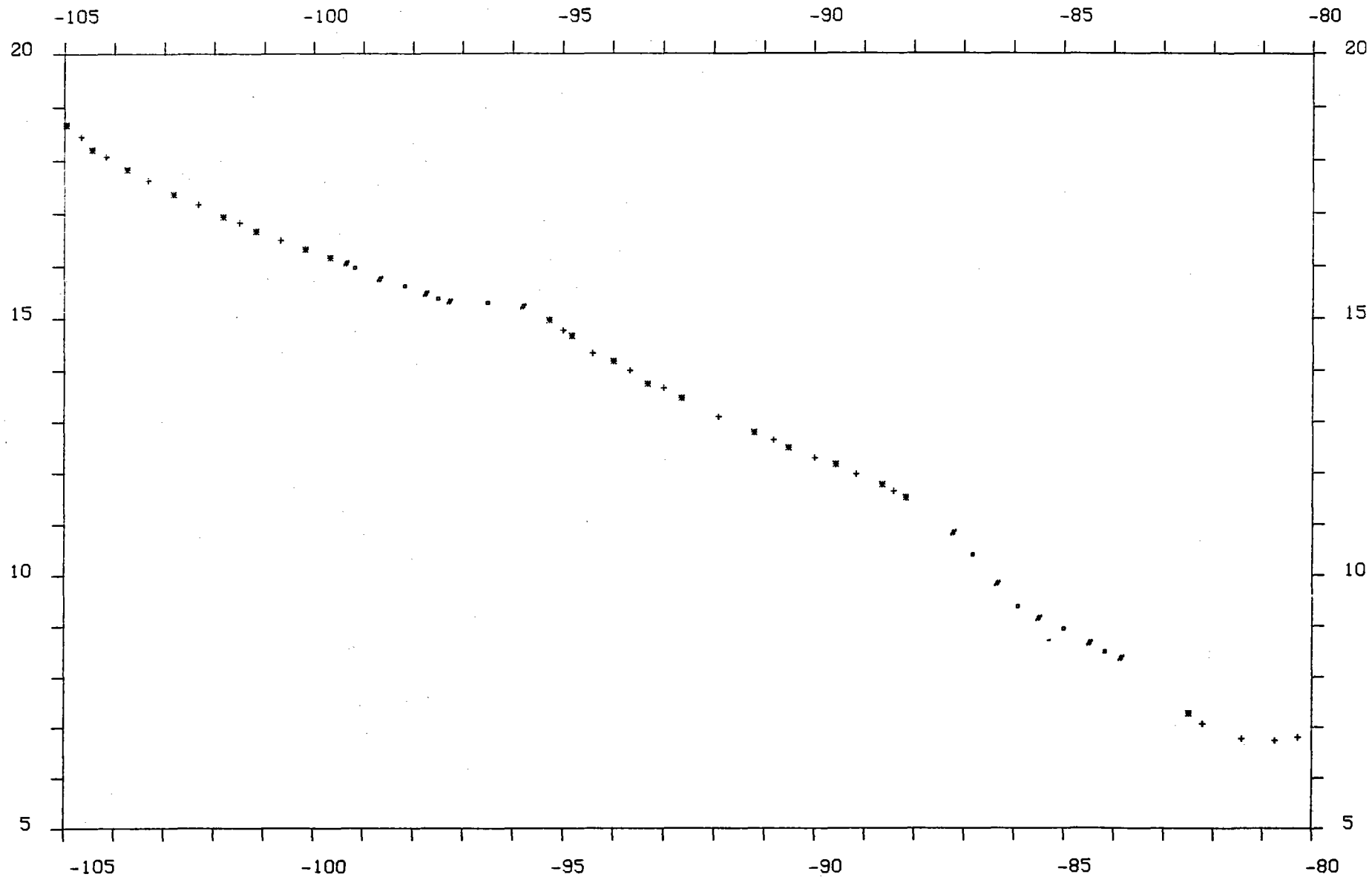
**Figure 4.17** : Coupe bathymétrique d'après les données Deep-Tow enregistrées lors de la campagne Pluto 1, le long d'une ligne passant par les sites de forage du Leg 67 du Glomar Challenger au large du Guatemala, et montrant une ride d'accrétion sédimentaire au pied du mur interne (d'après Moore, Lonsdale & Von Huene, 1982)

#### 4.3 - ETUDE DE LA FORME EN PLAN DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

La carte des points de rupture du fond du Fossé d'Amérique Centrale (fig. 4.18) montre que la trace de l'axe du fossé n'est pas rectiligne ni même formé d'un nombre limité de segments de droite mais qu'il est formé d'une série d'arcs de cercle.

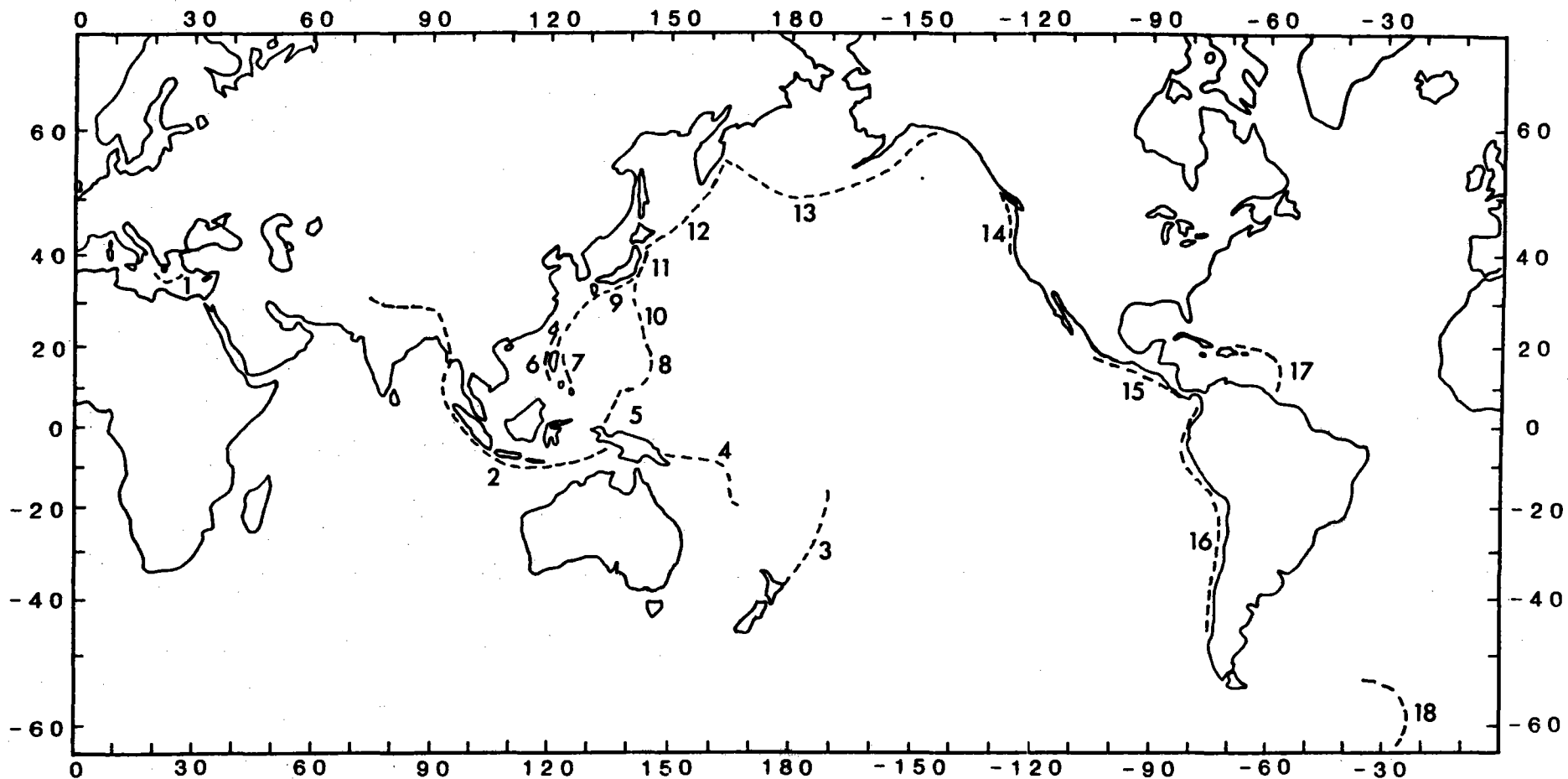
Une carte mondiale des fossés de subduction (fig. 4.19) montre que de nombreux fossés ont également une forme arquée : Aléoutiennes, Kouriles, Japon, Mariannes, Petites Antilles, Sandwich du Sud ...

La localisation du fond du Fossé d'Amérique Centrale étant très précise grâce au positionnement du navire par satellite et à la bathymétrie Seabeam, il a paru intéressant de vérifier si les figures observées étaient de véritables arcs de cercle.



**Figure 4.18** : Localisation des points le long du Fossé d'Amérique Centrale et jusqu'à 80°W, ayant servi au calcul des centres des petits cercles. Groupes Nord, Centre-Sud et Zone de Fracture de Panama-80°W : croix et astérisques (croix : point commun aux deux recherches, astérisque :

point supplémentaire utilisé pour la distance). Groupes Centre-Nord et Sud : dièses et points (point : point commun aux deux recherches, dièse : point supplémentaire utilisé pour la distance).



**Figure 4.19** : Carte mondiale des principaux fossés de subduction montrant la forme générale en arc de cercle.

1 : Grèce ; 2 : Indonésie ; 3 : Tonga-Kermadec ;  
 4 : Nouvelles Hébrides ; 5 : Yap ; 6 : Ouest-Philippines ; 7 : Est-Philippines ;

8 : Mariannes ; 9 : Nankai ; 10 : Bonin ;  
 11 : Honshu ; 12 : Kouriles-Kamchatka ;  
 13 : Aléoutiennes ; 14 : Oregon ; 15 : Amérique Centrale ; 16 : Pérou-Chili ; 17 : Antilles ;  
 18 : Sandwich du Sud

### 4.3.1 - Méthode d'étude

Vérifier si un certain nombre de points appartiennent à un même cercle signifie rechercher la position du point, centre du cercle, pour laquelle les différences entre les positions réelles de chaque point, et les points correspondants sur le cercle parfait, sont toutes nulles. Mais étant donnée la précision effective de la mesure et des différents calculs, on ne peut espérer qu'une valeur aussi proche de zéro que possible. En fait plutôt que la distance des points au cercle, on minimise le carré de cette distance dans la méthode appelée des moindres carrés, et c'est d'après les différences obtenues pour chaque point entre la distance réelle et le rayon du cercle parfait que l'on juge si les points appartiennent au même cercle et si l'erreur peut être considérée comme 'raisonnable' étant données les conditions de travail.

Une autre hypothèse a été utilisée simultanément : dans le détail, la trace de l'axe du fossé ne suit pas une courbe très régulière, mais est souvent découpée en segments de direction légèrement différente. Ces segments peuvent donc appartenir à des cercles ayant des courbures différentes, données par la direction des segments, mais ayant des centres communs. Le but du programme est alors la recherche de la position du centre des cercles pour lequel la somme des carrés des différences entre les directions observées et les directions calculées de ces cercles en ces points est minimale.

Deux programmes jumeaux ont donc été réalisés : l'un recherche le centre du cercle des points étant données la position de ces points, et l'autre recherche le centre des cercles étant données la position des points et la direction qui y est observée.

L'idée du deuxième type de calcul a été empruntée à la méthode employée par Le Pichon (1968) pour calculer le pôle de rotation des plaques à partir de points situés sur les zones de fracture et de la direction de ces dernières en ces points (programme DIRSMCRC, Annexe 5). Puis le calcul a été adapté à la recherche du centre d'un cercle unique (programme DISSMCRC, Annexe 5).

### 4.3.2. - Ajustement des cercles aux données observées

Quatre zones ont d'abord été définies le long de la partie active du Fossé d'Amérique Centrale. La ligne entre la Zone de Fracture de Panama et 80°W a été ajoutée car elle forme également un arc de cercle et a été un lieu de subduction actif de l'Océan Pacifique (Lowrie, 1978). Et pour comparaison avec l'arc de cercle supposé mieux défini d'une zone de fracture, les centres des cercles pour la Zone de Fracture de Rivera ont également été calculés.

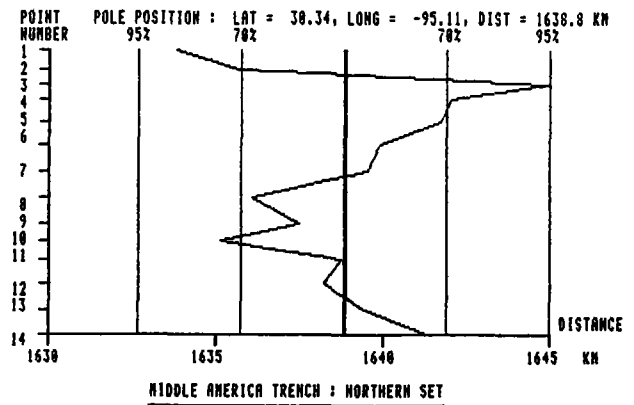
Pour le calcul à partir des directions, les points ont été choisis le long d'un segment de direction régulière. Pour le calcul à partir de la position des points uniquement, on a utilisé ces points augmentés des points de rupture déjà utilisés dans le dessin du profil du fond du fossé. Ce sont les cartes Seabeam qui ont servi à la localisation de tous les points le long du fossé actif et jusqu'au Sud de Panama (80°W). Mais aucun document Seabeam n'existant pour la Zone de Fracture de Rivera, on a utilisé la carte publiée par Mammerickx (1980).

# LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

Center position : Lat = 30.34 Long = -95.11  
 Mean distance to the pole : 1638.84 km

LAT deg	LONG deg	DPOLE km	DEACH km	CDIR deg	DDIST km
18.67	-104.97	1633.8	0.0	125.61	-5.08
18.45	-104.67	1635.7	39.8	124.34	-3.17
18.21	-104.45	1644.9	35.2	123.24	6.09
18.07	-104.17	1642.0	33.2	122.20	3.20
17.83	-103.75	1641.7	51.7	120.56	2.85
17.62	-103.33	1639.9	50.1	118.97	1.03
17.37	-102.83	1639.5	59.7	117.08	0.67
17.17	-102.33	1636.1	57.5	115.26	-2.79
16.94	-101.83	1637.5	58.9	113.39	-1.39
16.83	-101.50	1635.1	37.2	112.22	-3.71
16.67	-101.17	1638.7	39.3	110.97	-0.11
16.50	-100.67	1638.2	56.4	109.18	-0.64
16.33	-100.17	1639.4	56.5	107.39	0.58
16.17	-99.67	1641.3	56.1	105.61	2.47

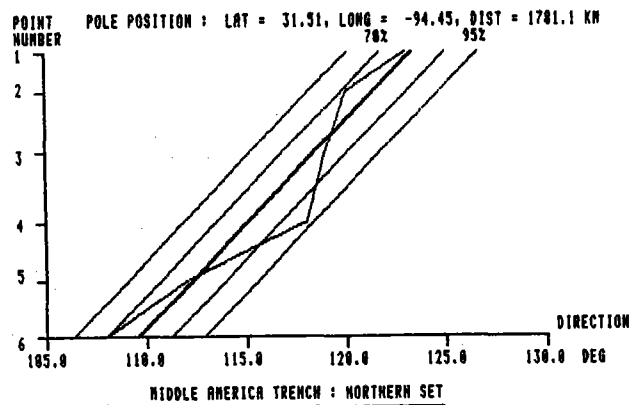
Standard deviation ; 3.08 km



Center position : Lat = 31.51 Long = -94.45  
 Mean distance to the pole : 1781.12 km

LAT deg	LONG deg	ODIR deg	DPOLE km	CDIR deg	DDIR deg
18.45	-104.67	123.00	1776.9	123.30	-0.30
18.07	-104.17	120.00	1784.3	121.36	-1.36
17.62	-103.33	119.00	1783.4	118.43	0.57
17.17	-102.33	118.00	1780.3	115.05	2.95
16.83	-101.50	112.00	1779.5	112.29	-0.29
16.50	-100.67	108.00	1782.3	109.53	-1.53

Standard deviation : 1.64 deg



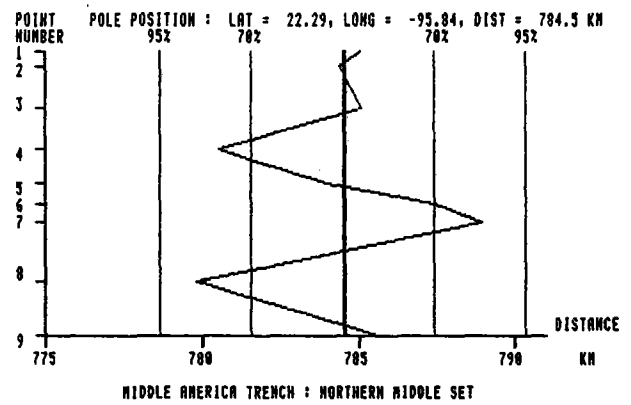
**Figure 4.20** : Groupe Nord. A : recherche du centre du cercle par la distance. B: recherche du centre du cercle par la direction. Valeurs et diagramme. DPOLE : distance au pôle ; DEACH : distance entre points successifs ; CDIR : direction calculée ; DDIST : différence de distance ; ODIR : direction mesurée ; DDIR : différence de direction

# LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

Center position : Lat = 22.29 Long = -95.84  
 Mean distance to the pole : 784.49 Km

LAT deg	LONG deg	DPOLE km	DEACH km	CDIR deg	DDIST km
16.05	-99.35	785.0	0.0	117.43	0.53
15.97	-99.17	784.3	20.9	115.94	-0.17
15.75	-98.67	785.1	58.8	111.81	0.57
15.62	-98.17	780.5	55.4	107.92	-4.01
15.47	-97.75	783.9	47.9	104.55	-0.59
15.38	-97.50	787.4	28.3	102.56	2.87
15.32	-97.27	788.9	25.4	100.78	4.42
15.30	-96.50	779.8	82.6	95.02	-4.72
15.22	-95.80	785.6	75.5	89.53	1.09

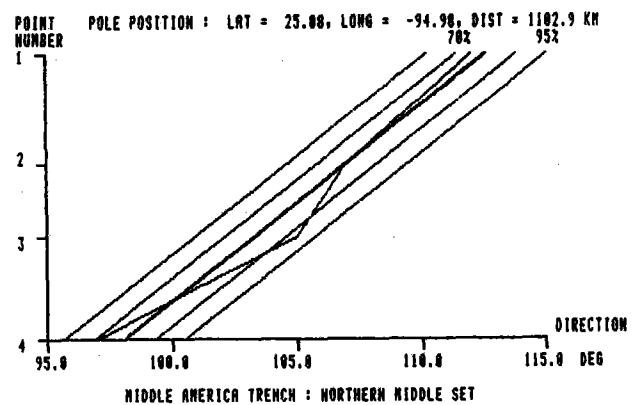
Standard deviation : 2.92 km



Center position : Lat = 25.08 Long = -94.98  
 Mean distance to the pole : 1102.88 km

LAT deg	LONG deg	ODIR deg	DPOLE km	CDIR deg	DDIR deg
15.97	-99.17	112.00	1101.9	112.60	-0.60
15.62	-98.17	107.00	1102.3	107.02	-0.02
15.38	-97.50	105.00	1109.3	103.28	1.72
15.30	-96.50	97.00	1098.1	98.05	-1.05

Standard deviation : 1.21 deg

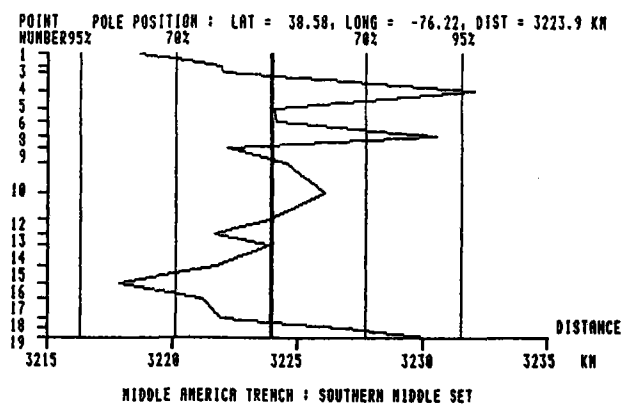


**Figure 4.21** : Groupe Centre-Nord. A : recherche du centre du cercle par la distance. B : recherche du centre du cercle par la direction. Valeurs et diagramme. DPOLE : distance au pôle ; DEACH : distance entre points successifs ; CDIR : direction calculée ; DDIST : différence de distance ; ODIR : direction mesurée ; DDIR : différence de direction

Center position : Lat = 38.58 Long = -76.22  
 Mean distance to the pole : 3223.95 km

LAT deg	LONG deg	DPOLE Km	DEACH Km	CDIR deg	DDIST Km
14.97	-95.28	3218.7	0.0	121.81	-5.26
14.77	-95.00	3221.9	37.2	121.28	-2.05
14.67	-94.83	3222.0	21.3	120.97	-1.98
14.33	-94.42	3232.1	58.0	120.15	8.13
14.18	-94.00	3224.0	48.1	119.48	0.10
14.00	-93.67	3224.2	40.8	118.90	0.21
13.75	-93.32	3230.5	46.8	118.23	6.56
13.67	-93.00	3222.1	35.4	117.75	-1.80
13.47	-92.65	3224.5	43.8	117.12	0.51
13.10	-91.92	3226.1	89.0	115.84	2.11
12.80	-91.22	3223.9	82.8	114.66	-0.07
12.65	-90.83	3221.6	45.4	114.00	-2.30
12.50	-90.53	3223.8	36.4	113.48	-0.14
12.30	-90.00	3221.8	61.6	112.59	-2.20
12.17	-89.58	3217.9	47.8	111.91	-6.09
11.98	-89.17	3221.1	49.1	111.19	-2.82
11.78	-88.65	3221.9	60.6	110.31	-2.07
11.65	-88.42	3226.8	28.7	109.90	2.89
11.53	-88.17	3230.2	30.2	109.44	6.29

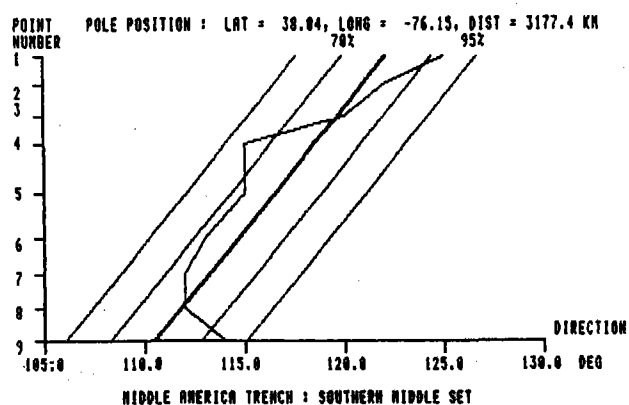
Standard deviation : 3.80 km



Center position : Lat = 38.04 Long = -76.15  
 Mean distance to the pole : 3177.43 km

LAT deg	LONG deg	ODIR deg	DPOLE km	CDIR deg	DDIR deg
14.77	-95.00	125.00	3180.1	122.09	2.91
14.33	-94.42	122.00	3189.2	120.94	1.06
14.00	-93.67	120.00	3180.1	119.67	0.33
13.67	-93.00	115.00	3177.0	118.49	-3.49
13.10	-91.92	115.00	3179.2	116.55	-1.55
12.65	-90.83	113.00	3173.3	114.68	-1.68
12.30	-90.00	112.00	3172.2	113.23	-1.23
11.98	-89.17	112.00	3170.5	111.81	0.19
11.65	-88.42	114.00	3175.3	110.48	3.52

Standard deviation : 2.27 deg



**Figure 4.22** : Groupe Centre-Sud. A : recherche du centre du cercle par la distance. B: recherche du centre du cercle par la direction. Valeurs et diagramme. DPOLE : distance au pôle ; DEACH : distance entre points successifs ; CDIR : direction calculée ; DDIST : différence de distance ; ODIR : direction mesurée ; DDIR : différence de direction

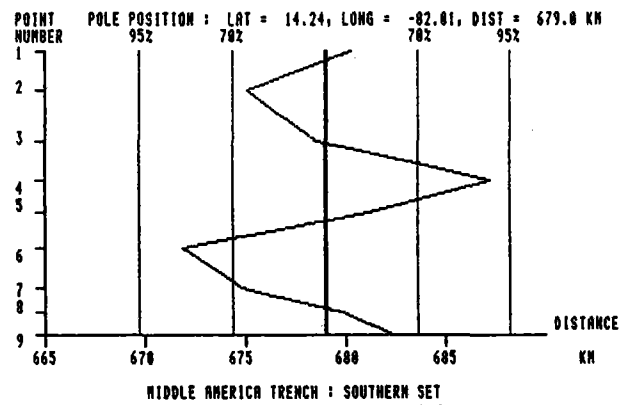


# LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

Center position : Lat = 14.24 Long = -82.01  
 Mean distance to the pole : 678.99 km

LAT deg	LONG deg	DPOLE Km	DEACH Km	CDIR deg	DDIST Km
10.83	-87.22	680.3	0.0	145.62	1.28
10.40	-86.83	675.1	64.0	140.31	-3.94
9.83	-86.33	679.5	83.7	133.34	-0.48
9.38	-85.92	687.3	67.1	127.84	8.27
9.15	-85.50	681.1	52.5	123.54	2.15
8.95	-85.00	671.8	59.1	118.69	-7.18
8.67	-84.48	674.8	64.9	113.26	-4.21
8.50	-84.17	679.8	38.8	110.05	0.78
8.37	-83.85	682.3	37.9	106.92	3.33

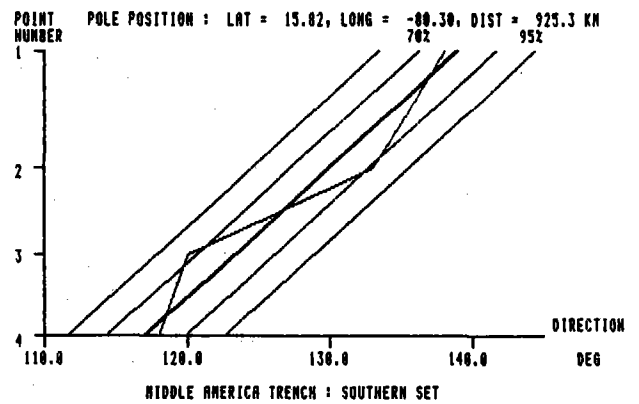
Standard deviation : 4.63 km



Center position : Lat = 15.82 Long = -80.30  
 Mean distance to the pole : 925.29 km

LAT deg	LONG deg	ODIR deg	DPOLE Km	CDIR deg	DDIR deg
10.40	-86.83	138.00	928.2	138.86	-0.86
9.38	-85.92	133.00	939.7	129.84	3.16
8.95	-85.00	120.00	917.9	123.28	-3.28
8.50	-84.17	118.00	915.4	116.95	1.05

Standard deviation : 2.74 deg

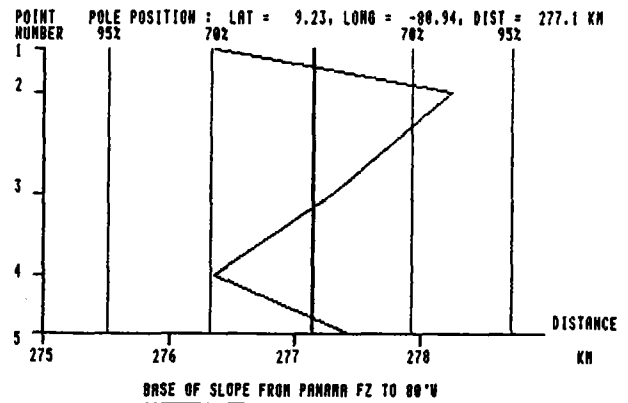


**Figure 4.23** : Groupe Sud. A : recherche du centre du cercle par la distance. B : recherche du centre du cercle par la direction. Valeurs et diagramme. DPOLE : distance au pôle ; DEACH : distance entre points successifs ; CDIR : direction calculée ; DDIST : différence de distance ; ODIR : direction mesurée ; DDIR : différence de direction

Center position : Lat = 9.23 Long = -80.94  
 Mean distance to the pole : 277.14 Km

LAT deg	LONG deg	DPOLE km	DEACH km	CDIR deg	DDIST km
7.28	-82.50	276.4	0.0	128.26	-0.79
7.07	-82.22	278.3	38.6	120.31	1.12
6.78	-81.42	277.3	94.0	100.94	0.16
6.75	-80.75	276.4	74.0	85.66	-0.79
6.82	-80.28	277.4	52.4	74.88	0.30

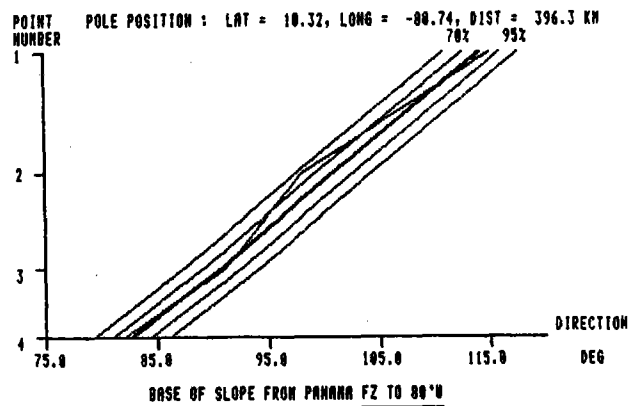
Standard deviation : 0.81 km



Center position : Lat = 10.32 Long = -80.74  
 Mean distance to the pole : 396.32 Km

LAT deg	LONG deg	ODIR deg	DPOLE km	CDIR deg	DDIR deg
7.07	-82.22	115.00	396.0	114.13	0.87
6.78	-81.42	98.00	400.4	100.72	-2.72
6.75	-80.75	91.00	396.7	90.65	0.35
6.82	-80.28	82.00	392.2	82.61	-0.61

Standard deviation : 1.70 deg



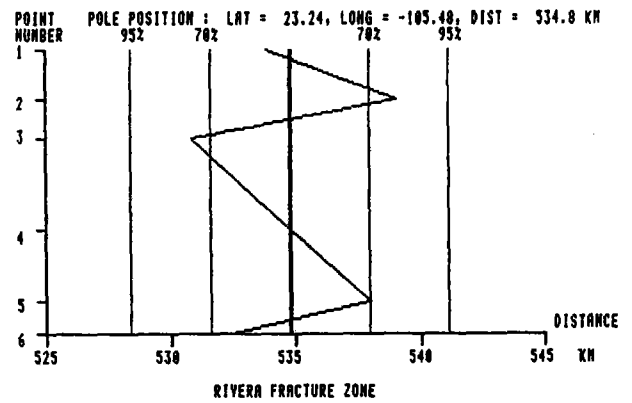
**Figure 4.24** : Groupe Panama-80°W. A : recherche du centre du cercle par la distance. B : recherche du centre du cercle par la direction. Valeurs et diagramme. DPOLE : distance au pôle ; DEACH : distance entre points successifs ; CDIR : direction calculée ; DDIST : différence de distance ; ODIR : direction mesurée ; DDIR : différence de direction

# LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

Center position : Lat = 23.24 Long = -105.48  
 Mean distance to the pole : 534.81 km

LAT deg	LONG deg	DPOLE km	DEACH km	CDIR deg	DDIST km
18.65	-107.00	533.8	0.0	106.92	-0.98
18.77	-107.50	539.0	54.2	112.52	4.23
19.00	-107.84	530.8	43.9	117.03	-4.00
19.46	-108.68	534.8	101.8	127.69	-0.00
19.90	-109.25	538.0	77.1	135.71	3.17
20.17	-109.44	532.4	35.9	139.44	-2.42

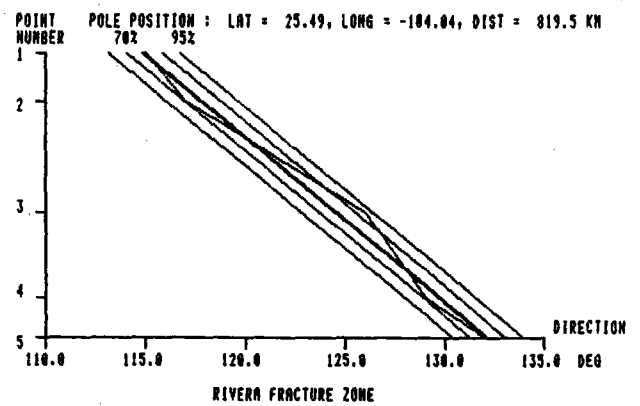
Standard deviation : 3.19 km



Center position : Lat = 25.49 Long = -104.04  
 Mean distance to the pole : 819.45 km

LAT deg	LONG deg	ODIR deg	DPOLE km	CDIR deg	DDIR deg
18.77	-107.50	115.00	827.1	114.87	0.13
19.00	-107.84	117.00	820.1	117.76	-0.76
19.46	-108.68	126.00	821.9	124.56	1.44
19.90	-109.25	129.00	818.9	129.72	-0.72
20.17	-109.44	132.00	809.2	132.08	-0.08

Standard deviation : 0.89 deg



**Figure 4.25** : Zone de Fracture de Rivera. A : recherche du centre du cercle par la distance. B : recherche du centre du cercle par la direction. Valeurs et diagramme.

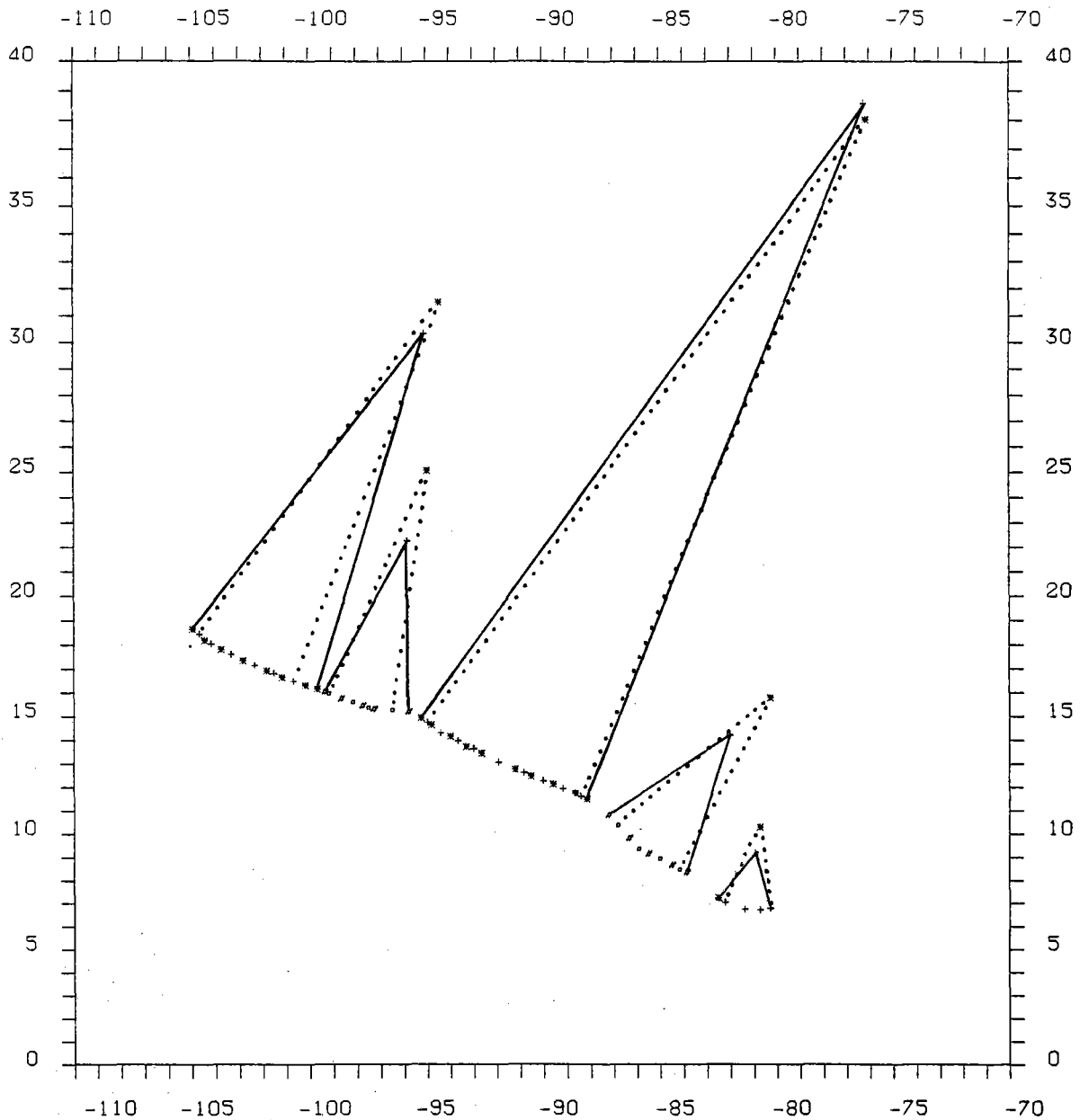
DPOLE : distance au pôle ; DEACH : distance entre points successifs ; CDIR : direction calculée ; DDIST : différence de distance ; ODIR : direction mesurée ; DDIR : différence de direction

Les figures 4.20 à 4.25 donnent les résultats des programmes DISSMCRC et DIRSMCRC sont forme de tableaux et de diagrammes. La première observation générale que l'on peut faire est que tous les dessins se ressemblent, et les valeurs sont toutes du même ordre de grandeur : aucune différence existe entre le fossé actif, le fossé 'fossile' et la zone de fracture. Le groupe de données présentant le plus petit écart-type pour les distances est celui des points situés de la Zone de Fracture de Panama à 80°W (0.81 km), puis viennent par valeur croissante d'écart-type : le groupe Centre-Nord du Fossé (2.92 km), le groupe Nord (3.08 km), la Zone de Fracture de Rivera (3.19 km), le groupe Centre-Sud (3.80 km) et enfin le groupe Sud (4.63 km). Pour les directions, l'ordre est un peu différent : la Zone de Fracture de Rivera (0.89°), le groupe Centre-Nord (1.21°), le groupe Nord (1.64°), la Zone de Fracture de Panama-80°W (1.70°), le groupe Centre-Sud (2.27°) et le groupe Sud (2.74°). La différence maximale est pour les distances d'environ 8 km, et pour les directions d'environ 3.5°. On remarque aussi que si la distance moyenne au pôle du (ou des) cercle(s) est très variable d'un groupe à l'autre, pour un même groupe de données les deux distances calculées avec les deux hypothèses sont très proches (fig. 4.26) et d'autant plus proches que le nombre de points utilisés est plus élevé. On observe que ce sont les cercles du groupe Centre-Sud qui ont les rayons les plus importants, c'est aussi le segment du fossé où la profondeur est la plus grande (fig. 4.27). Cette figure montre également une bonne corrélation visuelle entre la profondeur et la limite des arcs de cercles : la bathymétrie de la section Centre-Nord est beaucoup plus irrégulière que celle de la section Nord par exemple.

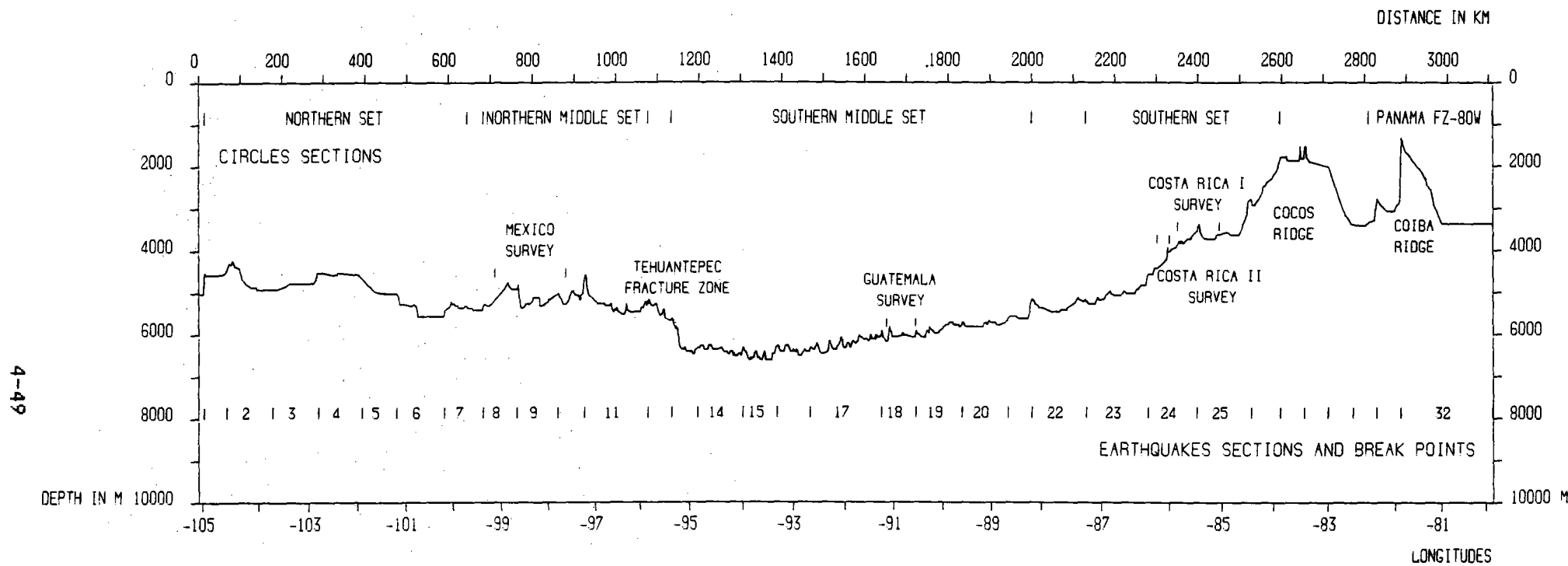
#### 4.3.3 - Relation profondeur moyenne des groupes de données - rayon des cercles

A partir de cette dernière observation il a paru intéressant de reporter sur un diagramme rectangulaire les rayons des cercles en fonction de la profondeur moyenne des arcs de cercles correspondants. La profondeur moyenne et l'écart-type ont été calculés pour chaque arc à partir des données utilisées pour dessiner le profil du fond du fossé avec le programme MEANDEPT (Annexe 6) : les profondeurs ont été intégrées en fonction de la distance avant le calcul de la moyenne. Pour l'arc de cercle entre la Zone de Fracture de Panama et 80°W les données bathymétriques n'ont pas été seules utilisées : on a également reporté la profondeur qu'avait le fossé au moment de l'arrêt de la subduction en retirant la plus grande partie des sédiments (d'après les coupes de sismique réflexion de Lowrie (1978), l'épaisseur à retirer peut être estimée à 900 m environ). En raison de l'absence de carte assez précise pour le calcul de la profondeur moyenne le long de la Zone de Fracture de Rivera, celle-ci a été estimée à 4300 m avec un écart-type de 500 m. Tous les points réels augmentés du point corrigé pour le segment Zone de Fracture de Panama-80°W figurent sur le graphique de la figure 4.28. La zone d'erreur le long de l'axe des profondeurs provient de l'écart-type calculé avec le programme MEANDEPT, seul le point corrigé n'a pas de zone d'erreur. Pour le rayon, le trait relie les valeurs données par les deux méthodes : distances et directions. On remarque que les points 1, 3, 4, 5 et 6 sont à peu près alignés sur une droite passant par le centre des croix. Après un calcul d'ajustement de droite par la méthode des moindres carrés, on s'aperçoit que l'équation de la droite est très stable et change peu avec les données du fossé 'fossile' et de la zone de fracture (fig. 4.28). Il est difficile cependant de se rendre compte de l'importance réelle de l'erreur de positionnement du centre du cercle qui peut être grande (Al-Chalabi, 1971) car le système est sans doute

## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

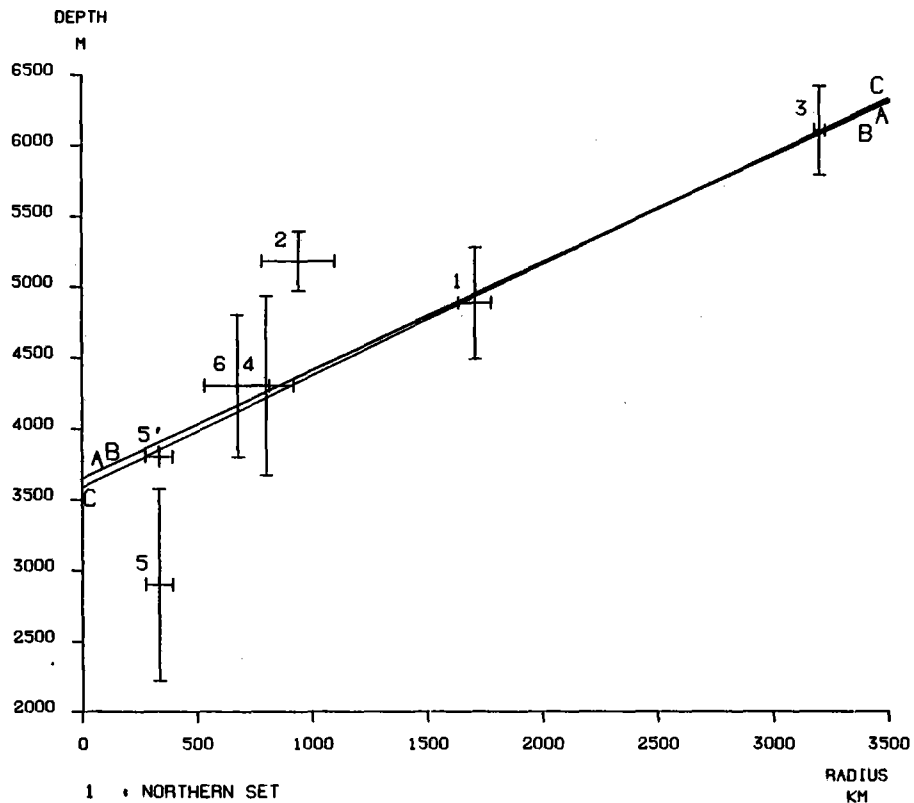


**Figure 4.26** : Localisation des points le long du Fossé d'Amérique Centrale et jusqu'à 80°W, ayant servi au calcul des centres des petits cercles, et position des centres de ces cercles. Groupes Nord, Centre-Sud et Zone de Fracture de Panama-80°W : croix et astérisques (croix : point commun aux deux recherches, astérisque : point supplémentaire utilisé pour la distance). Groupes Centre-Nord et Sud : dièses et points (point : point commun aux deux recherches, dièse : point supplémentaire utilisé pour la distance). Les centres des cercles marqués par une croix et reliés aux points du fossé par un trait plein sont ceux calculés à partir des données de distance, les centres marqués par des astérisques et reliés aux points du fossé par des pointillés sont ceux calculés à partir des données de direction



**Figure 4.27** : Profil longitudinal de l'axe du Fossé d'Amérique Centrale, avec les limites des arcs de cercles et des sections de séismes, et avec la localisation des principaux levés et des principaux reliefs

# LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE



- 1 • NORTHERN SET
- 2 • NORTHERN MIDDLE SET
- 3 • SOUTHERN MIDDLE SET
- 4 • SOUTHERN SET
- 5 • PANAMA FZ TO 80W
- 5' • PANAMA FZ TO 80W (CORRECTED)
- 6 • RIVERA FZ (DEPTH ESTIMATED)

### LEAST SQUARE FITTING LINES

- LINE AA : POINTS 1, 3, 4, 5', 6  

$$\text{RADIUS}_{\text{KM}} = 1.295 * \text{DEPTH}_{\text{M}} - 4714_{\text{KM}}$$
CORRELATION COEFFICIENT R12 = 0.9886
- LINE BB : POINTS 1, 3, 4  

$$\text{RADIUS}_{\text{KM}} = 1.310 * \text{DEPTH}_{\text{M}} - 4776_{\text{KM}}$$
CORRELATION COEFFICIENT R12 = 0.9961
- LINE CC : POINTS 1, 3, 4, 5'  

$$\text{RADIUS}_{\text{KM}} = 1.268 * \text{DEPTH}_{\text{M}} - 4535_{\text{KM}}$$
CORRELATION COEFFICIENT R12 = 0.9960

**Figure 4.28** : Relation entre la profondeur moyenne des arcs de cercles (fond du fossé) et rayons des arcs (voir texte pour détails sur les croix).

- 1 : groupe Nord ; 2 : groupe Centre-Nord ;
  - 3 : groupe Centre-Sud ; 4 : groupe Sud ;
  - 5 : groupe Panama-80°W ; 5' : idem corrigé ;
  - 6 : Zone de Fracture de Rivera
- Equations des droites de moindres carrés.

également dynamique dans le temps, tout en tendant vraisemblablement au cercle parfait. Le non-alignement de la zone 2 (Centre Nord) est à discuter.

4.3.4 - Discussion

Le fait que les données du fossé actif, à l'exception de la zone 2, et du fossé 'fossile' forment un groupe uniforme en s'alignant sur une même droite sera discuté après le cas de la Zone de Fracture de Rivera dont la position du point profondeur moyenne-rayon de courbure, situé sur la courbe des fossés pose un problème.

4.3.4.1 - la Zone de Fracture de Rivera

Le fait que les données de la Zone de Fracture de Rivera soient situées sur la même droite que celle des fossés pose un problème car habituellement le sillon associé à la zone de fracture, lorsqu'il existe, est à peine plus profond que la croûte océanique la plus ancienne (par exemple sur le profil le long du fossé (fig. 4.12) il n'y a pas de sillon associé à la Zone de Fracture Tehuantepec) alors que pour la Zone de Fracture de Rivera la différence entre le fond du sillon et le rebord peut atteindre 2500 m (d'après carte de Mammerickx, 1980). La seule explication plausible à ce phénomène semble être que la zone de fracture s'est mise en place dans une portion de l'ancien fossé de subduction de la plaque Pacifique au moment de l'ouverture du Golfe de Californie. Le fait que la Zone de Fracture de Rivera ne se soit pas formée de la même manière que les autres zones de fracture du Golfe de Californie semble confirmé par le calcul, à partir des directions, du centre du cercle commun aux Zones de Fracture Rivera et Tamayo (fig. 4.29) : l'écart-type est beaucoup plus élevé que les autres calculs présentés (fig. 4.20 à 4.25). De plus les

Center position : Lat = 46.62 Long = -83.89  
 Mean distance to the pole : 3627.52 Km

LAT deg	LONG deg	ODIR deg	DPOLE Km	CDIR deg	DDIR deg
18.77	-107.50	115.00	3769.8	119.53	-4.53
19.00	-107.84	117.00	3765.4	120.00	-3.00
19.46	-108.68	126.00	3766.1	121.09	4.91
19.90	-109.25	129.00	3755.6	121.93	7.07
20.17	-109.44	132.00	3740.8	122.30	9.70
22.98	-108.13	115.00	3405.1	123.59	-8.59
23.11	-108.40	121.00	3408.9	123.95	-2.95
23.33	-108.75	123.00	3408.4	124.47	-1.47

Standard deviation : 6.35 deg

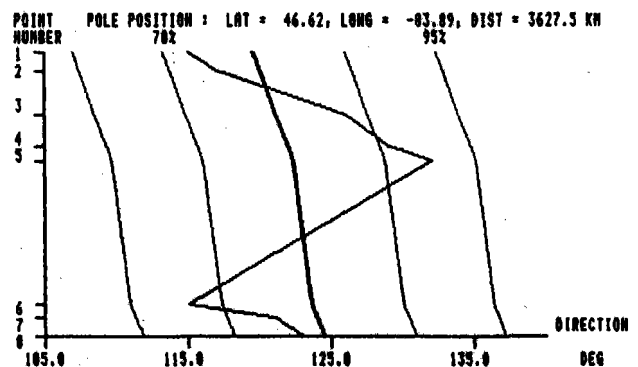


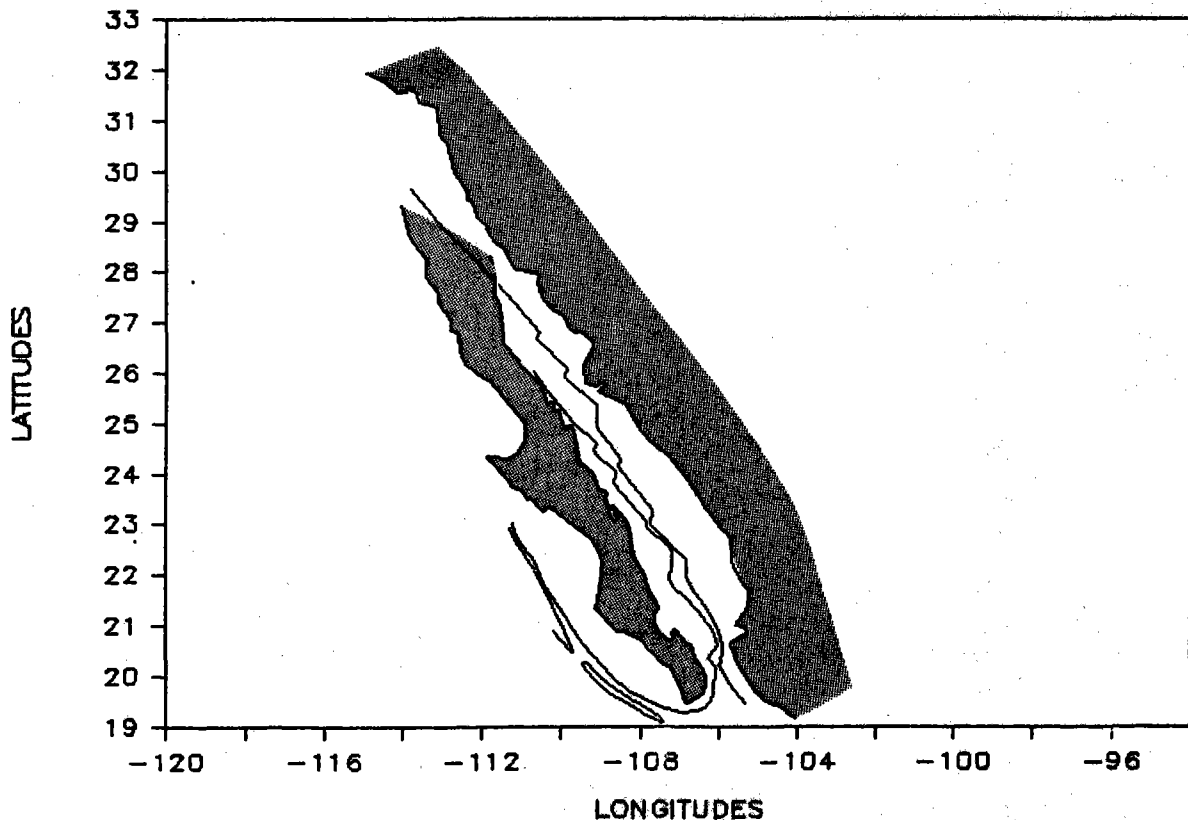
Figure 4.29 : Tableau et figure représentant la recherche d'un pôle de rotation unique pour les Zones de Fracture Rivera et Tamayo à partir des données de direction (LAT : latitude, LONG : longitude, ODIR : direction observée, DPOLE : distance au pôle, CDIR : direction calculée, DDIR : différence de direction (observée - calculée))

points ont été tous relevés à l'Est de l'axe de la dorsale pour Rivera et à l'Ouest de celui-ci pour Tamayo, si les deux zones de fracture



## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

possédaient le même pôle de rotation, les valeurs de direction seraient en continuité lorsque l'on annule la distance entre le dernier point de la Zone de Fracture de Rivera et le premier point de la Zone de Fracture de Tamayo. On remarque également que sur la carte bathymétrique générale (fig. 4.9), la trace de l'ancien fossé de subduction est encore visible le long de la Basse Californie mais seulement jusqu'à 24°N, celle-ci étant totalement invisible plus au Sud. L'hypothèse que la Zone de Fracture de Rivera est la trace d'un ancien fossé de subduction est étayée par la reconstitution de la figure 4.30 où le Golfe de Californie a été simplement refermé grossièrement : la Zone de Fracture de Rivera est exactement située au pied de la pente continentale du Sud de la péninsule de Basse Californie. Ceci signifie dans ce cas que cette zone de fracture s'est sans doute très peu déplacée dans le temps.



**Figure 4.30** : Essai schématique de fermeture du Golfe de Californie montrant que la pointe Sud de la Basse Californie peut s'emboîter assez bien entre la côte du Mexique près des Iles Tres Marias et la position actuelle de la Zone de Fracture de Rivera, et qu'alors cette dernière se trouve prolonger la trace de l'ancien fossé de subduction visible en partie au large de la Basse Californie

### 4.3.4.2 - les fossés de subduction

L'alignement des points profondeur moyenne de l'arc-rayon du cercle inscrit pour tous les segments du fossé, lorsque la correction est apportée pour le segment au large de Panama, (sauf pour le segment 2), conduit à penser que cette relation est liée aux propriétés physiques de

la plaque plongeante. La principale propriété d'une plaque est son épaisseur, variable avec la distance à l'axe d'accrétion, elle dépend directement de son âge (Parker & Oldenburg, 1973 pour le cas général ; Bodine et al, 1981, pour l'épaisseur de la plaque élastique aux fossés de subduction). On sait d'autre part que le rayon de courbure maximale que peut prendre un objet avant de se rompre dépend de son épaisseur et de son élasticité : à élasticité égale un objet épais se courbera beaucoup moins qu'un objet mince. Il semble donc que les sections de plaque plongeante forment en plan des arcs de cercle dont les rayons de courbure dépendent directement de l'épaisseur de la lithosphère ; l'épaisseur étant liée à l'âge de la plaque, on peut également dire que le rayon de courbure est lié à l'âge de la plaque océanique ; la profondeur des fossés étant également liée à l'âge la lithosphère (Grelet & Dubois, 1982 ; Hilde & Uyeda, 1983), le rayon de courbure et la profondeur sont également liés.

D'après les observations précédentes on peut déduire que l'arrêt de la subduction le long du segment Zone de Fracture de Panama - 80°W s'est sans doute effectué lorsque la plaque était relativement jeune (au plus quelques millions d'années).

Si l'on considère que les courbures observées sont les courbures maximales le cas du segment Centre-Nord est très particulier : le rayon de courbure est trop faible pour la profondeur observée (la plaque a une épaisseur plus faible que celle que l'on pourrait déduire par la relation profondeur-âge-épaisseur), ce qui signifie : soit la plaque s'est amincie en gardant sa profondeur d'origine, soit elle s'est formée ou a été forcée à une profondeur plus importante. D'autres observations ont été faites concernant la localisation des séismes dans le plan de subduction (pages suivantes) et font apparaître cette région comme très particulière, en conséquence la discussion est reportée à cette partie.

#### 4.4 - ETUDE GENERALE DE LA SEISMICITE DANS LA REGION D'AMERIQUE CENTRALE

Les séismes utilisés dans cette étude ne concernent que les événements catalogués par le NGSDC durant la période 1961-1979. L'année 1961 a été choisie parce qu'elle correspond au début de la mise en place du réseau international de sismographes, la localisation étant un critère important de cette partie. La comparaison avec l'étude de Burbach, Frohlich et al. (1984) restera difficile étant donné le faible nombre d'événements utilisés dans leur étude (220) comparé à celui utilisé dans ce chapitre (près de 3000 pour la même zone), même si leur meilleure localisation compense en partie le manque de précision des nombreux séismes utilisés ici.

Les données utilisées sont uniquement la latitude, la longitude, la profondeur (les séismes dont la profondeur réelle était de 33 km ont été copiés à 34 km parce que la profondeur habituelle de normalisation est également de 33 km, cette modification rend possible le traitement informatique l'ajout d'une colonne supplémentaire et au prix d'une erreur minime), et la magnitude la plus élevée de celles enregistrées (dans 94% des cas c'est celle de l'onde primaire).

L'étude est divisée en deux parties : d'une part une carte de la magnitude maximale a été réalisée pour toute la région comprise entre l'Equateur et

## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

24°N et entre 80°W et 115°W, d'autre part 27 coupes de séismes et des blocs-diagrammes ont été dessinés montrant le plan de subduction entre la région de Manzanillo et la Zone de Fracture de Panama.

### 4.4.1 - Carte de la magnitude maximale de la région Amérique Centrale

La magnitude est un paramètre important dans l'étude de la sismicité d'une région et sa cartographie, plus que celle de la simple localisation des séismes, permet de juger de l'activité sismique d'une région.

La carte a été construite en utilisant la méthode de Markus Båth (1982, 1983) simplifiée (la région étant proche de l'Equateur, la différence de longueur entre un degré de latitude et un degré de longitude n'a pas été prise en compte) : l'énergie de chaque séisme est calculée en fonction de sa magnitude et répartie de façon gaussienne sur une grille géographique, ayant un pas de 0.2 degré, centrée sur l'épicentre (voir programme SEISMES, Annexe A10). La somme des énergies de tous les séismes est effectuée sur toute la grille, puis la formule est inversée pour obtenir la magnitude correspondante qui est la magnitude maximale cumulée pour la période considérée.

Après le report des magnitudes sur une carte, les données ont été contourées manuellement.

La carte des magnitudes (fig. 4.31) montre que les magnitudes supérieures à 5 forment une bande grossièrement parallèle au Fossé d'Amérique Centrale, parsemée de petites zones ayant une magnitude supérieure ou égale à 7. L'axe de cette bande formée par les zones de magnitude supérieure à 6, est divisé en 2 parties se chevauchant en longitude vers 86°W. De la région de Manzanillo (104°W) au Golfe de Tehuantepec l'axe se situe à environ 120 km de l'axe du fossé, et la zone sismique au Nord du fossé s'élargit de 220 km à 365 km environ. Du Golfe de Tehuantepec à 86°W l'axe des fortes magnitudes s'éloigne régulièrement de l'axe du fossé d'Ouest en Est (de 85 km à 180 km environ), et la largeur de la zone sismique diminue d'Ouest en Est (de 370 km à 215 km environ). De 86°W à la Zone de Fracture de Panama l'axe principal reste à une distance à peu près constante de l'axe du fossé (95 km) et la largeur varie peu également (265 km environ). L'élargissement de la zone d'activité sismique au centre de la figure peut avoir plusieurs explications, mais seules les coupes peuvent montrer l'organisation de ces séismes dans le sens vertical, nécessaire à toute interprétation.

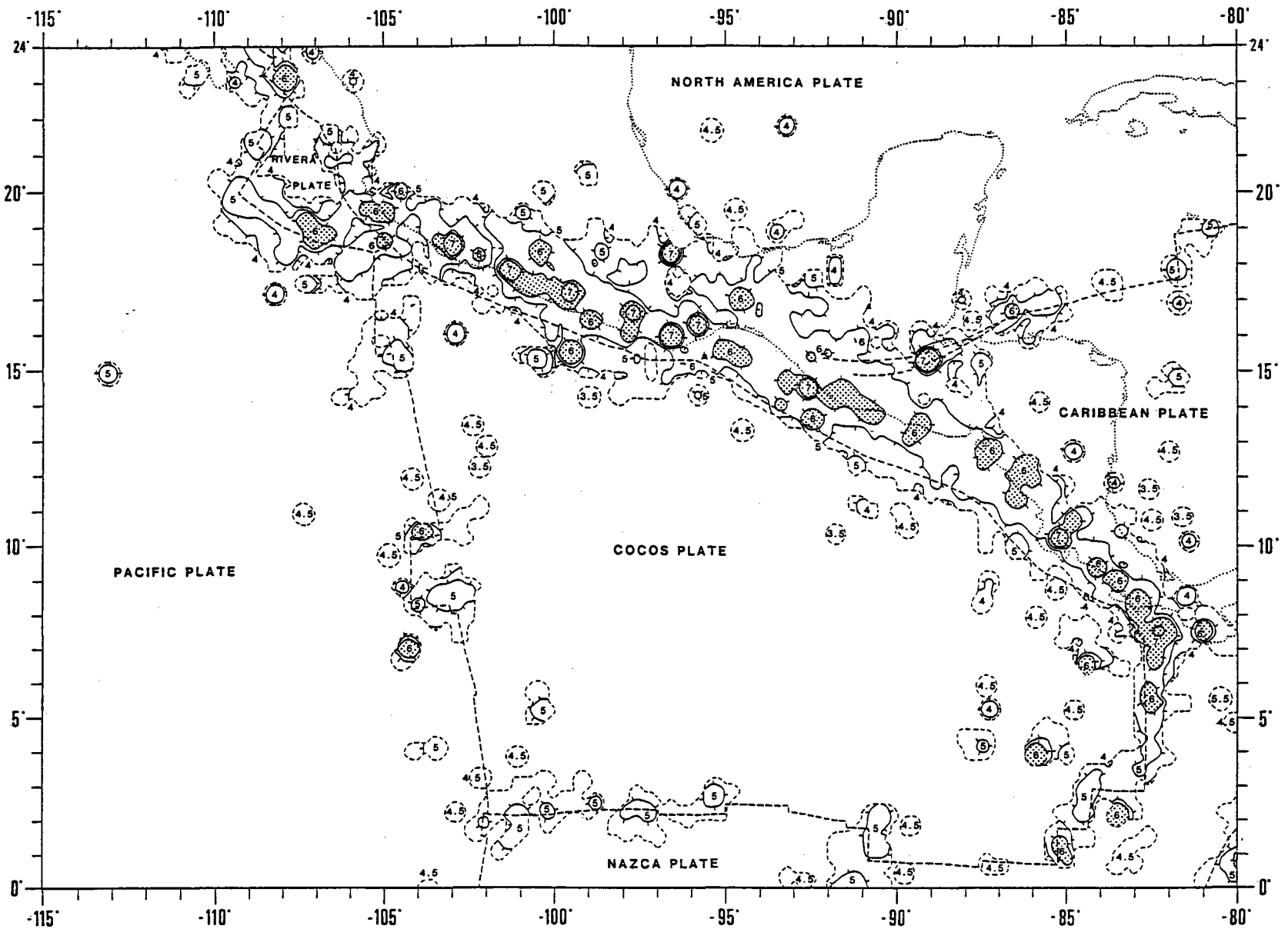
On remarque aussi que la zone sismique s'arrête à l'axe du fossé, sauf entre 101°W et la Zone de Fracture de Tehuantepec, où elle déborde largement sur la plaque océanique (200 km environ) avec des séismes assez importants. Une autre zone d'activité sismique anormale est visible vers 7°N-84-85°W, elle est située à l'extrémité de la Ride Cocos.

Le système transformant Zone de Fracture Oriente-Failles Polochic et Motagua est bien marqué mais discontinu.

La Zone de Fracture de Rivera présente une zone d'activité sismique anormalement large (200 km) en comparaison des autres zones de fracture (Panama par exemple : 95 km).

**Figure 4.31 :**  
 Carte de la  
 magnitude  
 maximale  
 des séismes  
 dans la  
 région  
 d'Amérique  
 Centrale.  
 Tiretés fins :  
 limite des  
 zones  
 sismiques.  
 Tiretés épais :  
 limites de  
 plaques.  
 Pointillés :  
 trait de côte.  
 Tramé : zone  
 de magnitude  
 supérieure à  
 6.

4-55



LE FOSSE D'AMÉRIQUE CENTRALE

## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

### 4.4.2 - La troisième dimension du plan de subduction de la plaque Cocos sous l'Amérique Centrale : les coupes et les blocs-diagrammes

#### 4.4.2.1 - les sections

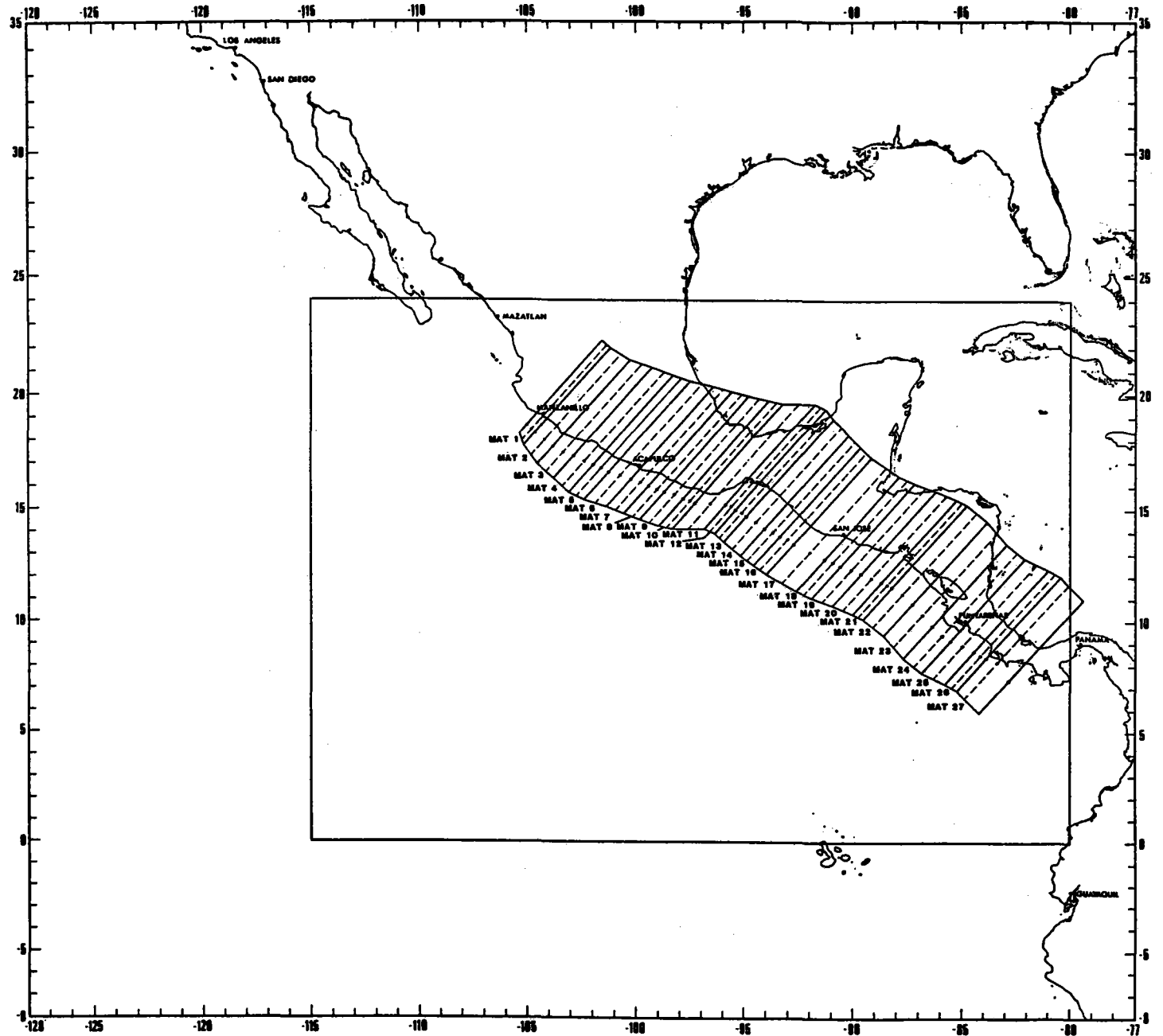
Les coupes sont le premier type de représentation capable de résoudre le problème de la troisième dimension associé à toute étude de subduction.

Utilisant l'hypothèse que la plaque océanique, même subductée, était divisée en secteurs séparés par les zones de fractures, les limites latérales des sections ont la direction de la Zone de Fracture de Tehuantepec (N42°E), de plus cette direction est peu différente en moyenne de la normale à l'axe du fossé (surtout au Sud de la Zone de Fracture de Tehuantepec) et elle est aussi proche de la direction de convergence de la plaque Cocos et des plaques Amérique du Nord et Caraïbes d'après le modèle RM2 de Minster et Jordan (voir le début de ce chapitre). La localisation exacte des limites latérales a été déterminée en choisissant les points de rupture le long du profil en long de l'axe du Fossé d'Amérique Centrale. La longueur des sections de chaque côté du fossé a été choisie pour inclure tous les événements liés à la subduction. Les positions exactes des coins des sections et les coordonnées des lignes de projection de chaque section ont été calculées par le programme POINTS (Annexe A7). Il a été également nécessaire de calculer les distances de projection maximale et minimale des coins de chaque section sur sa ligne de projection pour déterminer la longueur réelle de chaque coupe en utilisant le programme PROPOINT (Annexe A7). La figure 4.32 donne la localisation des 27 sections et lignes de projection établies le long du Fossé d'Amérique Centrale, ainsi que la limite de la carte des magnitudes (fig. 4.31) (voir tableau 4.1 pour les coordonnées précises).

NOM	COIN W		LIMITES DE LA SECTION				COIN S		LIGNE DE PROJECTION			
			COIN N		COIN E				ORIGINE		SECOND POINT	
	lat	long	lat	long	lat	long	lat	long	lat	long	lat	long
MAT1	18.314	-105.301	22.335	-101.545	22.025	-101.135	17.785	-105.096	18.48	-104.75	22.135	-101.335
MAT2	17.785	-105.096	22.025	-101.135	21.498	-100.247	16.966	-104.480	18.04	-104.14	21.695	-100.725
MAT3	16.966	-104.480	21.498	-100.247	21.171	-99.228	16.346	-103.735	17.52	-103.25	21.175	-99.835
MAT4	16.346	-103.735	21.171	-99.228	20.834	-98.270	15.717	-103.050	17.10	-102.33	20.755	-99.915
MAT5	15.717	-103.050	20.834	-98.270	20.587	-97.501	15.397	-102.350	16.83	-101.54	20.485	-98.125
MAT6	15.397	-102.350	20.587	-97.501	20.360	-96.413	15.097	-101.330	16.50	-100.68	20.155	-97.265
MAT7	15.097	-101.330	20.360	-96.413	20.133	-95.534	14.797	-100.520	16.18	-99.76	19.835	-96.345
MAT8	14.797	-100.520	20.133	-95.534	19.936	-94.756	14.527	-99.810	15.87	-99.00	19.525	-95.585
MAT9	14.527	-99.810	19.936	-94.756	19.728	-93.827	14.247	-98.950	15.64	-98.22	19.295	-94.805
MAT10	14.247	-98.950	19.728	-93.827	19.601	-93.199	14.120	-98.321	15.37	-97.51	19.025	-94.095
MAT11	14.120	-98.321	19.601	-93.199	19.604	-91.710	14.123	-96.833	15.27	-96.53	18.925	-93.115
MAT12	14.123	-96.833	19.604	-91.710	19.384	-91.230	13.903	-96.353	15.12	-95.57	18.775	-92.155
MAT13	13.903	-96.353	19.384	-91.230	18.938	-90.877	13.530	-95.931	14.86	-95.08	18.515	-91.665
MAT14	13.530	-95.931	18.938	-90.877	18.263	-90.164	12.927	-95.150	14.45	-94.41	18.105	-90.995
MAT15	12.927	-95.150	18.263	-90.164	17.757	-89.631	12.494	-94.548	13.98	-93.65	17.635	-90.235
MAT16	12.494	-94.548	17.757	-89.631	17.281	-89.118	12.091	-93.966	13.66	-92.99	17.315	-89.575
MAT17	12.091	-93.966	17.281	-89.118	16.465	-87.825	11.347	-92.604	13.11	-91.95	16.765	-88.535
MAT18	11.347	-92.604	16.465	-87.825	16.155	-87.125	11.037	-91.904	12.66	-90.89	16.315	-87.475
MAT19	11.037	-91.904	16.155	-87.125	15.825	-86.165	10.707	-90.944	12.32	-90.06	15.975	-86.645
MAT20	10.707	-90.944	15.825	-86.165	15.435	-85.235	10.317	-90.014	11.97	-89.11	15.625	-85.695
MAT21	10.317	-90.014	15.435	-85.235	15.205	-84.755	10.087	-89.534	11.66	-88.41	15.315	-84.995
MAT22	10.087	-89.534	15.205	-84.755	14.485	-83.805	9.367	-88.584	11.25	-87.69	14.905	-84.275
MAT23	9.367	-88.584	14.485	-83.805	13.465	-82.915	8.347	-87.694	10.32	-86.77	13.975	-83.355
MAT24	8.347	-87.694	13.465	-82.915	12.805	-82.085	7.687	-86.864	9.38	-85.91	13.035	-82.495
MAT25	7.687	-86.864	12.805	-82.085	12.305	-81.005	7.187	-85.784	8.92	-84.96	12.575	-81.545
MAT26	7.187	-85.784	12.305	-81.005	12.005	-80.455	6.887	-85.234	8.48	-84.14	12.135	-80.725
MAT27	6.887	-85.234	12.005	-80.455	10.975	-79.415	5.857	-84.194	8.17	-83.35	11.825	-79.935

**Tableau 4.1** : Coordonnées géographiques des coins des sections servant au dessin des coupes de séismes, et coordonnées des deux points caractérisant chaque ligne de projection

**Figure 4.32 :**  
 Carte des sections  
 séismes avec tracé  
 de la ligne de  
 projection utilisée.  
 Cadre montrant la  
 limite de la carte  
 des magnitudes  
 (fig. 4.31)



## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

Après le tri géographique dans un polygone, en fonction de la profondeur et la magnitude, réalisé par le programme SEISSORT (Annexe A10), le dessin des coupes a été réalisé par le programme CROSSECTION (Annexe A10) en gardant la courbure de la Terre. En utilisant les statistiques concernant le nombre de séismes en fonction de la magnitude, il a été possible de déterminer des classes permettant une représentation aussi équilibrée que possible sur les coupes (tabl. 4.2). Ces statistiques montrent également (fig. 4.33) que le nombre réel de séismes varie beaucoup d'une section à l'autre (fig. 4.33A), la largeur des sections variant également, il a paru intéressant de normaliser le nombre de séismes pour une largeur de section de 100 km, très proche de la largeur moyenne des sections (96.7 km, voir tableau 4.2). Cette normalisation permet de régulariser un peu l'histogramme (fig. 4.33B et C). Grossièrement on peut dire que le nombre normalisé de séismes augmente tout d'abord du NW vers le SE (sections 1 à 4 : de 30 à 63 séismes), puis le nombre reste moyennement stable jusqu'à la section 13 (92 événements en moyenne en éliminant les sections 8 et 11 qui ont un nombre anormalement élevé d'événements), la section 14 (159 séismes) sert de transition, avec le groupe des 3 sections suivantes (15 à 17) qui ont le nombre le plus élevé de séismes (277 séismes en moyenne), les sections 18 à 21 ont un nombre stable d'événements (141 en moyenne) tandis que les 2 sections suivantes, avec 100 et 87 séismes, servent de transition avec le dernier groupe composé des sections 24 à 27 pour lesquelles le nombre de séismes augmente du NW vers le SE, de 32 à 67. La forte variation du nombre de séismes le long du fossé cache cependant une grande homogénéité dans la répartition interne des magnitudes (fig. 4.33D et tableau 4.2) : les écarts-types sont 6.1% pour la première classe, 6.7% pour la seconde, 6.8% pour la troisième et 5.8% pour la dernière.

Les coupes (fig. 4.34) montrent une grande variabilité dans la profondeur maximale des séismes, dans l'épaisseur du plan, dans la forme de celui-ci, et dans les relations avec l'activité volcanique.

Section MAT 1 : le plan de subduction est bien défini et atteint environ 150 km de profondeur dessinant une courbe plongeant rapidement, quelques séismes entre 40 et 60 km environ de profondeur autour de l'axe du fossé proviennent de la Zone de Fracture de Rivera. L'axe volcanique est situé au-delà de la verticale du plan de subduction visible.

Section MAT 2 : le plan reste bien défini mais atteint une profondeur double de celle de la section précédente, de plus le plan est beaucoup plus profond à une distance égale de l'axe du fossé. L'arc volcanique actif est également situé au-delà de la limite du plan de subduction visible.

Section MAT 3 : le plan de subduction est mal défini et indéterminable avant 60-80 km de l'axe du fossé, quelques séismes entre 200 et 250 km semblent situés sur une ligne oblique allant du plan à la surface, l'extrémité du plan ne semble pas vouloir plonger. L'arc volcanique se trouve à la verticale de l'extrémité du plan de subduction visible.

Section MAT 4 : le plan est très confus, on voit quelques séismes liés à l'activité volcanique entre 290 et 520 km. L'absence de séismes servant à dessiner le plan de subduction entre l'axe du fossé et une distance de 100 km environ doit être noté. L'arc volcanique se trouve nettement au-delà de l'extrémité du plan de subduction visible.

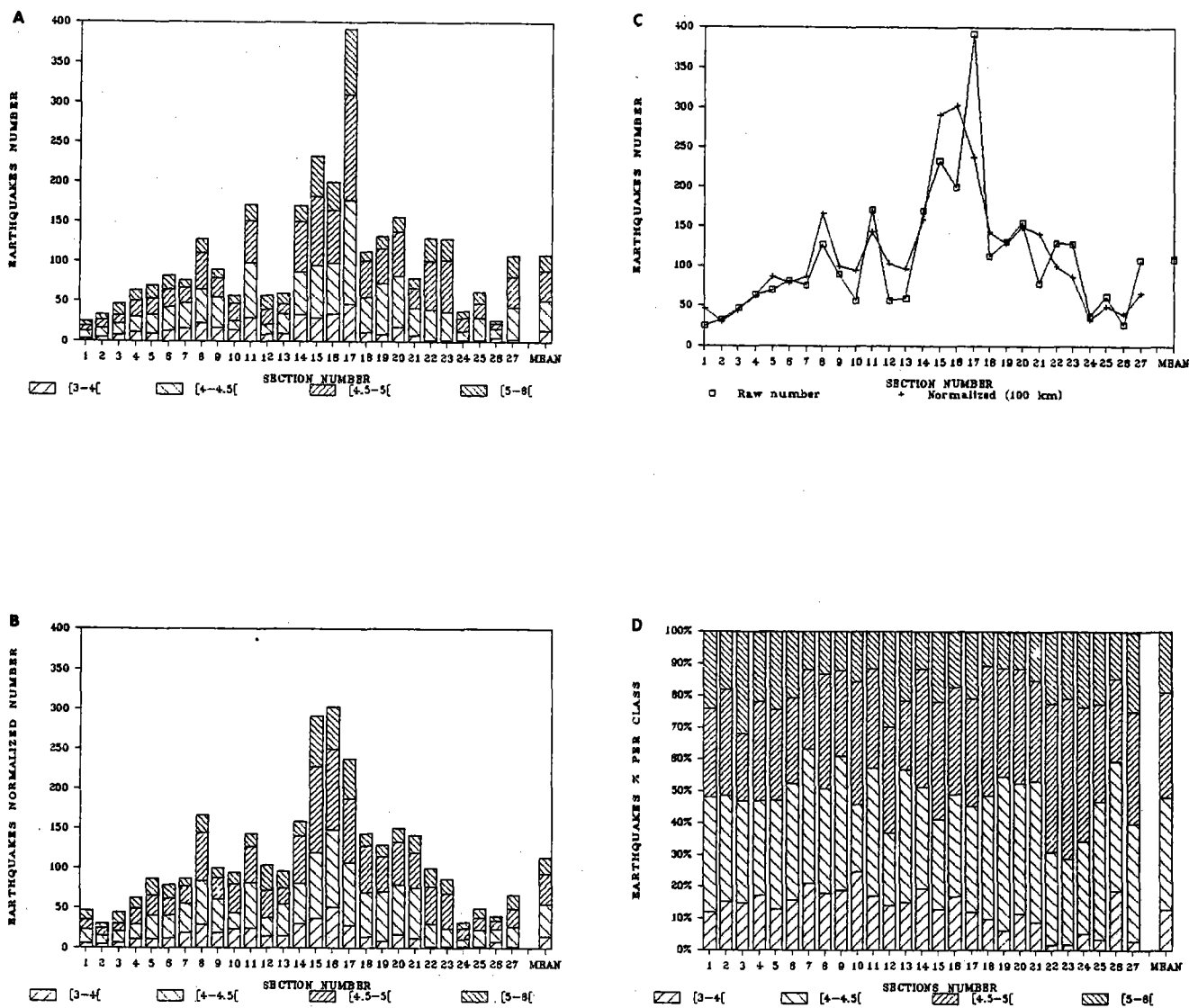
Section MAT 5 : le plan est encore très confus, mais il est possible de le dessiner plus près de l'axe du fossé. L'arc volcanique reste en dehors de

SECTIONS Numero	SEISMES Nombre	LARGEUR Km	SEISMES (nombre normalise pour 100 km)	NOMBRE BRUT				NOMBRE NORMALISE				POURCENTAGE			
				[3-4[	[4-4.5[	[4.5-5[	[5-8[	[3-4[	[4-4.5[	[4.5-5[	[5-8[	[3-4[	[4-4.5[	[4.5-5[	[5-8[
1	25	54	46.30	3	9	7	6	5.56	16.67	12.96	11.11	12.00%	36.00%	28.00%	24.00%
2	33	109	30.28	5	11	11	6	4.59	10.09	10.09	5.50	15.15%	33.33%	33.33%	18.18%
3	47	105	44.76	7	15	10	15	6.67	14.29	9.52	14.29	14.89%	31.91%	21.28%	31.91%
4	64	101	63.37	11	19	20	14	10.89	18.81	19.80	13.86	17.19%	29.69%	31.25%	21.88%
5	70	80	87.50	9	24	20	17	11.25	30.00	25.00	21.25	12.86%	34.29%	28.57%	24.29%
6	82	104	78.85	13	30	22	17	12.50	28.85	21.15	16.35	15.85%	36.59%	26.83%	20.73%
7	76	87	87.36	16	32	19	9	18.39	36.78	21.84	10.34	21.05%	42.11%	25.00%	11.84%
8	128	77	166.23	23	42	46	17	29.87	54.55	59.74	22.08	17.97%	32.81%	35.94%	13.28%
9	90	90	100.00	17	38	24	11	18.89	42.22	26.67	12.22	18.89%	42.22%	26.67%	12.22%
10	57	60	95.00	14	12	22	9	23.33	20.00	36.67	15.00	24.56%	21.05%	38.60%	15.79%
11	171	119	143.70	29	69	53	20	24.37	57.98	44.54	16.81	16.96%	40.35%	30.99%	11.70%
12	57	55	103.64	8	13	19	17	14.55	23.64	34.55	30.91	14.04%	22.81%	33.33%	29.82%
13	60	62	96.77	9	25	13	13	14.52	40.32	20.97	20.97	15.00%	41.67%	21.67%	21.67%
14	170	107	158.88	33	54	63	20	30.84	50.47	58.88	18.69	19.41%	31.76%	37.06%	11.76%
15	233	80	291.25	30	66	86	51	37.50	82.50	107.50	63.75	12.88%	28.33%	36.91%	21.89%
16	200	66	303.03	34	64	67	35	51.52	96.97	101.52	53.03	17.00%	32.00%	33.50%	17.50%
17	392	165	237.58	47	130	133	82	28.48	78.79	80.61	49.70	11.99%	33.16%	33.93%	20.92%
18	113	79	143.04	11	44	46	12	13.92	55.70	58.23	15.19	9.73%	38.94%	40.71%	10.62%
19	132	102	129.41	8	64	45	15	7.84	62.75	44.12	14.71	6.06%	48.48%	34.09%	11.36%
20	156	104	150.00	18	64	56	18	17.31	61.54	53.85	17.31	11.54%	41.03%	35.90%	11.54%
21	79	56	141.07	7	35	25	12	12.50	62.50	44.64	21.43	8.86%	44.30%	31.65%	15.19%
22	130	130	100.00	2	38	61	29	1.54	29.23	46.92	22.31	1.54%	29.23%	46.92%	22.31%
23	129	148	87.16	2	35	65	27	1.35	23.65	43.92	18.24	1.55%	27.13%	50.39%	20.93%
24	38	117	37.48	2	11	16	9	1.71	9.40	13.68	7.69	5.26%	28.95%	42.11%	23.68%
25	62	125	47.60	2	27	19	14	1.60	21.60	15.20	11.20	3.23%	43.55%	30.65%	22.58%
26	27	67	40.30	5	11	7	4	7.46	16.42	10.45	5.97	18.52%	40.74%	25.93%	14.81%
27	108	162	66.67	3	40	38	27	1.85	24.69	23.46	16.67	2.78%	37.04%	35.19%	25.00%
MOYENNE	108.48	96.70	113.86	13.63	37.85	37.52	19.48	15.21	39.64	38.76	20.24	12.84%	35.17%	33.20%	18.79%

Tableau 4.2 : Caractéristiques statistiques des sections de séismes



# LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE



**Figure 4.33 :** Graphiques montrant les caractéristiques statistiques des sections de séismes.  
**A :** nombre brut de séismes par classe de magnitude et par section.  
**B :** nombre normalisé de séismes par classe de magnitude et par section.  
**C :** comparaison entre le nombre brut total et le nombre normalisé à 100 km par sections.  
**D :** Pourcentages cumulés des classes de magnitude par sections.

**Figure 4.34 :**  
Sections de séismes le long du  
Fossé d'Amérique Centrale.

. : [ 3 , 4 [  
+ : [ 4 , 4.5 [  
# : [ 4.5 , 5 [  
\* : [ 5 , 8 [  
△ : [ 8 , 10 ]

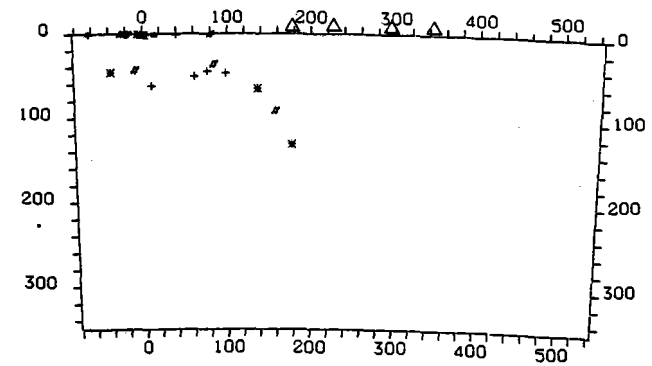
triangle vide : volcan éteint  
triangle plein : volcan actif

Le système de failles Polochic-  
Motagua est représenté par un  
trait épais à la surface des  
sections 16 à 18.

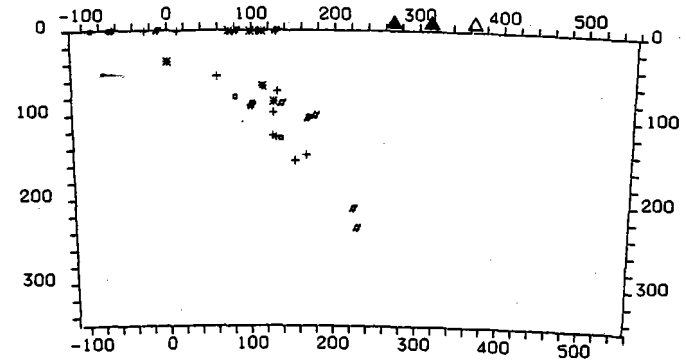
Tous les séismes normalisés à  
0 et 33 km ont été dessinés à  
la surface.

0 : Axe du fossé

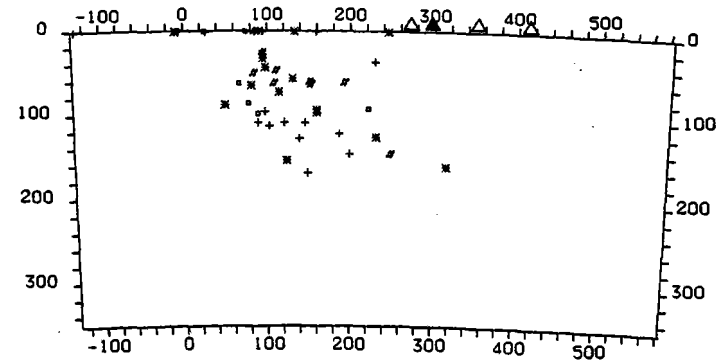
MAT 1



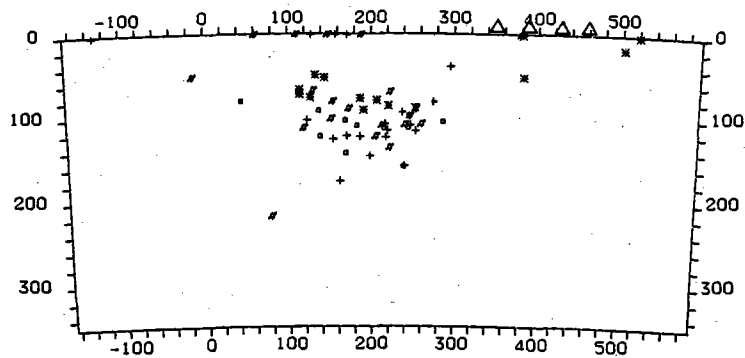
MAT 2



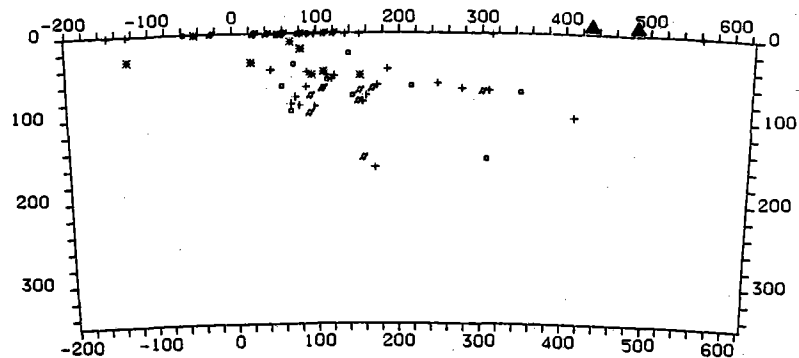
MAT 3



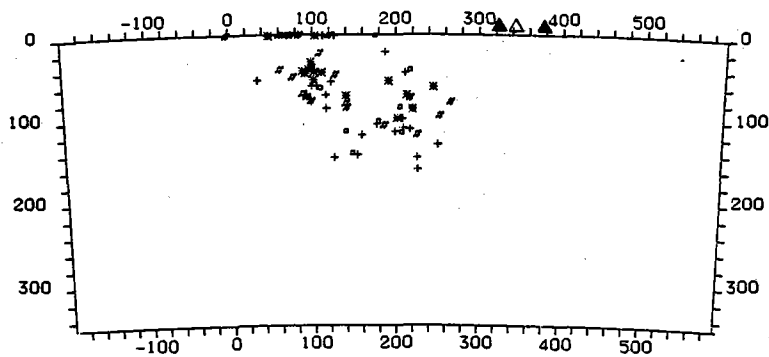
MAT 4



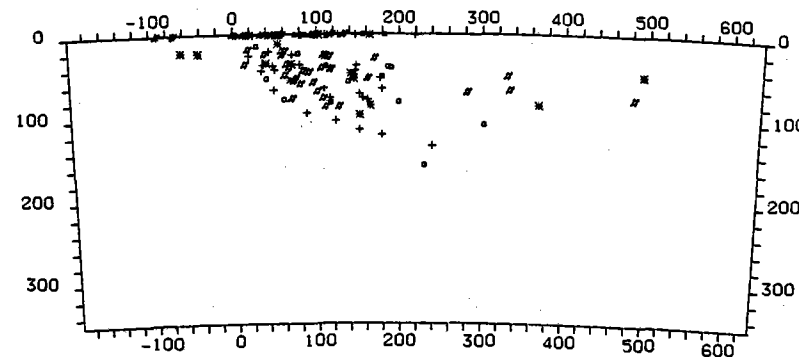
MAT 7



MAT 5

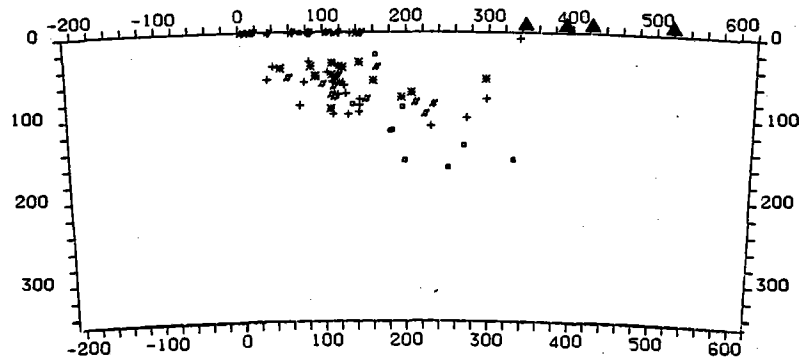


MAT 8

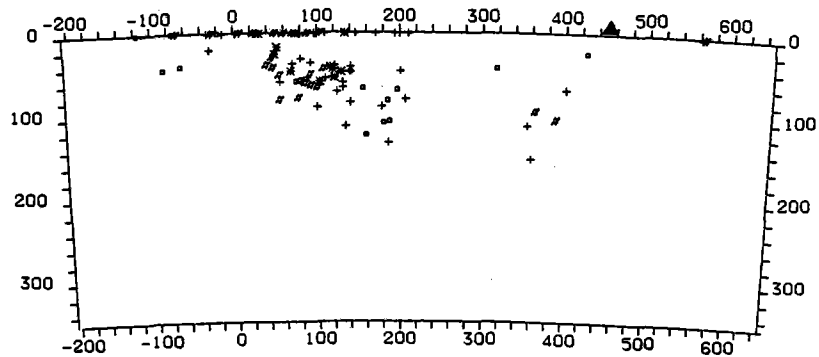


4-62

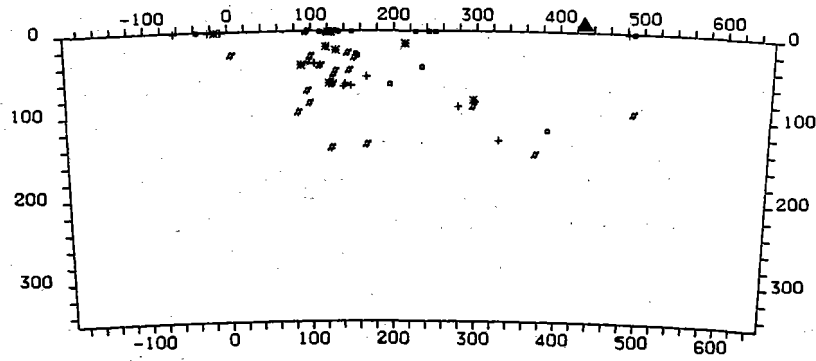
MAT 6



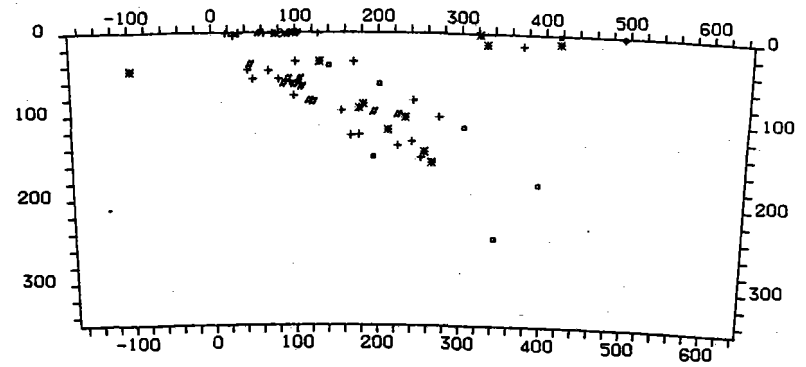
MAT 9



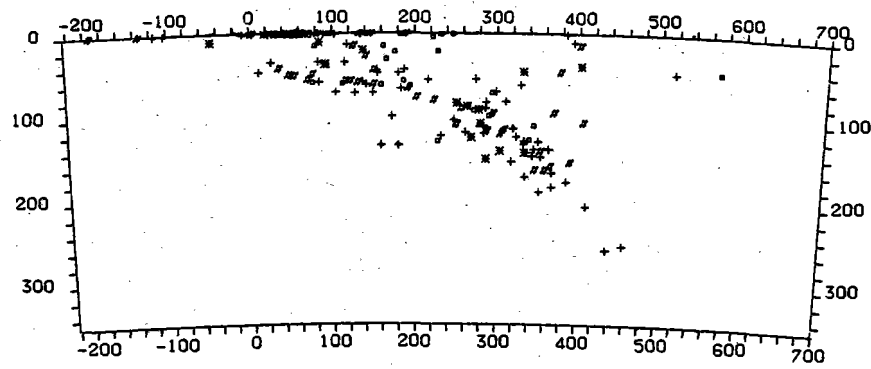
MAT 10



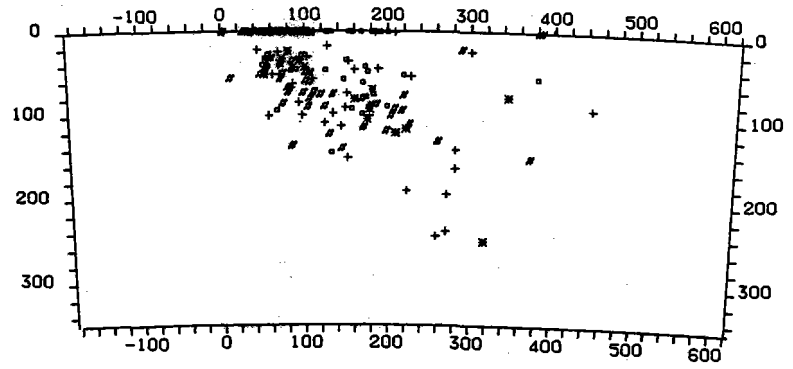
MAT 13



MAT 11

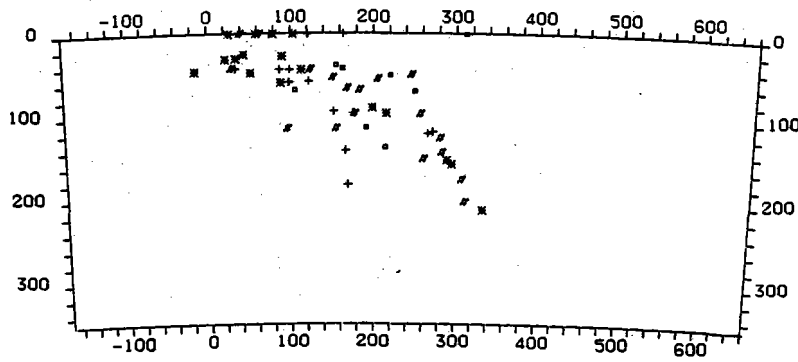


MAT 14

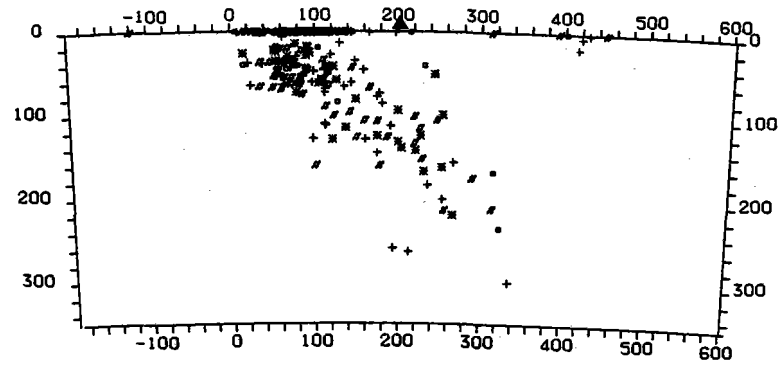


4-63

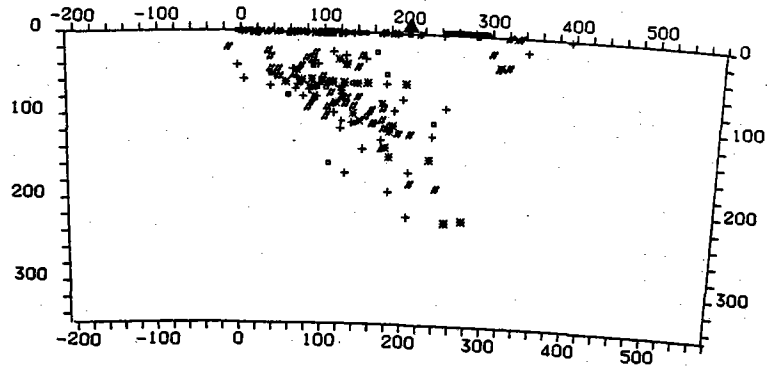
MAT 12



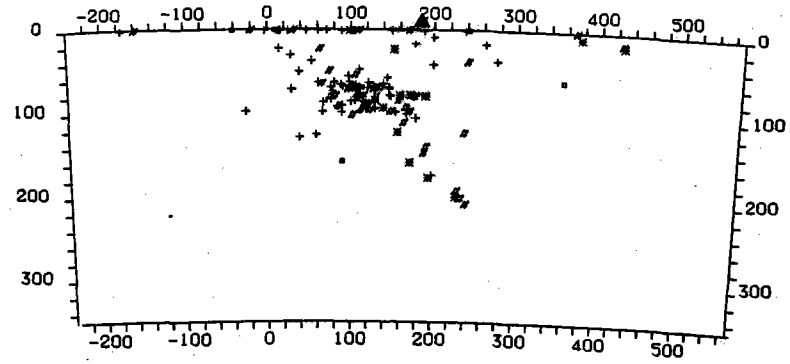
MAT 15



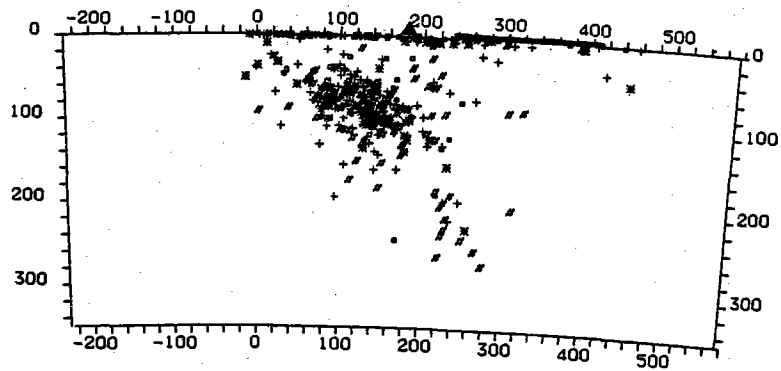
MAT 16



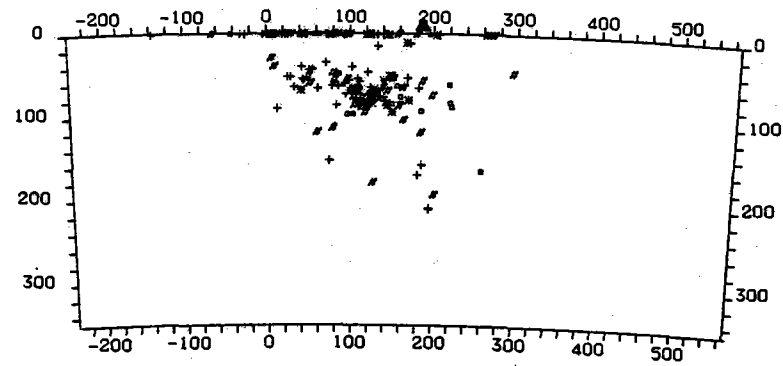
MAT 19



MAT 17

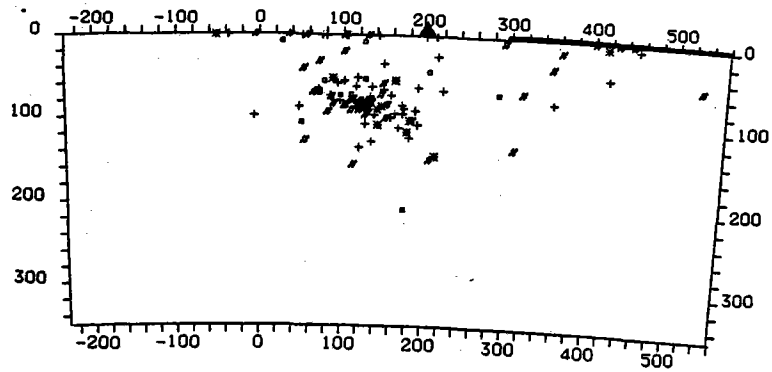


MAT 20

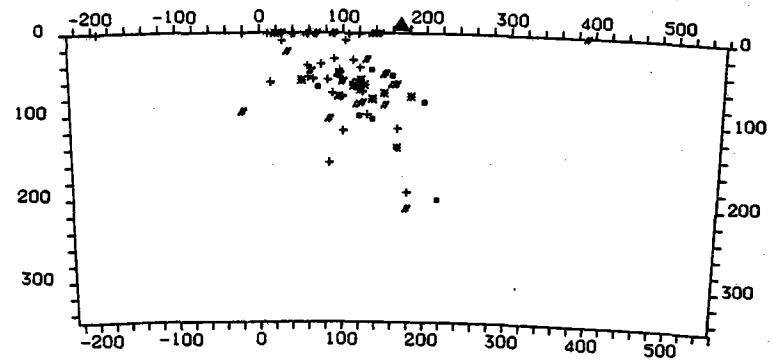


4-64

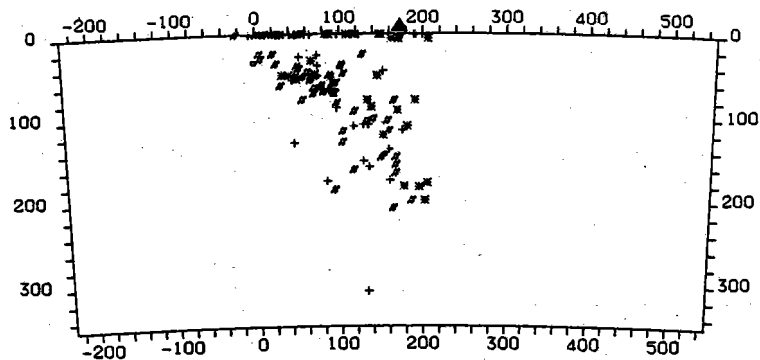
MAT 18



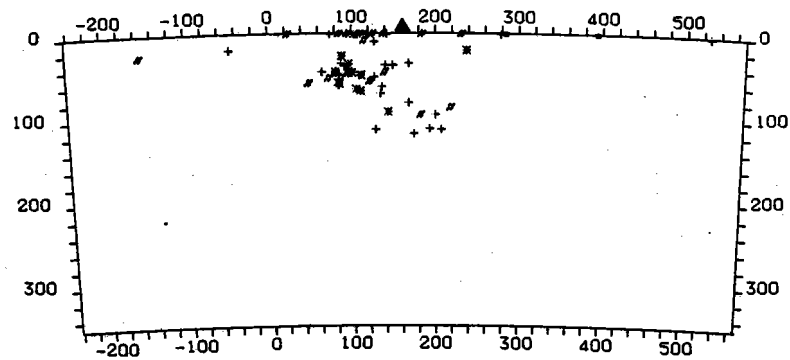
MAT 21



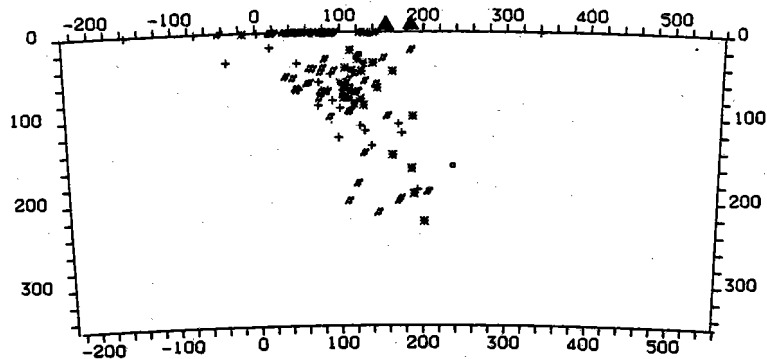
MAT 22



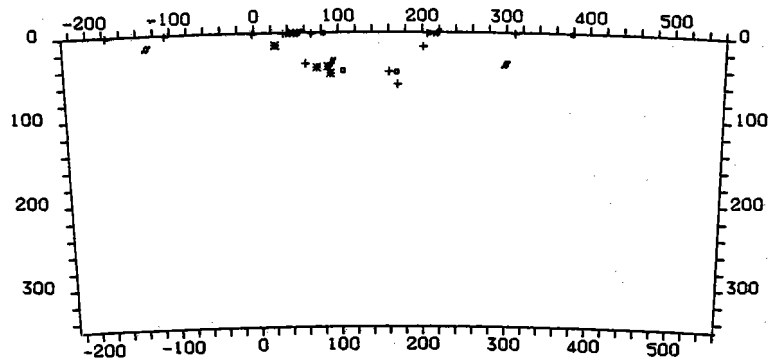
MAT 25



MAT 23

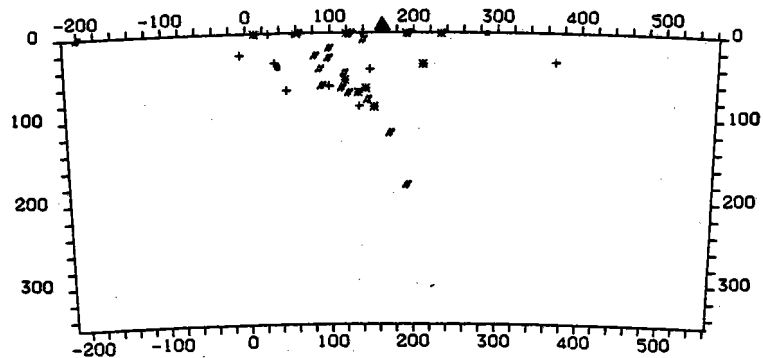


MAT 26

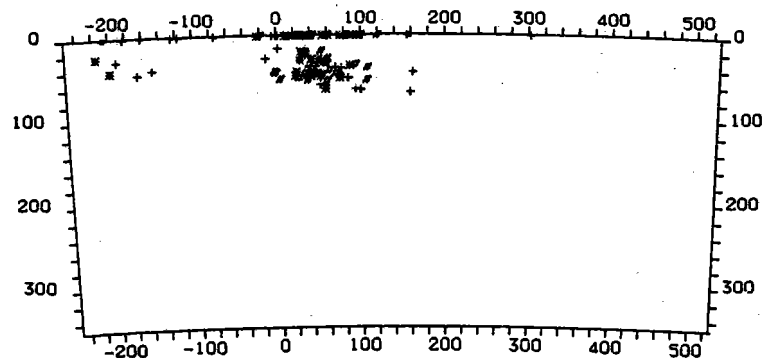


4-65

MAT 24



MAT 27



## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

la projection du plan de subduction à la surface.

Section MAT 6 : le plan est mieux défini que sur les 3 sections précédentes, il semble également avoir une pente légèrement plus faible. Quelques séismes marquent autour de 300 km la remontée de magma vers l'axe volcanique.

Section MAT 7 : il est difficile de dire si le plan est bien situé sur la ligne des séismes qui se trouvent à 60-100 km de profondeur entre 200 et 420 km de l'axe du fossé, ou s'il se trouve plus bas. Les volcans se trouvent à la verticale de la limite de ce plan.

Section MAT 8 : le plan est assez bien défini jusqu'à 240 km de l'axe du fossé, on remarque qu'au-delà quelques séismes montrent sans doute la remontée de magma vers la surface, mais le volcanisme est faible.

Section MAT 9 : cette section ressemble beaucoup à la section 8, sauf pour la localisation des séismes liés à l'activité volcanique qui sont situés plus loin et qui forment une ligne nettement oblique par rapport à la surface de la Terre.

Section MAT 10 : le plan est mal défini mais les séismes visibles jusqu'à 400 km peuvent vraisemblablement être utilisés pour le définir. En l'absence de séismes il est difficile de dessiner le plan à moins de 80 km de l'axe du fossé. L'axe volcanique est situé juste au-delà de la limite du plan de subduction visible par la sismicité.

Section MAT 11 : le plan est très nettement visible, formé de 2 parties, la première peu pentue jusqu'à 240 km de l'axe du fossé, la seconde jusqu'à 450 km et dont la pente augmente jusqu'à 45°. Cette section est la première d'une série où il n'y a pas de volcanisme associé à la subduction.

Section MAT 12 : le plan, bien que moins bien défini que dans la section précédente, est également divisé en 2 parties, la première à pente faible s'arrête à 200 km de l'axe du fossé, la seconde a une pente élevée et régulière.

Section MAT 13 : le plan que l'on peut définir d'après les séismes de cette section a une pente très régulière de 30° environ au-delà de 100 km de l'axe du fossé

Section MAT 14 : le plan n'est pas très bien défini, mais il atteint nettement 260 km de profondeur avec une pente moyenne de 45°.

Section MAT 15 : le plan est assez bien défini et continu jusqu'à 250 km de profondeur, la pente semble régulière et proche de 45° au-delà de 100 km de l'axe du fossé. Le séisme le plus profond a été enregistré vers 300 km. L'axe volcanique réapparaît, mais est situé beaucoup plus près du fossé, et au milieu du plan de subduction.

Section MAT 16 : cette section ressemble beaucoup à la section précédente. La faille Polochic a été également représentée sur la coupe sur la largeur de sa traversée de la section.

Section MAT 17 : la légère confusion existant au milieu de la section provient du nombre important de séismes. Le plan est cependant assez bien défini et a une pente régulière de 45° environ au-delà d'une distance

d'une centaine de km de l'axe du fossé. Le séisme le plus profond se situe vers 280 km. Le système transformant Polochic-Motagua a été reporté sur la coupe : un certain nombre de séismes situés à faible profondeur peuvent leur être associés.

Section MAT 18 : le plan est nettement plus court que sur les sections précédentes et n'atteint que 210 km de profondeur maximale. Il n'existe pas de séismes définissant le plan à moins de 60 km de l'axe du fossé. Le volcanisme se situe au-dessus de l'extrémité du plan de subduction. Les failles Polochic et Motagua traversent cette section très obliquement, expliquant la grande longueur traversée : une grande partie des séismes les plus éloignés de la section leur sont associés.

Section MAT 19 : le plan semble à nouveau diviser en 2 parties, la première à pente très faible jusqu'à 150 km environ, la seconde a une pente beaucoup plus élevée (près de 60°) et atteint 200 km de profondeur. L'axe volcanique est situé à la limite entre ces deux zones.

Section MAT 20 : en dehors d'une section à pente faible s'allongeant de l'axe du fossé jusqu'à une distance de 160 km environ, il existe sans doute une seconde partie à pente très élevée poursuivant le plan de la même manière que dans la section précédente mais elle est mal définie. L'axe volcanique est situé à la limite de la partie à faible pente du plan de subduction.

Section MAT 21 : le plan que l'on peut dessiner sur cette section semble avoir une pente augmentant rapidement en s'éloignant de l'axe du fossé, mais le nombre de séismes n'est pas assez élevé pour en être certain. L'axe volcanique se trouve à la verticale de la limite entre les deux parties du plan de subduction.

Section MAT 22 : le plan dessine une courbe régulière dont la pente augmente en s'éloignant du fossé. La profondeur atteinte est d'environ 200 km. L'axe volcanique est toujours présent, lorsque le plan de subduction moyen atteint une profondeur de 150 km environ.

Section MAT 23 : cette section est pratiquement identique à la précédente.

Section MAT 24 : le plan de subduction est un peu plus mince et plus court que les sections 22 et 23, et l'axe volcanique est situé au-dessus d'une partie moins profonde du plan de subduction (105 km)

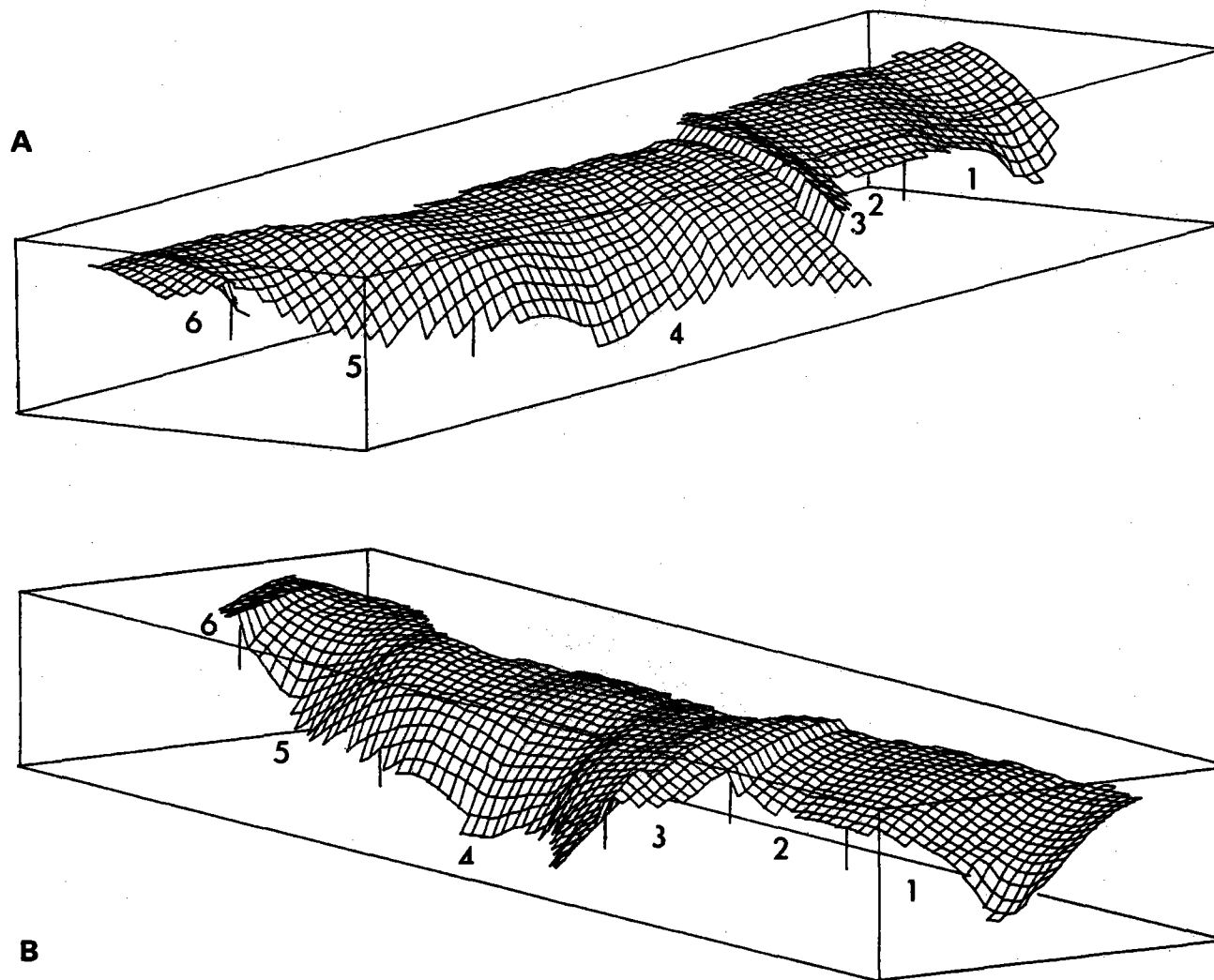
Section MAT 25 : le plan est devenu court et la profondeur atteinte ne dépasse pas 120 km. La pente est également assez moyenne (35-40° environ). L'axe volcanique est situé au-dessus d'une partie moins profonde du plan de subduction (95 km) que sur la section précédente.

Section MAT 26 : le plan défini par le faible nombre de séismes de cette section a une pente très faible et ne dépasse pas 50 km de profondeur. L'axe volcanique n'existe plus à partir de cette section.

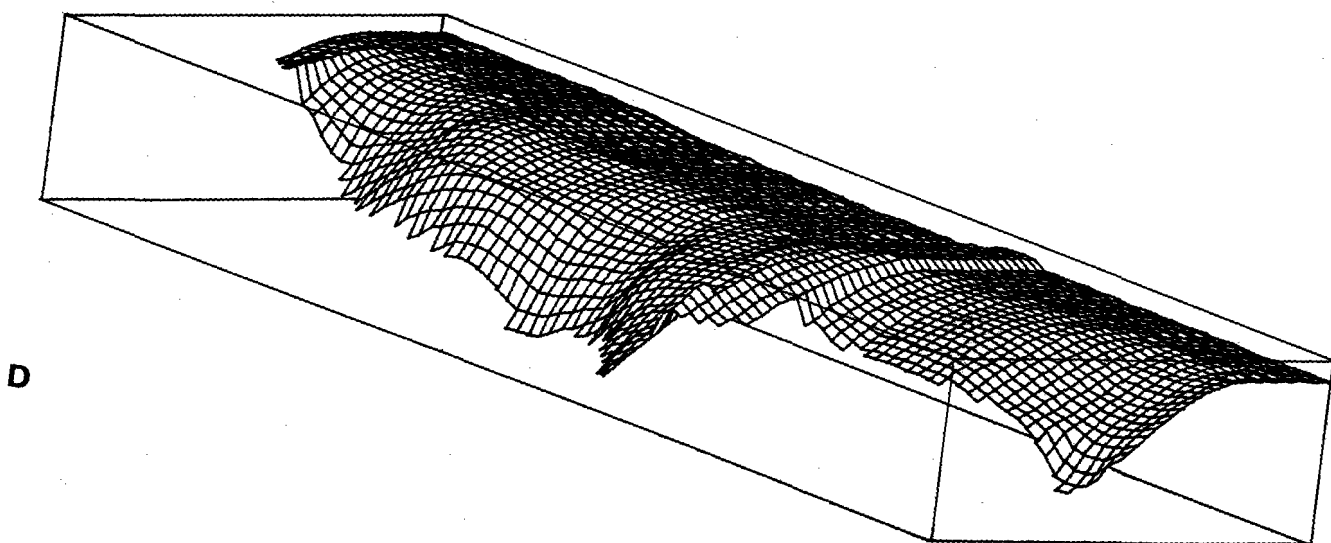
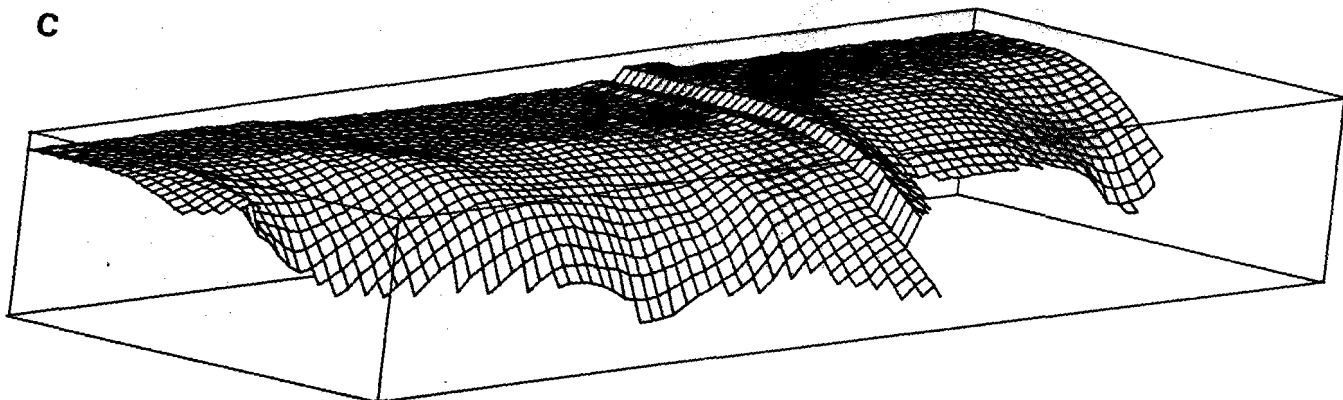
Section MAT 27 : le plan est bien défini mais a une pente très faible, sa longueur ne semble pas dépasser 160 km. On note également l'activité sismique de la Ride Cocos vers 200 km au large de l'axe du fossé.



**Figure 4.35 :** Blocs-diagrammes du plan de subduction avec localisation des différentes zones (voir texte).  
 A et B : plan dessiné jusqu'au fossé  
 C et D : plan prolongé sous les bassins océaniques  
 Longueur des blocs-diagrammes : 2610 km, largeur : 730 km, hauteur : 300 km, orientation du grand axe : N115°E, pas d'exagération verticale.



LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE



## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

### 4.4.2.2 - les blocs-diagrammes

Cette série de coupes a permis de distinguer un certain nombre de caractères généraux et de voir les problèmes de définition du plan de subduction. Il est parfois possible d'imaginer la forme générale du plan dans l'espace pour certaines portions, mais cela est beaucoup plus difficile pour l'ensemble. C'est pourquoi il a paru intéressant de reconstituer une image tri-dimensionnelle du plan de subduction défini par la sismicité. Cette image a été construite à partir des valeurs réelles mesurées sur les sections, reportées sur la position des lignes de projections, et des interpolations entre ces lignes de projection, et des extrapolations effectuées d'abord jusqu'à l'axe du fossé (fig. 4.35A et B) puis au-delà jusqu'à 150 à 250 km de l'axe du fossé pour former une limite régulière (fig. 4.35C et D, voir aussi Annexe B2).

L'image obtenue permet de voir que le plan a une forme très irrégulière, et est formé de différentes parties dont sans doute certaines sont relativement indépendantes. La limite très irrégulière du plan de subduction est à la fois importante, car donnant la limite de la plaque 'fragile', et peu importante, car la plaque se poursuit plus loin dans le manteau (il est très vraisemblable que les séismes associés au volcanisme des sections 8 et 9 soient situés sur une ligne allant du plan de subduction à la surface).

Du Nord-Ouest vers le Sud-Est on distingue 6 zones dont 3 situées au NW de la Zone de Fracture de Tehuantepec :

La première zone (17-18 'carreaux' de largeur) présente une forme en cuillère dissymétrique, la forme en cuillère étant très marquée dans sa partie nord-orientale où la profondeur atteint une valeur assez grande.

La seconde zone (9-10 'carreaux' de largeur) a une forme en cuillère beaucoup plus atténuée mais se relevant nettement à sa limite SE, la profondeur maximale ainsi que la limite en distance par rapport à l'axe du fossé sont remarquablement constants.

La troisième zone (3-4 'carreaux' de largeur) est la plus très différente des autres : elle est située nettement au-dessus des autres et le plan regarde vers le NW. Curieusement sa limite Sud ne se trouve pas dans le prolongement de la Zone de Fracture de Tehuantepec mais à environ 60 km au NW, cela est peut être dû en partie à une mauvaise interprétation des coupes de séismes, ou à une superposition des deux plans à des profondeurs différentes sur leur bordure, impossible à distinguer sur les sections.

La quatrième zone (29 'carreaux' de largeur) a une large forme en cuillère et atteint des profondeurs importantes près du contact avec la zone précédente. On peut également voir une sorte d'épaulement oblique dans la partie supérieure sud-orientale de cette portion du plan. La distance entre l'extrémité visible du plan et l'axe du fossé diminue légèrement du NW vers le SE.

La cinquième zone (18 'carreaux' de largeur) présente également une forme en cuillère, on peut noter que la distance de l'extrémité du plan à l'axe du fossé diminue vers le SE.

La dernière zone (4 'carreaux' de largeur) est nettement séparée de la précédente par une discontinuité, cette zone correspond en fait à la partie subductée de la Ride Cocos. Le plan regarde légèrement vers le SE.

La comparaison qui s'impose immédiatement est celle que l'on peut faire avec les limites des arcs de cercle observés dans le tracé en plan de l'axe du Fossé d'Amérique Centrale :

à un 'carreau' près (31 km) (dû essentiellement à l'incertitude dans la détermination de la limite des 'cuillères') les limites des zones du plan de subduction (sauf l'individualisation des zones 2 et 3) correspondent exactement aux arcs de cercle de l'axe du fossé :

zone 1 : segment Nord  
 zones 2 + 3 : segment Centre-Nord  
 zone 4 : segment Centre-Sud  
 zone 5 : segment Sud

La zone 6 localisée sur la Ride Cocos est située à la limite entre le segment Sud et le segment Zone de Fracture de Panama - 80°W.

#### 4.5 - DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

Lors des études de la bathymétrie, de la forme en plan du fond du Fossé d'Amérique Centrale et de la forme du plan de subduction d'après la sismicité, de nombreuses observations ont été faites, dont certaines concernent la même région. Les principaux thèmes concernent :

- la Ride Cocos : peu profonde dans la bathymétrie, et le plan de subduction
- l'épaulement du plan de subduction dans la partie Sud de la zone 4 et sur les sections 18 à 21
- le décalage de la Zone de Fracture de Tehuantepec dans le plan de subduction
- l'association de la forme arquée du fond du fossé et de la forme en cuillère du plan de subduction, et la longueur du plan de subduction comme une fonction de l'âge de la croûte et de la vitesse de subduction
- la position des lignes volcaniques en relation avec la profondeur du plan de subduction
- le problème de la zone 3 du plan de subduction, avec un fossé dessinant un arc de cercle plus petit que ce qui est attendu, et une bathymétrie très perturbée.

##### 4.5.1 - La Ride Cocos

La subduction des rides asismiques a déjà été largement étudié par de nombreux auteurs, et en particulier par Vogt, Lowrie, Bracey et Hey (1976). Les observations faites pour la Ride Cocos dans cette étude ne contredisent pas les observations précédentes communes à beaucoup de cas : la bathymétrie du fossé diminue à l'entrée des rides, la sismicité est faible et le plan de subduction ne montre pas de tendance à plonger car la grande flottabilité de la ride l'empêche de s'enfoncer dans le manteau. Il faut noter dans le cas de la Ride Cocos que la faible longueur du plan de subduction visible à cet endroit semble être due à un facteur affectant la région entière, la longueur du plan diminuant constamment depuis la Zone de Fracture Tehuantepec.

#### 4.5.2 - L'épaulement de la partie supérieure du plan de subduction entre 88 et 91°W

Sur les sections 18 à 21 on avait noté que le plan de subduction possède une portion à pente faible, proche de l'axe. Sur les blocs-diagrammes, la limite entre la partie à faible pente et la partie à pente nettement plus forte est oblique par rapport à l'axe du fossé. En étudiant la carte bathymétrique (fig. 4.9) on remarque que cet épaulement est situé dans le prolongement d'une ride marquée par la courbe 3000 m. Cette ride bathymétrique pouvait s'expliquer par le bombement externe dû à la subduction, mais le fait qu'elle se poursuive dans le plan de subduction conduit à rechercher une autre explication à l'ensemble de la ride. Cependant on doit noter que le profil du fond du fossé n'apporte aucun élément de réponse, cette ride se distinguant mal (fig. 4.27, vers 88°W).

La direction de la ride, parallèle aux structures océaniques vues sur les cartes Seabeam dans cette région, porte à croire que cette ride peut être en fait une ancienne dorsale océanique, ou correspond à un saut dans la bathymétrie avec une croûte nettement plus profonde au NE qu'au SW.

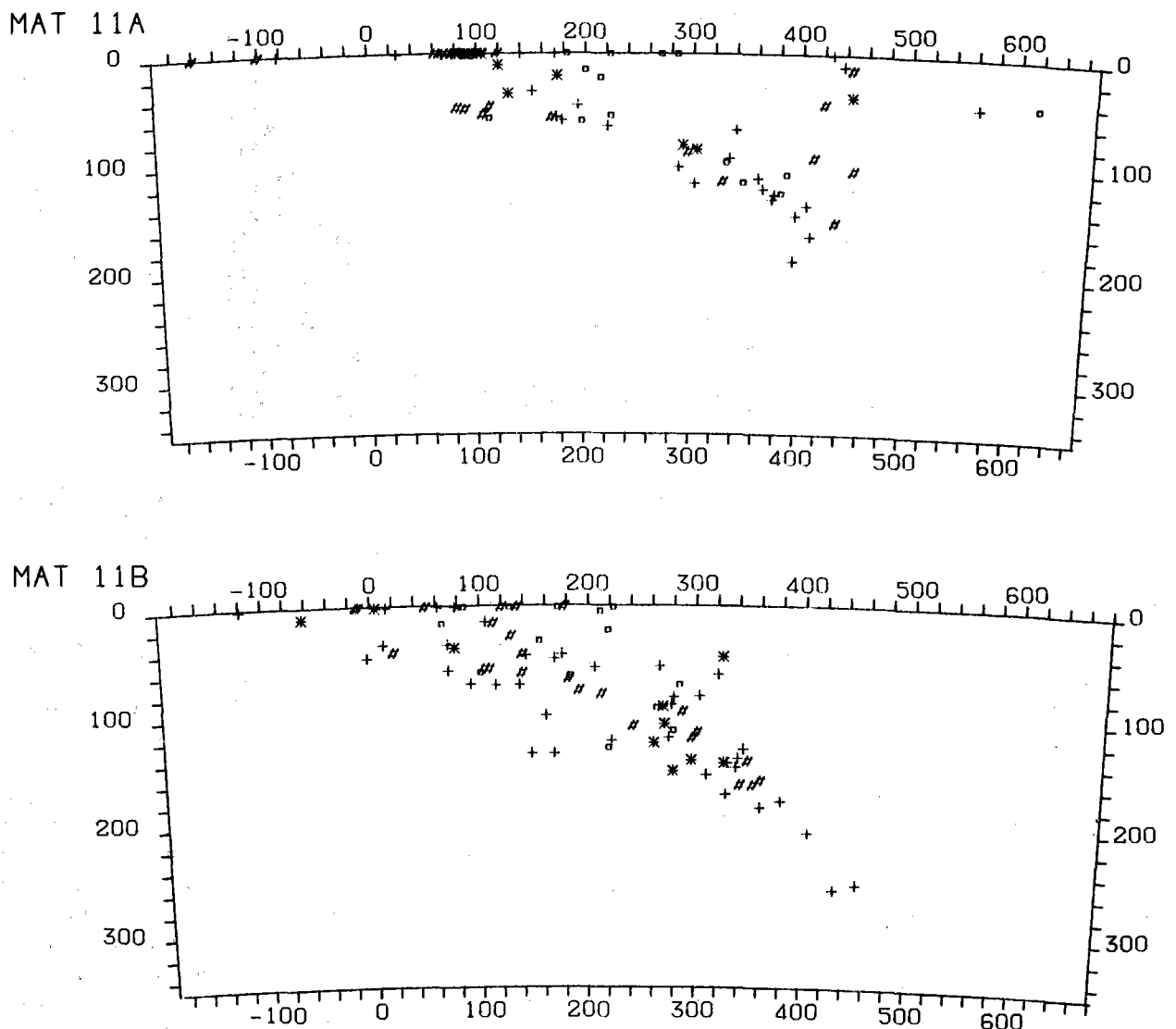
L'hypothèse d'une ancienne dorsale semble plus probable car la ride ne semble pas vouloir subduire facilement, ce qui est le cas des croûtes océaniques jeunes ou anormalement épaisses. La dorsale morte réunit souvent ces deux conditions au moins en partie : la croûte est plus récente que de part et d'autre, et par ailleurs il semble que la fin de l'activité d'une dorsale se produise progressivement pendant qu'une autre commence à fonctionner, le ralentissement provoque une morphologie beaucoup plus hachée d'où un possible refroidissement plus efficace en profondeur qu'en cas d'ouverture rapide (Roump, 1981). Un autre fait régional doit être pris en compte : on sait qu'il existe dans le Pacifique Centre-Oriental des segments isolés d'une (ou plusieurs) dorsale(s) (Mathematician Seamounts, Clipperton Seamounts et Galapagos Rise) (Herron, 1972 ; Anderson & Davis, 1973 ; Mammerickx et al., 1975 ; Anderson et al., 1978 ; Mammerickx, 1981). Les relations entre les différents segments sont difficiles à déterminer étant donné les 'trous' existants entre eux : la ride en cours de subduction peut être un des éléments de cette ancienne dorsale, mais elle peut également être la dorsale, centre d'expansion d'une partie du Bassin du Guatemala, et aurait dans ce cas un âge légèrement inférieur à 22 MY, âge de la croûte océanique mesuré au site 495 du Leg 67 du Glomar Challenger (Von Huene, Aubouin et al., 1980). Cette hypothèse est en accord avec le vieillissement probable de la croûte vers la Zone de Fracture de Tehuantepec, déduit des observations bathymétriques (voir partie 4.2.3).

#### 4.5.3 - La Zone de Fracture de Tehuantepec dans le plan de subduction

La résolution des données de sismicité n'est pas assez bonne pour localiser précisément la discontinuité due la Zone de Fracture de Tehuantepec. Pourtant si l'on prolonge la trace de la Zone de Fracture à terre, celle-ci se trouve à la limite entre les sections 12 et 13, entre lesquelles il n'existe pas de différence notable. Le changement dans la sismicité apparaît par contre nettement entre les sections 10, 11 et 12 (voir fig. 4.27 pour la localisation de l'intersection des sections et de l'axe du fossé). Pour mieux cerner le passage, la section 11 a été divisée en deux parties (fig. 4.36). La section 11A ressemble nettement à la section 10, tandis que la section 11B est proche de la section 12. Ceci

place la limite entre les deux secteurs à environ 60 km au NW de la trace de la projection de la Zone de Fracture de Tehuantepec au-dessus du plan de subduction au moins à partir d'une distance de 150 km environ de l'axe du Fossé.

Cette absence de coïncidence peut être due à trois causes : la Zone de Fracture de Tehuantepec n'est pas aussi rectiligne sous l'Amérique Centrale qu'au large du fossé mais se courbe très nettement ; la limite visible dans le plan de subduction est un segment de zone de fracture différent de la Zone de Fracture de Tehuantepec ; la Zone de Fracture de Tehuantepec n'est pas une limite verticale dans la lithosphère mais a une pente importante. La meilleure méthode pour résoudre ce problème serait d'étudier dans un premier temps des profils de sismique réfraction à travers la zone de fracture.

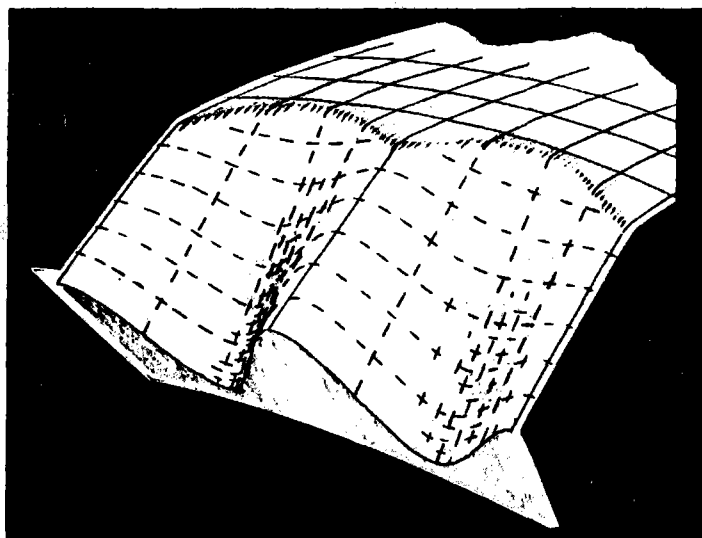


**Figure 4.36** : Sections de séismes 11A et 11B provenant de la division en 2 parties de la sections 11 (fig. 4.32 et 4.34)

## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

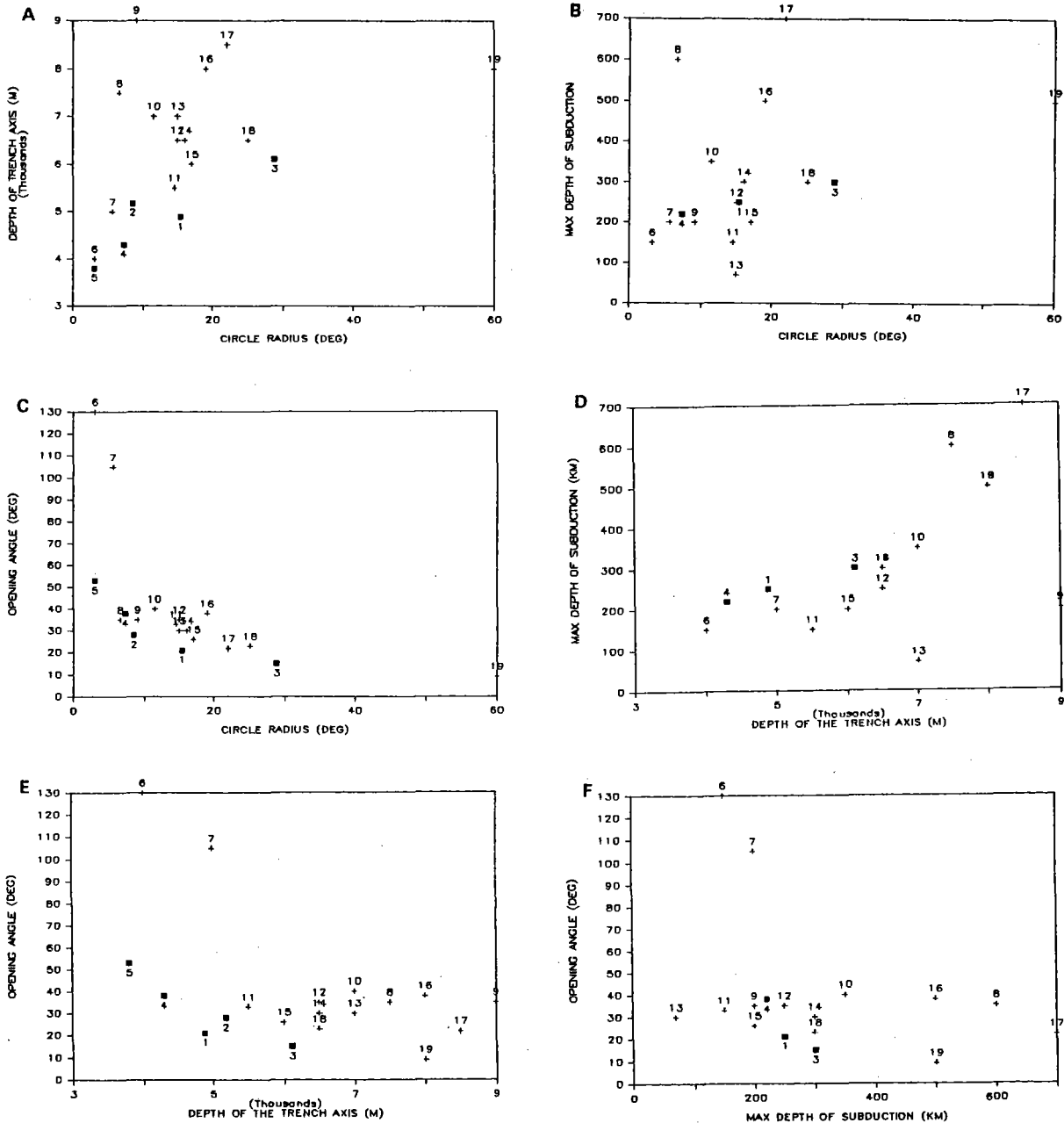
### 4.5.4 - Association entre la forme arquée du tracé en plan de l'axe du fossé et la forme en cuillère du plan de subduction. La profondeur du plan de subduction et en fonction de l'âge de la croûte et de la vitesse de subduction

La correspondance des arcs de l'axe du fossé et de la forme incurvée vers le haut du plan de subduction avait déjà été notée pour d'autres régions (Bayly, 1982) avec également le centre de la convexité plus profond que les bordures (fig. 4.37), ce qui est net pour les zones 1 et 4 du plan de subduction.



**Figure 4.37** : Plan de subduction avec fossé dessinant des arcs de cercle et plan à convexités vers le haut (Bayly, 1982)

La courbure du tracé des axes de fossés et des arcs insulaires souvent associés, avait été notée et étudiée depuis longtemps (également Frank, 1968 ; Laravie, 1975 ; Tovish & Schubert, 1978) mais aucun graphique n'a montré les relations entre le rayon de courbure, l'angle d'ouverture de l'arc de cercle, la profondeur du fossé et la profondeur du plan de subduction visible par la sismicité. Les données utilisées pour la figure 4.38 proviennent de cette étude (points 1 à 5 représentés par des carrés), du tableau 1 de Laravie (1975) et des cartes GEBCO pour la profondeur moyenne. Le diagramme 4.36A, rayon du cercle - profondeur moyenne du fossé, ne montre aucune organisation mais on remarque que la ligne des points 5-4-1-3 peut être prolongée jusqu'au point 19 (Kermadec). Dans cette étude on considère que le point 2 a une valeur anormale, mais d'après les rayons calculés par Laravie la plupart de ses points rentrent également dans cette catégorie. Il faut cependant rappeler que la détermination du centre des cercles est très sensible aux erreurs et demande une grande précision dans la localisation des points, ce qui n'est possible que grâce au Seabeam, et n'a pu donc être utilisé par Laravie. Le diagramme 4.36B, rayon du cercle - profondeur maximale de subduction, ne montre également aucune organisation, mais les 3 points du Fossé d'Amérique Centrale (1, 3 et 4) sont alignés sur une droite passant également près du point 19 (Kermadec) ; il faut noter que les fossés ayant un plan de



**Figure 4.38 :** Diagrammes montrant les relations entre divers paramètres des plans de subduction avec axe du fossé en forme d'arc de cercle.

1 à 5 : Fossé d'Amérique Centrale (1 : Nord, 2 : Centre-Nord, 3 : Centre-Sud, 4 : Sud, 5 : Panama FZ-80°W)  
 6 : Sandwich du Sud, 7 : Antilles, 8 : Honshu, 9 : Mariannes Sud, 10 : Mariannes Nord, 11 : Aléoutiennes Est, 12 : Aléoutiennes Centre, 13 : Aléoutiennes Ouest, 14 : Ryukyu, 15 : Sonde Ouest, 16 : Kouriles-Kamchatka, 17 : Tonga, 18 : Nouvelles Hébrides, 19 : Kermadec

A : Rayon du cercle - Profondeur moyenne de l'axe  
 B : Rayon du cercle - Profondeur maximale du plan de subduction  
 C : Rayon du cercle - Angle d'ouverture  
 D : Profondeur moyenne de l'axe - Profondeur maximale du plan de subduction  
 E : Profondeur moyenne de l'axe - Angle d'ouverture  
 F : Profondeur maximale du plan de subduction - Angle d'ouverture



## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

subduction relativement court peuvent s'expliquer simplement par l'âge récent du début de la subduction. Le diagramme 4.36C montre une bonne corrélation entre le rayon du cercle et l'angle d'ouverture des arcs de cercle, seuls les points 6 (Sandwich du Sud) et 7 (Antilles) sont situés un peu à l'extérieur, cela semble dû au trop grand angle d'ouverture attribué, ces deux arcs auraient sans doute dû être divisés. Le diagramme 4.36D montre également une bonne corrélation entre la profondeur moyenne du fossé et la profondeur maximale du plan de subduction, sauf pour les points 9 (Sud Mariannes) et 13 (Ouest Aléoutiennes), pour lesquels la profondeur atteinte par le plan n'est pas assez importante. Le diagramme 4.36E montre une bonne corrélation entre la profondeur du fossé et l'angle d'ouverture, sauf pour les points 6 et 7 (voir commentaire plus haut). Le diagramme 4.36F montre également une bonne corrélation entre la profondeur maximale et l'angle d'ouverture, sauf également pour les points 6 et 7 et pour les mêmes raisons que dans les autres cas.

Il faut noter malgré tout qu'étant donné la sensibilité de la détermination des centres des cercles à la localisation des points, le rayon et l'angle d'ouverture peuvent varier également sensiblement avec la précision des mesures.

Il faut aussi rappeler que le rayon de courbure du fossé est un paramètre lié aux caractéristiques de la plaque arrivant au fossé, cette remarque est aussi valable pour la profondeur. La profondeur maximale du plan de subduction quant à elle, dépend de nombreux autres facteurs dont le premier est l'âge de la subduction, les autres paramètres sont l'âge de la lithosphère qui varie le long du plan, et qui étant donné la vitesse de subduction peut atteindre des profondeurs différentes à des âges différents (en polarité positive : plaque plus ancienne en profondeur que près du fossé, si la vitesse de subduction est plus rapide que le demi-taux d'expansion ayant créé cette lithosphère le plan aura tendance à s'allonger si la température le permet ; en polarité négative le plan aura également tendance à s'allonger si la vitesse de subduction est suffisamment grande pour éviter le réchauffement rapide de la plaque) (Molnar, Freedman & Shih, 1979).

Etant données les incertitudes sur la détermination des rayons des cercles et donc de l'angle d'ouverture, il semble prudent de ne pas conclure définitivement malgré certaines corrélations.

### 4.5.5 - La position des volcans par rapport au plan de subduction

On doit tout d'abord remarquer qu'il n'existe aucun volcanisme sur les sections 11 à 14 et sur les sections 26 et 27. Le plan de subduction des sections 11 à 14 ne montre aucune différence notable avec les sections suivantes, il faut donc rechercher une autre explication. Le volcanisme est un phénomène qui ne peut pas bien se produire en régime tectonique compressif, alors qu'il peut se développer en régime sans tension et qu'il trouve son activité maximale en régime extensif (bassins arrière arc, océans). On peut déjà noter que cette région se trouve entre la Zone de Fracture de Tehuantepec subductée et les failles Polochic et Motagua. La discussion sur cette observation a été placée à la fin de ce chapitre avec les autres problèmes de tectonique des plaques.

On observe que la profondeur du plan de subduction à la verticale des axes volcaniques varie selon les régions : au Nord celle-ci est relativement

profonde (de l'ordre de 150 à 200 km au moins), alors que pour les sections 15 à 18 cette profondeur est moindre (environ 150 km). Pour les sections 19 à 21, la profondeur du plan est difficile à déterminer à cause du changement brutal de pente. Sur les sections 22 et 23 la profondeur du plan au-dessous de l'axe volcanique est d'environ 150 km, mais elle diminue rapidement pour les sections 24 et 25 (environ 100 km). Cette variation de la profondeur du plan de subduction sous les arcs volcaniques est remarquable : différentes études (dont Tatsumi & al., 1983) ont montré que le magma volcanique s'individualise dans le coin d'asthénosphère situé entre la plaque océanique plongeante et la plaque sus-jacente. La présence d'un arc volcanique signifie donc que ce coin d'asthénosphère existe sous l'arc et que la profondeur du plan de subduction à cet endroit est supérieure à l'épaisseur de la plaque portant les volcans (Barazangi & Isacks, 1976 et Isacks & Barazangi, 1977 : cas de la subduction de la plaque Nazca sous l'Amérique du Sud). Si l'on considère que la température n'est pas un facteur limitatif de la formation de magma volcanique dans la gamme des profondeurs qui nous intéresse ici (90-200 km), la variation de profondeur du plan de subduction sous les arcs volcaniques correspond à une variation de l'épaisseur de la lithosphère 'continentale' : on en conclut que le Mexique possède une lithosphère plus épaisse que le Guatemala qui lui-même a une lithosphère nettement plus épaisse que le Costa Rica.

Il faut noter que la profondeur maximale des séismes dépend beaucoup des conditions d'enregistrements et d'interprétation : la figure 4.39 montre les séismes enregistrés localement et des séismes enregistrés à l'échelle mondiale pour la région des sections 24 et 25 (Burbach, Frohlich et al., 1984). L'absence de volcanisme sur les sections 26 et 27 est sans doute dû au fait que le plan de subduction n'atteint pas la profondeur de formation possible de magma, en raison de la grande flottabilité de la Ride Cocos.

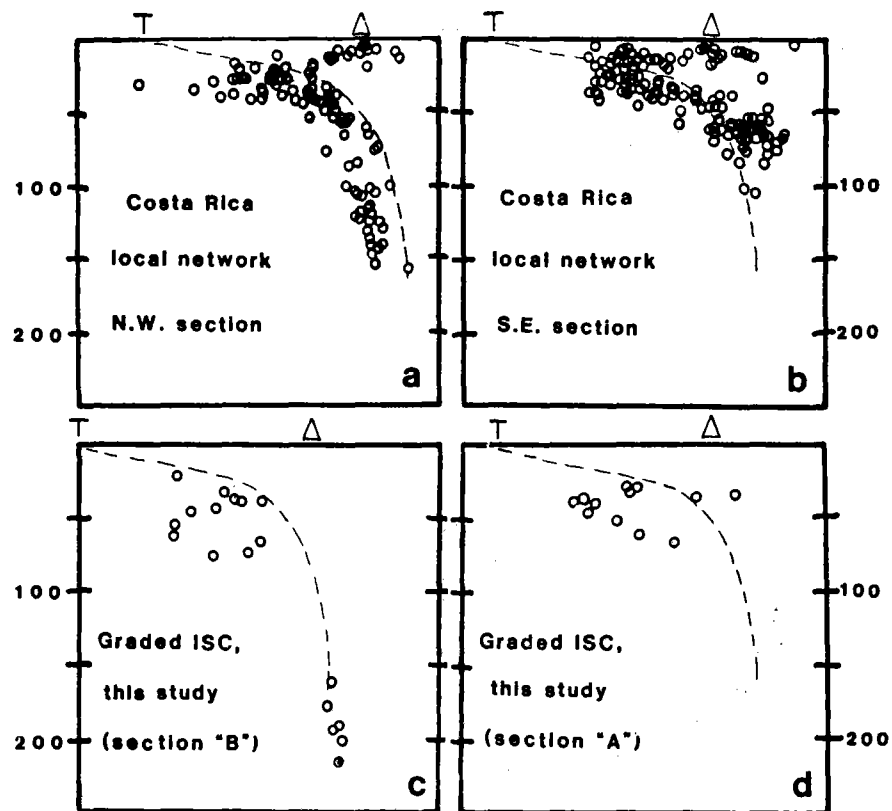
Un phénomène assez curieux a été noté sur la section 9 : une ligne de séismes monte en diagonale d'un plan de subduction fantôme vers l'axe volcanique. L'absence de plan visible par la sismicité ne signifie pas absence réelle de plaque océanique, cela signifie simplement que la température est déjà assez élevée pour qu'elle ait perdu son comportement 'fragile'. Par contre l'obliquité de la lignes de séismes reste un problème : ce phénomène semble pouvoir être observé sur d'autres sections (3, 6) mais il est moins net.

#### 4.5.6 - Le problème de la zone 3 du plan de subduction

La profondeur du plan de subduction au-dessus des autres zones du plan de subduction pose plusieurs problèmes quant à son origine. On note également que l'arc du fond de fossé est associé à un rayon de courbure que l'on considère comme trop petit (voir partie 4.3.4.2).

On avait déjà noté que la relation anormale rayon de courbure - profondeur du fossé pouvait s'expliquer soit par un approfondissement forcé de la plaque, soit par un amincissement de celle-ci. La faible profondeur du plan ne peut également s'expliquer que par une faible épaisseur de la lithosphère océanique. On avait également noté que la bathymétrie de cette région est très perturbée par de nombreux seamounts et zones de fracture (99°W à 96°W : planches 5 et 6). L'activité sismique est également très anormale au large du fossé dans cette région (voir carte des magnitudes : fig. 4.31).

## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE



**Figure 4.39** : Coupes de séismes au Costa Rica, couvrant les sections 24 (a et c) et 25 (b et d) de cette étude : en haut réseau local, en bas réseau régional avec correction de la localisation (Burbach, Frohlich et al., 1984)

La présence de nombreux seamounts et d'activité sismique montrent que la région présente très vraisemblablement de nombreuses remontées de magmas, celles-ci aboutissant à un amincissement de la croûte si ces remontées sont diffuses (seamounts), ou à l'ouverture océanique franche si elle est organisée comme dans la région de la Zone de Fracture de Mendaña au large du Pérou (Hilde & Warsi, 1982 et 1983).

Les cartes tirées des données Seasat (Haxby, 1983 ; Cazenave & Dominh, 1985) montrent également que la croûte océanique au large de cette portion du fossé montre une forte anomalie du géoïde et de la gravimétrie à grande longueur d'onde : une remontée de magma dans la croûte restant à sa profondeur d'origine peut en être l'explication.

La faible pente d'un plan de subduction s'explique habituellement par la subduction soit d'une lithosphère récente, soit d'une ride volcanique. Dans ce cas l'hypothèse de la croûte récente semble la plus adaptée : le même phénomène de plan de subduction à pente faible se produit lors de la subduction de la région de la Zone de Fracture de Mendaña sous le Pérou (Sacks, 1983 ; Bevis & Isacks, 1984).

#### 4.5.7 - Conclusions générales : conséquences de la dynamique des arcs de cercle, et tectonique des plaques dans la région d'Amérique Centrale

##### 4.5.7.1 - les conséquences de la dynamique des arcs de cercle

On a montré que le rayon des arcs de cercle était étroitement lié à la profondeur des fossés et donc en général à l'âge de la lithosphère qui y subducte.

Il est fort probable qu'une variation de l'âge relatif de la croûte océanique entraîne un changement dans le rayon de l'arc de cercle. Les probabilités de variations dans le temps de l'âge relatif de la croûte océanique arrivant aux fossés sont très grandes : en effet l'âge relatif ne reste constant que si la vitesse de subduction est égale au demi-taux d'accrétion au moment de la création de la croûte.

Si la lithosphère rajeunit relativement dans le temps en arrivant au fossé, le centre du cercle se rapproche du fossé et le rayon diminue, l'angle d'ouverture augmentant dans le même temps. Pour fermer l'arc de cercle il faut éroder les bords de l'arc (érosion tectonique) et/ou remplir la partie centrale de l'arc (accrétion). Si l'arc se ferme trop, il est vraisemblable que l'arc se divise au moins en deux parties.

Si la lithosphère vieillit relativement dans le temps en arrivant au fossé, le centre du cercle s'éloigne du fossé et le rayon augmente, l'angle d'ouverture diminuant dans le même temps. Pour ouvrir l'arc de cercle il faut éroder la partie centrale de l'arc (érosion tectonique) et/ou accréter sur les bords.

Ces conséquences sont des conséquences à petite échelle, et il est possible d'assister à de l'érosion tectonique et à de l'accrétion pour des réajustements locaux ou lorsque les conditions sont favorables.

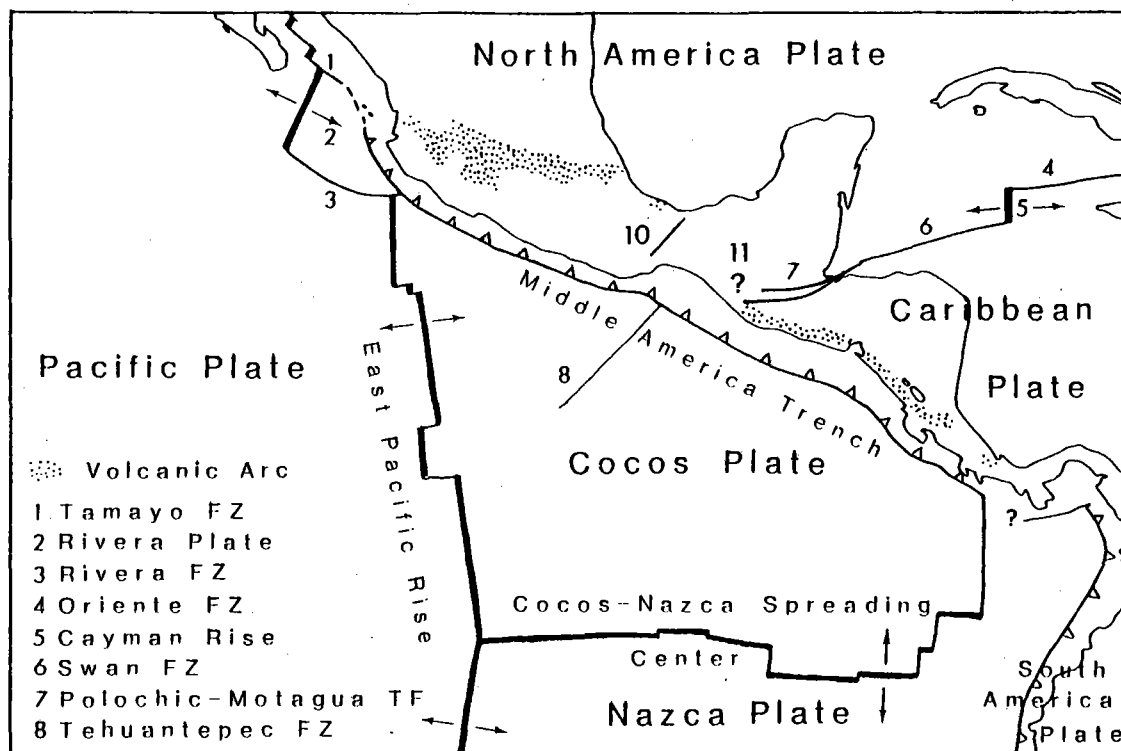
L'érosion tectonique à laquelle on assiste au large du Guatemala autour des sites du Leg 67 du Glomar Challenger situés dans la partie centrale d'un arc peut s'expliquer dans un contexte général : la croûte vieillit très vraisemblablement du fossé vers le large, ce qui signifie que l'âge de la croûte arrivant au fossé devient relativement de plus en plus âgée, en conséquence la courbure de la plaque diminue et le rayon de l'arc de l'axe du fossé augmente, nécessitant soit l'érosion du centre, soit le remplissage des extrémités, soit les deux (les extrémités étant liées à d'autres arcs le plus souvent, l'érosion du centre est vraisemblablement un phénomène commun dans ce type de situation).

Etant donné les incertitudes sur la tectonique océanique au large des sites du Leg 66 du Glomar Challenger (Mexique) l'interprétation de l'accrétion à une échelle régionale reste hasardeuse, la seule remarque possible dans ce cas est que la présence de grandes quantités de sédiments apportés par le canyon Ometepe est un élément favorable à la construction d'un prisme d'accrétion.

## LE FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

### 4.5.7.2 - la tectonique des plaques dans la région d'Amérique Centrale

Une des remarques de cette étude concerne le problème du point triple plaque Amérique du Nord - plaque Caraïbes - plaque Cocos. L'absence de volcanisme entre la faille Polochic et la projection en surface de la partie subductée de la Zone de Fracture Tehuantepec, alors que le plan de subduction révélé par la sismicité ne montre aucune anomalie, peut être interprétée, comme au Pérou (Sykes, 1972), comme l'indice probable d'une tectonique compressive dans cette région (fig. 4.40).



**Figure 4.40** : Carte schématique des limites de plaques dans la région d'Amérique Centrale montrant la Zone Fracture Tehuantepec subductée (10) et la zone de compression à la limite des plaques Amérique du Nord et Caraïbes (11). Trait épais : ride d'accrétion ; trait fin : zone de fracture ; triangles pointant dans la direction de la subduction le long des fossés

Le blocage vient sans doute du fait que le système de failles Polochic-Motagua n'est pas aligné sur le petit cercle de la Zone de Fracture Oriente. Ce blocage est confirmé par le faible déplacement quaternaire le long de la faille Chixoy-Polochic (Erdlarc & Anderson, 1982) et le plissement de la trace de la faille (Burkart, 1978). Pour que l'accrétion se poursuive le long de la Ride Cayman il faut que : soit la plaque Caraïbes s'éloigne vers l'Est, soit la plaque Amérique du Nord se déplace vers l'Ouest. Pour que la plus grande partie de la plaque Caraïbes se déplace vers l'Est sans que la partie la pente continentale ne bouge, il faut que de l'extension se produise, et la zone de faiblesse la plus évidente est l'arc volcanique. On remarque d'ailleurs sur la figure 4.9

que cet arc est parsemé de lacs et de baies. Ceux-ci peuvent représenter un début d'ouverture, qui pourrait aboutir à la création d'un bassin marginal. Pour que la plaque Amérique du Nord se déplace vers l'Ouest en l'absence de faille continue jusqu'au Fossé d'Amérique Centrale, il faut que de la compression se produise juste au Nord du système Polochic-Motagua (absence de volcanisme). L'extension de la zone de compression est difficile à déterminer.

Le rôle de la partie subductée de la Zone de Fracture de Tehuantepec en tant que limite du volcanisme est obscur car il semble exister un certain couplage entre la plaque subductée, au NW de la zone de fracture, et le Mexique sus-jacent. Le couplage mécanique est peut-être dû au fait que la plaque en cours de subduction possède une lithosphère en moyenne très jeune, et qui donc ne peut pas subduire à cause de sa densité inférieure à celle du manteau sous-jacent.

L'activité sismique existant au large du Fossé d'Amérique Centrale au Nord de la Zone de Fracture de Tehuantepec, liée à la présence de nombreux seamounts, confirme avec la remontée du plan de subduction moyen, le rajeunissement de la plaque océanique dans cette région. Les données étudiées ne permettent pas de dire si cette activité volcanique est organisée (accrétion le long de rides) ou diffuse (seamounts uniquement). Il est pourtant probable que cette activité est le signe d'un réajustement dans la tectonique globale. La longueur importante de la partie du plan de subduction affectée par ce rajeunissement relatif (au moins 450 km sur la section 11A, figure 4.36) révèle que celui-ci dure depuis longtemps (6 MY à la vitesse actuelle moyenne de 7.5 cm par an).

## REFERENCES

---

- AL-CHALABI M.. 1971. Reliability of the Rotation Pole in Continental Fitting. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 11, No. 1, p. 257-262.
- ALLENOU Jean-Paul, RENARD Vincent. 1978. Le Seabeam, Sondeur à Faisceaux Multiples du Navire Océanographique 'Jean Charcot'. Notice Technique. Centre National pour l'Exploitation des Océans, Rapports Scientifiques et Techniques No. 37, Centre Océanologique de Bretagne, 28 p., 15 fig..
- ANDERSON Roger N., DAVIS Earl E.. 1973. A Topographic Interpretation of the Mathematician Ridge, Clipperton Ridge, East Pacific Rise System. *Nature*, Vol. 241, No. 5386, p. 191-193.
- ANDERSON Roger N., HOBART Michael A., VON HERZEN R.P., FORNARI Daniel J.. 1978. Geophysical Surveys on the East Pacific Rise-Galapagos Rise System. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 54, No. 1, p. 141-166.
- ATWATER Tanya. 1970. Implications of Plate Tectonics for the Cenozoic Tectonic Evolution of Western North America. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 81, No. 12, p. 3513-3535.
- AUBOUIN Jean, AZEMA Jacques, RENARD Vincent, STEPHAN Jean-François. 1980. La Fosse d'Amérique Centrale : Données Tectoniques Nouvelles Issues des Forages I.P.O.D. et d'un Lever du Jean-Charcot au Sondeur Multifaisceaux (Sea-Beam). *Comptes Rendus Sommaires à la Société Géologique de France*, Tome 22, No. 5, p. 186-190.
- AUBOUIN Jean, STEPHAN Jean-François, RENARD Vincent, ROUMP Jacqueline, LONSDALE Peter. 1981. Subduction of the Cocos Plate in the Mid America Trench. *Nature*, Vol. 294, No. 5837, p. 146-150.
- AUBOUIN Jean, STEPHAN Jean-François, RENARD Vincent, ROUMP Jacqueline, LONSDALE Peter. 1982. A Seabeam Survey of the Leg 67 Area (Middle America Trench off Guatemala). *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, Vol. 67, Washington (U.S. Government Printing Office), p. 733-738.
- AUBOUIN Jean, STEPHAN Jean-François, ROUMP Jacqueline, RENARD Vincent. 1982. The Middle America Trench as an Example of a Subduction Zone. *Tectonophysics*, Vol. 86, No. 1/3, p. 113-132.
- AUBOUIN Jean, VON HUENE Roland, Equipe Scientifique du Leg 67 (AZEMA Jacques, COULBOURN William T., COWAN Darrel S., CURIALE Joseph A., DENGU Carlos A., FAAS Richard W., HARRISON William, HESSE Reinhard, LADD John W., MUZILEV Nikita, SHIKI Tsunemasa, THOMPSON Peter R., WESTBERG Jean). 1979. Premiers Résultats des Forages Profonds dans le Pacifique au Niveau de la Fosse du Guatemala (Fosse d'Amérique Centrale) (Leg 67 du 'Deep Sea Drilling Project' : Mai-Juin 1979). *Comptes Rendus Sommaires à l'Académie des Sciences*, Paris, Tome 289, Série D, p. 1215-1220.

BARAZANGI Muawia, ISACKS Bryan L.. 1976. Spatial Distribution of Earthquakes and Subduction of the Nazca Plate beneath South America. *Geology*, Vol. 4, No. 11, p. 686-692.

BATH Markus. 1982. Seismic Energy Mapping Applied to Sweden. *Tectonophysics*, Vol. 81, No. 1/2, p. 85-98.

BATH Markus. 1983. Earthquake Data Analysis : an Example from Sweden. *Earth-Science Reviews*, Vol. 19, No. 3, p. 181-303.

BAYLY Brian. 1982. Geometry of Subducted Plates and Island Arcs Viewed as a Buckling Problem. *Geology*, Vol. 10, No. 12, p. 629-632.

BENIOFF Hugo. 1949. Seismic Evidence for the Fault Origin of Oceanic Deeps. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 60, No. 12, p. 1837-1856.

BENIOFF Hugo. 1954. Orogenesis and Deep Crustal Structure - Additional Evidence From Seismology. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 65, No. 5, p. 385-400.

BEVIS Michael, ISACKS Bryan L.. 1984. Hypocentral Trend Surface Analysis : Probing the Geometry of Benioff Zones. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 89, No. B7, p. 6153-6170.

BODINE J.H., STECKLER M.S., WATTS A.B.. 1981. Observations of Flexure and the Rheology of the Oceanic Lithosphere. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 86, No. B5, p. 3695-3707.

BUCKNAM R.C., PLAFKNER George, SHARP R.V.. 1978. Fault Movement (Afterslip) Following the Guatemala Earthquake of February 4, 1976. *Geology*, Vol. 6, No. 3, p. 170-173.

BUFFLER Richard T.. 1982. Geologic Structure of the Forearc Region off the West Coast of Costa Rica in the Vicinity of the Nicoya Peninsula - Results of a Multifold Seismic Reflection Survey. Unpublished.

BURBACH George VanNess, FROHLICH Cliff, PENNINGTON Wayne D., MATUMOTO Tosimatu. 1984. Seismicity and Tectonics of the Subducted Cocos Plate. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 89, No. B9, p. 7719-7735.

BURKART Burke. 1978. Offset across the Polochic Fault of Guatemala and Chiapas, Mexico. *Geology*, Vol. 6, No. 6, p. 328-332.

CARR Michael J.. 1976. Underthrusting and Quaternary Faulting in Northern Central America. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 87, No. 5, p. 825-829.

CARR M.J., STOIBER R.E.. 1974. Intermediate Depth Earthquakes and Volcanic Eruptions in Central America, 1961-1972. *Bulletin Volcanologique*, Vol. 37, No. 3, p. 326-337.

CARR Michael J., STOIBER Richard E.. 1977. Geologic Setting of some Destructive Earthquakes in Central America. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 88, No. 1, p. 151-156.

CAZENAVE Anny, DOMINH Kien. 1985. Le Géolide Marin : Altimétrie par



Satellite et Structure des Océans. Géochronique, No. 14, p. 14-17.

CHAEI Eric P., STEWART Gordon S.. 1982. Recent Large Earthquakes along the Middle American Trench and their Implications for the Subduction Process. Journal of Geophysical Research, Vol. 87, No. B1, p. 329-338.

COUCH Richard, WOODCOCK Stephen. 1981. Gravity and Structure of the Continental Margins of Southwestern Mexico and Northwestern Guatemala. Journal of Geophysical Research, Vol. 86, No. B3, p. 1829-1840.

CROWE John C., BUFFLER Richard T.. 1983. Regional Seismic Reflection Profiles across the Middle America Trench and Convergent Margin of Costa Rica. In 'Seismic Expression of Structural Styles', A.W. Bally ed., American Association of Petroleum Geologists, Studies in Geology Series No. 15.

DEAN Bradley W., DRAKE Charles L.. 1978. Focal Mechanism Solutions and Tectonics of the Middle America Arc. Journal of Geology, Vol. 86, No. 1, p. 111-128.

DEWEY James W., ALGERMISSEN S.T.. 1974. Seismicity of the Middle America Arc-Trench System near Managua, Nicaragua. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 64, No. 4, p. 1033-1048.

DOBRIN Milton B.. 1976. Introduction to Geophysical Prospecting. Mc-Graw Hill, 630 p. (Third edition).

ERDLAC Richard J. Jr., ANDERSON Thomas H.. 1982. The Chixoy-Polochic Fault and its Associated Fractures in Western Guatemala. Geological Society of America Bulletin, Vol. 93, No. 1, p. 57-67.

FISHER Robert L.. 1961. Middle America Trench : Topography and Structure. Geological Society of America Bulletin, Vol. 72, No. 5, p. 703-720.

FRANK F.C.. 1968. Curvature of Island Arcs. Nature, Vol. 220, No. 5165, p. 363.

FRENCH W.S., HENSON C.G.. 1978. Signature Measurements on the Water Gun Marine Seismic Source. Offshore Technology Conference OTC 3124, p. 631-638.

GRELET Catherine, DUBOIS Jacques. 1982. The Depth of Trenches as a Function of the Subduction Rate and Age of the Lithosphere. Tectonophysics, Vol. 82, No. 1/2, p. 45-56.

HANUS Vaclav, VANEK Jiri. 1977. Subduction of the Cocos Plate and Deep Active Fracture Zones of Mexico. Geofisica Internacional, Vol. 17, No. 1, p. 14-53.

HARLOW David H., WHITE Randall A., CIFUENTES Ines Lucia, ABURTO Arturo G.. 1981. Quiet Zone within a Seismic Gap near Western Nicaragua : Possible Location of a Future Large Earthquake. Science, Vol. 213, No. 4508, p. 648-651.

HAXBY William F.. 1983. Gravity Field of the World's Oceans Recovered from Seasat Altimeter Data. Lamont-Doherty Geological Observatory Map.

HEEZEN B.C., MACGREGOR I.D., FOREMAN H.P., FORRISTALL G., HEKEL H., HESSE

R., HOSKINS R.H., JONES E.J.W., KANEPS A., KRASHENINNIKOV V.A., OKADA H., RUEF M.H.. 1973. The Post Jurassic Sedimentary Sequence on the Pacific Plate ; a Kinematic Interpretation of Diachronous Deposits. Initial Reports of the Deep Sea drilling Project, Vol. 20, Washington (U.S. Government Printing Office), p. 725-738.

HEISKANEN W.A., VENING MEINESZ F.A.. 1958. The Earth and its Gravity Field. McGraw-Hill, New York, 470 p..

HERRON Ellen M.. 1972. Sea-Floor Spreading and the Cenozoic History of the East-Central Pacific. Geological Society of America Bulletin, Vol. 83, No. 6, p. 1671-1691.

HESS Harry H.. 1962. History of Ocean Basins. In 'Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals', Allan Cox ed., W.H. Freeman and Company, p. 23-38 (from 'Petrological Studies', A.E.J. Engel, H.L. James & B.F. Leonard eds., Geological Society of America, p. 599-620).

HEY Richard, JOHNSON G. Leonard, LOWRIE Allen. 1977. Recent Plate Motions in the Galapagos Area. Geological Society of America Bulletin, Vol. 88, No. 10, p. 1385-1403.

HILDE Thomas W.C., UYEDA Seiya. 1983. Trench Depth : Variation and Significance. In 'Geodynamics of the Western Pacific-Indonesian Region', Thomas W.C. Hilde & Seiya Uyeda eds., Geodynamics Series, Vol. 11, American Geophysical Union, p. 75-89.

HILDE T.W.C., WARSI W.E.K.. 1982. Subduction Induced Rifting of the Nazca Plate along the Mendana Fracture Zone. EOS, Vol. 63, No. 18, p. 444.

HILDE T.W.C., WARSI W.E.K.. 1983. Subduction Origin of Seafloor Spreading. In '5th Annual Geodynamics Research Program Symposium', Texas A & M University, April 28-29 1983, 2 p..

HOLLISTER Charles D., GLENN Morris F., LONSDALE Peter F.. 1978. Morphology of Seamounts in the Western Pacific and Philippine Basin from Multi-Beam Sonar Data. Earth and Planetary Science Letters, Vol. 41, No. 4, p. 405-418.

HOLMES Arthur. 1944. The Machinery of Continental Drift : the Search for a Mechanism. In 'Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals', Allan Cox ed., W.H. Freeman and Company, p. 19-22 (from 'Principles of Physical Geology', Thomas Nelson & Sons, The Ronald Press, p. 505-509).

IAGA Division 1, Working Group 1. 1981. International Geomagnetic Reference Fields : DGRF 1965, DGRF 1970, DGRF 1975, and IGRF 1980. EOS, Vol. 62, No. 49, p. 1169.

ISACKS Bryan L., BARAZANGI Muawia. 1977. Geometry of Benioff Zones : Lateral Segmentation and Downwards Bending of the Subducted Lithosphere. In 'Island Arcs, Deep Sea Trenches and Back-Arc Basins', M. Talwani & W.C. Pitman III eds., American Geophysical Union Maurice Ewing Series No. 1, p. 99-114.

ISACKS Bryan, OLIVER Jack, SYKES Lynn R.. 1968. Seismology and the New Global Tectonics. Journal of Geophysical Research, Vol. 73, No. 18, p. 5855-5899.

- JORDAN Thomas H.. 1975. The Present-Day Motions of the Caribbean Plate. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 80, No. 32, p. 4433-4439.
- KLITGORD Kim D., MAMMERICKX Jacqueline. 1982. Northern East Pacific Rise : Magnetic Anomaly and Bathymetric Framework. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 87, No. B8, p. 6725-6750.
- LADD J.W., IBRAHIM A.K., MCMILLEN K.J., LATHAM G.V., VON HUENE R.E., WATKINS J.S., MOORE J.C., WORZEL J.L.. 1978. Tectonics of the Middle America Trench Offshore Guatemala. In 'International Symposium of the Guatemala 4 February Earthquake and Reconstruction Process', Guatemala City, May 1978, Vol. 1, 17 p..
- LAMOREAUX R., URIBE A., NYLAND E.. 1983. Bursts of Seismicity near the Cocos-North American-Caribbean Triple Junction. *Tectonophysics*, Vol. 91, No. 1/2, p. 1-13.
- LARAVIE Joseph A.. 1975. Geometry and Lateral Strain of Subducted Plates in Island Arcs. *Geology*, Vol. 3, No. 9, p. 484-486.
- LEEDS David J.. 1974. Catalog of Nicaraguan Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 64, No. 4, p. 1135-1158.
- LEG 84 Shipboard Party. 1982. On Leg 84 Challenger Drills again off Guatemala. *Geotimes*, Vol. 27, No. 7, p. 23-25.
- LE PICHON Xavier. 1968. Sea-Floor Spreading and Continental Drift. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 73, No. 12, p. 3661-3697.
- LONSDALE Peter, KLITGORD Kim D.. 1978. Structure and Tectonic History of the Eastern Panama Basin. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 89, No. 7, p. 981-999.
- LOWRIE Allen. 1978. Buried Trench South of the Gulf of Panama. *Geology*, Vol. 6, No. 7, p. 434-436.
- LOWRIE Allen, AITKEN Thomas, GRIM Paul, MCRANEY Linda. 1979. Fossil Spreading Center and Faults within the Panama Fracture Zone. *Marine Geophysical Researches*, Vol. 4, No. 2, p. 153-166.
- LUPSIN G.. 1955. Notes de Trigonométrie Sphérique à l'Usage des Elèves des Classes Scientifiques des Humanités. Collection G. Lupsin, Namur-Bruxelles, 94 p..
- MACDONALD Ken C., HOLCOMBE T.L.. 1978. Inversion of Magnetic Anomalies and Sea-Floor Spreading in the Cayman Trough. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 40, No. 3, p. 407-414.
- MAMMERICKX J.. 1980. Neogene Reorganization of Spreading between the Tamayo and Rivera Fracture Zone. *Marine Geophysical Researches*, Vol. 4, No. 3, p. 305-318.
- MAMMERICKX Jacqueline. 1981. Depth Anomalies in the Pacific : Active, Fossil and Precursor. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 53, No. 2, p. 147-157.
- MAMMERICKX J.. 1984. The Morphology of Propagating Spreading Centers : New and Old. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 89, No. B3, p. 1917-1828.

MAMMERICKX Jacqueline, ANDERSON Roger N., MENARD Henry W., SMITH Stuart M.. 1975. Morphology and Tectonic Evolution of the East-Central Pacific. Geological Society of America Bulletin, Vol. 86, No. 1, p. 111-117.

MAMMERICKX J., SMITH S.M.. 1978. Bathymetry of the Southeast Pacific. Geological Society of America Map and Chart Series, MC-26.

MAMMERICKX J., SMITH S.M.. 1981. Bathymetry of the Northeast Pacific. Geological Society of America Map and Chart Series, MC-43.

MCKENZIE Dan P., PARKER Robert L.. 1967. The North Pacific : an Example of Tectonics on a Sphere. In 'Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals', Allan Cox ed., W.H. Freeman and Company, p. 57-64 (from Nature, Vol. 216, p. 1276-1280).

MCNALLY Karen C., MINSTER J. Bernard. 1981. Nonuniform Seismic Slip Rates along the Middle America Trench. Journal of Geophysical Research, Vol. 86, No. B6, p. 4949-4959.

MENARD H.W.. 1978. Fragmentation of the Farallon Plate by Pivoting Subduction. Journal of Geology, Vol. 86, No. 1, p. 99-110.

MINSTER J. Bernard, JORDAN Thomas H.. 1978. Present-Day Plate Motions. Journal of Geophysical Research, Vol. 83, No. B11, p. 5331-5354.

MINSTER J.B., JORDAN T.H., MOLNAR P., HAINES E.. 1974. Numerical Modelling of Instantaneous Plate Tectonics. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, Vol. 36, No. 3, p. 541-576.

MOLNAR Peter, FREEDMAN David, SHIH John S.F.. 1979. Lengths of Intermediate and Deep Seismic Zones and Temperatures in Downgoing Slabs of Lithosphere. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, Vol. 56, No. 1, p. 41-54.

MOLNAR Peter, SYKES Lynn R.. 1969. Tectonics of the Caribbean and Middle America Regions from Focal Mechanisms and Seismicity. Geological Society of America Bulletin, Vol. 80, No. 9, p. 1639-1684.

MOORE Gregory F., LONSDALE Peter, VON HUENE Roland. 1982. Near-Bottom Observations of the Middle America Trench off Guatemala. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 67, Washington (U.S. Government Printing Office), p. 707-718.

MOORE J. Casey, WATKINS Joel S., BACHMANN Steven B., BEGHEL Floyd W., BUTT Arif, DIDYK Borys M., LEGGETT Jeremy K., LUNDBERG Neil, MCMILLEN Kenneth J., NIITSUMA Nobuaki, SHEPARD Les E., SHIPLEY Thomas H., STEPHAN Jean-François, STRADNER Herbert. 1979. Off Mexico : Middle American Trench. Geotimes, Vol. 24, No. 9, p. 20-22.

MOORE J. Casey, WATKINS Joel S., SHIPLEY Thomas H.. 1981. Summary of Accretionary Processes, Deep Sea Drilling Project Leg 66 : Offscraping, Underplating, and Deformation of the Slope Apron. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 66, Washington (U.S. Government Printing Office), p. 825-836.

MOORE J. Casey, WATKINS Joel S., SHIPLEY Thomas H., BACHMAN Steven B., BEGHEL Floyd W., BUTT Arif, DIDYK Borys M., LEGGETT Jeremy K., LUNDBERG

Neil, MCMILLEN Kenneth J., NIITSUMA Nobuaki, SHEPARD Les E., STEPHAN Jean-François, STRADNER Herbert. 1979. Progressive Accretion in the Middle America Trench, Southern Mexico. *Nature*, Vol. 281, No. 5733, p. 638-642.

MOORE J. Casey, WATKINS Joel S., SHIPLEY Thomas H., MCMILLEN Kenneth J., BACHMAN Steven B., LUNDBERG Neil. 1982. Geology and Tectonic Evolution of a Juvenile Accretionary Terrane along a Truncated Convergent Margin : Synthesis of Results from Leg 66 of the Deep Sea Drilling Project, Southern Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 93, No. 9, p. 847-861.

MORGAN W. Jason. 1968. Rises, Trenches, Great Faults, and Crustal Blocks. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 73, No. 6, p. 1959-1982.

NIXON Graham T.. 1982. The Relationship between Quaternary Volcanism in Central Mexico and the Seismicity and Structure of Subducted Ocean Lithosphere. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 93, No. 6, p. 514-523.

PARKER R.L., OLDENBURG D.W.. 1973. Thermal Model of Ocean Ridges. *Nature Physical Science*, Vol. 242, No. 122, p. 137-139.

PARSONS Barry, SCLATER John G.. 1977. An Analysis of the Variation of Ocean Floor Bathymetry and Heat Flow with Age. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 82, No. 5, p. 803-827.

PLAFKER George. 1976. Tectonic Aspects of the Guatemala Earthquake of 4 February 1976. *Science*, Vol. 193, No. 4259, p. 1201-1208.

RENARD Vincent, ALLENOU Jean-Paul. 1979. Le Sea-Beam, Sondeur à Multi-Faisceaux du N/O 'Jean Charcot'. Description, Evaluation et Premiers Résultats. *Revue Hydrographique Internationale*, Monaco, Vol. 56, No. 1, p. 35-71.

RENARD Vincent, ALLENOU Jean-Paul. 1979. Sea Beam, Multi-Beam Echo-Sounding in 'Jean Charcot'. Description, Evaluation and First Results. *International Hydrographic Review*, Monaco, Vol. 56, No. 1, p. 35-67.

RENARD Vincent, AUBOUIN Jean, LONSDALE Peter, STEPHAN Jean-François. 1980. Premiers Résultats d'une Etude de la Fosse d'Amérique Centrale au Sondeur Multifaisceaux (Seabeam). *Comptes Rendus à l'Académie des Sciences, Paris*, Tome 291, Série D, p. 137-142.

RENARD Vincent, NEEDHAM David. 1983. Le Sondeur à Multi-Faisceaux, Outil de Reconnaissance Morphologique et Structurale des Fonds Marins. In 'Guide Offshore/French Offshore Yearbook 1983', Ed. O. Lesourd, Paris, p. 49-57.

RENARD Vincent, NEEDHAM David. 1983. The Multi-Beam Echosounder, a Seafloor Morphological and Structural Exploration Tool. In 'Guide Offshore/French Offshore Yearbook 1983', Ed. O. Lesourd, Paris, p. 170-178.

ROSS David A., SHOR George G. Jr.. 1965. Reflection Profiles across the Middle America Trench. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 70, No. 22, p. 5551-5572.

ROUMP Jacqueline. 1981. Du Fossé d'Amérique Centrale à la Plaque Pacifique : Etude Morphologique au Sondeur Multifaisceaux Seabeam. *Mémoire*

de D.E.A., Sciences de la Terre, Brest, 77 p..

ROUMP Jacqueline, RENARD Vincent, LONSDALE Peter, STEPHAN Jean-François, AUBOUIN Jean. 1981. Results of a Seabeam Survey in the Leg 66 Trench Area. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 66, Washington (U.S. Government Printing Office), p. 859-862.

SACKS I.S.. 1983. The Subduction of Young Lithosphere. Journal of Geophysical Research, Vol. 88, No. B9, p. 3355-3366.

SAGER William W.. 1984. Paleomagnetism of Abbott Seamount and Implications for the Latitudinal Drift of the Hawaiian Hot Spot. Journal of Geophysical Research, Vol. 89, No. B7, p. 6271-6284.

SALVADOR Amos, GREEN Arthur R.. 1980. Opening of the Caribbean Tethys (Origin and Development of the Caribbean and the Gulf of Mexico). In 'Géologie des Chaines Alpines Issues de la Téthys (Geology of the Alpine Chains Born of the Tethys)', Mémoire du B.R.G.M. No. 115 (Colloq. C5, 26th CGI, Paris 1980), p. 224-229.

SEELY D.R., VAIL P.R., WALTON G.G.. 1974. Trench Slope Model. In 'The Geology of Continental Margins', C.A. Burk & C.L. Drake eds., Springer-Verlag, p. 249-260.

SHIPLEY Thomas H., HOUSTON Mark H., BUFFLER Richard T., SHAUB F. Jeanne, MCMILLEN Kenneth J., LADD John W., WORZEL J. Lamar. 1979. Seismic Evidence for Widespread Possible Gas Hydrate Horizons on Continental Slopes and Rises. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, Vol. 63, No. 12, p. 2204-2213.

SHIPLEY Thomas H., MCMILLEN Kenneth J., WATKINS Joel S., MOORE J. Casey, SANDOVAL-OCHOA J. Hector, WORZEL J. Lamar. 1980. Continental Margin and Lower Slope Structures of the Middle America Trench near Acapulco (Mexico). Marine Geology, Vol. 35, No. 1/3, p. 65-82.

SHIPLEY Thomas H., MOORE Gregory F.. 1984. Sediment Accretion and Subduction in the Middle America Trench. In 'Proceedings of the OJI International Seminar on the Formation of Ocean Margins', Tokyo, Nov. 1983.

SHOR George G. Jr., FISHER Robert L.. 1961. Middle America Trench : Seismic-Refraction Studies. Geological Society of America Bulletin, Vol. 72, No. 5, p. 721-729.

STOIBER R.E., CARR M.J.. 1974. Quaternary Volcanic and Tectonic Segmentation of Central America. Bulletin Volcanologique, Vol. 37, No. 3, p. 304-325.

SYKES Lynn R.. 1972. Seismicity as a Guide to Global Tectonics and Earthquake Prediction. Tectonophysics, Vol. 13, No. 1/4, p. 393-414.

SYKES Lynn R., MCCANN William R., KAFKA Alan L.. 1982. Motion of Caribbean Plate during Last 7 Million Years and Implications for Earlier Cenozoic Movements. Journal of Geophysical Research, Vol. 87, No. B13, p. 10656-10676.

TATSUMI Yoshiyuki, SAKUYAMA Masanori, FUKUYAMA Hiroyuki, KUSHIRO Ikuo. 1983. Generation of Arc Basalt Magmas and Thermal Structure of the Mantle

Wedge in Subduction Zones. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 88, No. 87, p. 5815-5825.

TAYLOR Patrick T., STANLEY Daniel Jean, SIMKIN Tom, JAHN Walter. 1975. Gilliss Seamount : Detailed Bathymetry and Modification by Bottom Currents. *Marine Geology*, Vol. 19, No. 3, p. 139-157.

TAYLOR Patrick T., WOOD Charles A., O'HEARN Timothy J.. 1980. Morphological Investigations of Submarine Volcanism : Henderson Seamount. *Geology*, Vol. 8, No. 8, p. 390-395.

TOMODA Yoshihumi, FUJIMOTO Hiromi. 1983. Roles of Seamount, Rise, and Ridge in Lithospheric Subduction. In 'Accretion Tectonics in the Circum-Pacific Regions', M. Hashimoto & S. Uyeda eds., Terra Scientific Publishing Co. (TERRAPUB), Tokyo, p. 319-331.

TOVISH Aaron, SCHUBERT Gerald. 1978. Island Arc Curvature, Velocity of Convergence and Angle of Subduction. *Geophysical Research Letters*, Vol. 5, No. 5, p. 329-332.

TREHU Anne Martine. 1975. Depth versus  $(Age)^{1/2}$  : a Perspective on Mid-Ocean Rises. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 27, No. 2, p. 287-304.

VINE Fred J., MATTHEWS Drummond H.. 1963. Magnetic Anomalies over Oceanic Ridges. In 'Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals', Allan Cox ed., W.H. Freeman and Company, p. 232-237 (from *Nature*, Vol. 199, p. 947-949).

VOGT P.R., LOWRIE A., BRACEY D.R., HEY R.N.. 1976. Subduction of Aseismic Oceanic Ridges : Effects on Shape, Seismicity, and Other Characteristics of Consuming Plate Boundaries. *Geological Society of America Special Paper* 172, 59 p..

VOLPE A.M., SHIPLEY T.H., MOORE G.F.. 1985. A High Resolution Geophysical Survey of Deep Sea Drilling Project Leg 84 Site 570. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 84, Washington (U.S. Government Printing Office), p. 851-860.

VON HUENE Roland, AUBOUIN Jean, AZEMA Jacques, BLACKINTON Grant, CARTER Jerry A., COULBOURN William T., COWAN Darrel S., CURIALE Joseph A., DENGU Carlos A., FAAS Richard W., HARRISON William, HESSE Reinhard, HUSSONG Donald M., LADD John W., MUZILOV Nikita, SHIKI Tsunemasa, THOMPSON Peter R., WESTBERG Jean. 1980. Leg 67 : the Deep Sea Drilling Project Mid-America Trench Transect off Guatemala. *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 91, No. 7, Part 1, p. 421-432.

WATKINS Joel S., MCMILLEN Kenneth J., BACHMAN Steven B., SHIPLEY Thomas H., MOORE J. Casey, ANGEVINE Charles. 1981. Tectonic Synthesis, Leg 66 : Transect and Vicinity. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 66, Washington (U.S. Government Printing Office), p. 837-849.

WEGENER Alfred. 1929. *The Origin of Continents and Oceans*. Dover Publications Inc., New York, 246 p. (1966 translation of 'Die Entstehung der Kontinente und Ozeane').

WILSON J. Tuzo. 1965. A New Class of Faults and their Bearing on Continental Drift. *Nature*, Vol. 207, No. 4995, p. 343-347.

YAMANO M., UYEDA S., AOKI Y., SHIPLEY T.H.. 1982. Estimates of Heat Flow Derived from Gas Hydrates. *Geology*, Vol. 10, No. 7, p. 339-343.

**ANNEXES**



## SOMMAIRE

	<u>INTRODUCTION</u>	A0-1
A1	<u>CORRECTION DES ANOMALIES MAGNETIQUES</u>	A1-1
A1.1	Introduction des données et programme de correction de la navigation, calcul de l'anomalie magnétique	A1-2
A1.1.1	CBEAMNAV : Programme d'introduction données de correction Seabeam	A1-3
A1.1.2	ORIGNAV : Programme d'introduction et de traduction des données originales magnétisme	A1-4
A1.1.3	Le programme 'NAVMAGCR'	A1-5
A1.2	Correction de la variation diurne du champ magnétique	A1-6
A1.2.1	Le programme 'ANOCOREC'	A1-6
A1.2.2	Le programme 'MAGCOREC'	A1-7
A2	<u>CALCULS DES MOUVEMENTS DES PLAQUES D'APRES LE MODELE RM2 DE MINSTER ET JORDAN (1978)</u>	A2-1
A2.1	Fichiers de données 'FMATPNT.DAT'	A2-2
A2.2	Programme 'PLATES.C'	A2-2
A2.2.1	Présentation et questions	A2-2
A2.2.2	Lecture des données	A2-3
A2.2.3	Calcul des valeurs principales de vitesse et de direction	A2-3
A2.2.4	Seconde partie du calcul : valeurs limites de vitesse et de direction données par l'intervalle de confiance	A2-3
A2.2.5	Impression des résultats	A2-4
A2.2.6	Fonctions et sous-programmes	A2-5

<b>A3</b>	<b><u>CONVERSIONS D'ECHELLES FRACTIONNAIRES EN POUCES-PAR-DEGRE-DE-LONGITUDE ET INVERSEMENT</u></b>	<b>A3-1</b>
	A3.1 Présentation et questions	A3-2
	A3.2 Calculs	A3-2
	A3.3 Impression du tableau de conversion	A3-3
	A3.4 Dessin du graphique de conversion	A3-3
	A3.5 Sous-programmes du traceur Benson	A3-3
<b>A4</b>	<b><u>PROFIL DU FOND DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE</u></b>	<b>A4-1</b>
	A4.1 Données 'MATRENCH.DAT'	A4-2
	A4.2 Programme 'RANPROFL.BAS'	A4-3
	A4.3 Programme 'PROFILE.BAS'	A4-3
	A4.3.1 Présentation et questions	A4-3
	A4.3.2 Calculs	A4-4
	A4.3.3 Impression des résultats	A4-4
	A4.3.4 Dessin schématique du profil	A4-5
	A4.3.5 Limites du programme	A4-5
	A4.4 Programme 'MATPROFILE'	A4-6
<b>A5</b>	<b><u>RECHERCHE DE CENTRES DE CERCLES SUR LA SPHERE</u></b>	<b>A5-1</b>
	A5.1 Programme 'DISSMCRC.BAS'	A5-2
	A5.1.1 Fichiers de données	A5-2
	A5.1.2 Présentation et questions	A5-3
	A5.1.3 Calculs et impression des résultats	A5-3
	A5.1.4 Représentation graphique des résultats	A5-4
	A5.1.5 Copie d'écran	A5-5
	A5.2 Programme 'DIRSMCRC.BAS'	A5-5
	A5.2.1 Fichiers de données	A5-5
	A5.2.2 Présentation et questions	A5-5
	A5.2.3 Calculs et impression des résultats	A5-6
	A5.2.4 Représentation graphique des résultats	A5-7
	A5.2.5 Copie d'écran	A5-8
<b>A6</b>	<b><u>RELATION PROFONDEUR-DU-FOSSE - RAYON-DU-CERCLE</u></b>	<b>A6-1</b>
	A6.1 Programme 'MEANDEPT.BAS'	A6-2

	A6.1.1	Présentation, données et questions	A6-2
	A6.1.2	Calculs	A6-3
	A6.1.3	Impression des résultats	A6-3
A6.2		Programme 'RADEPTH'	A6-4
	A6.2.1	Présentation et données	A6-4
	A6.2.2	Dessin	A6-4
A7		<u>POSITIONS DE POINTS EN FONCTION DE LA DISTANCE ET DE LA DIRECTION SUR LA SPHERE, DISTANCE LE LONG DE DROITES DE POINTS PROJETES</u>	A7-1
A6.1		Fichiers de données	A7-2
A7.2		Programme 'POINTS.BAS'	A7-2
	A7.2.1	Présentation, lecture des données et titre	A7-3
	A7.2.2	Calculs	A7-3
	A7.2.3	Impression des résultats	A7-3
A7.3		Programme 'PROPOINT.BAS'	A7-3
	A7.3.1	Présentation et questions	A7-3
	A7.3.2	Calculs	A7-4
	A7.3.3	Impression des données et des résultats	A7-4
A8		<u>REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS SUR DIAGRAMMES X-Y</u>	A8-1
A8.1		Programme 'POINT PLOTTING'	A8-2
	A8.1.1	Fichiers de données	A8-2
	A8.1.2	Présentation et questions	A8-2
	A8.1.3	Dessin du graphique	A8-3
	A8.1.4	Sous-programmes du traceur Benson	A8-3
A8.2		Programme 'LINEDRAW.BAS'	A8-3
	A8.2.1	Fichiers de données	A8-3
	A8.2.2	Présentation et questions	A8-4
	A8.2.3	Dessin du graphique linéaire	A8-4
A9		<u>REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS SUR CARTES</u>	A9-1
A9.1		Programme 'MERCATOR'	A9-2
	A9.1.1	Fichiers de données	A9-2
	A9.1.2	Présentation et questions	A9-2
	A9.1.3	Calcul des coordonnées sur papier de tous les points utiles	A9-3
	A9.1.4	Dessin de la carte	A9-3
	A9.1.5	Sous-programmes du traceur Benson	A9-4

A9.2	Programme 'MERVECTR.BAS'	A9-4
A9.2.1	Fichiers de données	A9-4
A9.2.2	Présentation et questions	A9-4
A9.2.3	Calcul des coordonnées sur papier de tous les points utiles	A9-5
A9.2.4	Dessin de la carte	A9-5
<b>A10</b>	<b><u>SEISMES : CARTE DES MAGNITUDES ET COUPES</u></b>	<b>A10-1</b>
A10.1	Programme 'SEISEDIT.BAS'	A10-2
A10.2	Programme 'ERSQEDIT.BAS'	A10-3
A10.3	Programme 'SEISMES.BAS'	A10-3
A10.3.1	Présentation et questions	A10-3
A10.3.2	Lecture des données et calculs	A10-4
A10.3.3	Impression des résultats	A10-5
A10.3.4	Conclusions	A10-6
A10.4	Programme 'SEISSORT.BAS'	A10-6
A10.4.1	Présentation et questions	A10-6
A10.4.2	Tri des séismes et calcul des distances le long des lignes de projection	A10-6
A10.4.3	Impression des résultats	A10-7
A10.4.4	Conclusions	A10-7
A10.5	Programme 'CROSSECTION'	A10-7
A10.5.1	Fichiers de données	A10-8
A10.5.2	Présentation et questions	A10-8
A10.5.3	Construction des lignes de commentaires	A10-9
A10.5.4	Calcul des positions des points et dessin des coupes	A10-9
A10.5.5	Sous-programmes spécifiques	A10-11
A10.5.6	Sous-programmes du traceur Benson	A10-12
	<b><u>CONSTANTES ET FORMULES MATHÉMATIQUES</u></b>	<b>A11-1</b>
<b>B1</b>	<b><u>LEVE BATHYMETRIQUE 'COSTA RICA I' : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES</u></b>	<b>B1-1</b>
<b>B2</b>	<b><u>PLAN DE SUBDUCTION SOUS L'AMÉRIQUE CENTRALE : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES</u></b>	<b>B2-1</b>

## TABLE OF CONTENTS

	<u>INTRODUCTION</u>	A0-1
A1	<u>CORRECTION OF MAGNETIC ANOMALIES</u>	A1-1
A1.1	Programs to input the data and the navigation corrections, and to compute of the magnetic anomaly	A1-2
A1.1.1	CBEAMNAV : Program to input Seabeam correction data	A1-3
A1.1.2	ORIGNAV : Program to input and translate original magnetic data	A1-4
A1.1.3	'NAVMAGCR' program	A1-5
A1.2	Correction of the diurnal variation of the magnetic field	A1-6
A1.2.1	'ANOCOREC' program	A1-6
A1.2.2	'MAGCOREC' program	A1-7
A2	<u>COMPUTATION OF THE PLATES MOTIONS FROM RM2 MODEL (MINSTER &amp; JORDAN, 1978)</u>	A2-1
A2.1	Data files 'FMATPNT.DAT'	A2-2
A2.2	'PLATES.C' program	A2-2
A2.2.1	Presentation and questions	A2-2
A2.2.2	Data reading	A2-3
A2.2.3	Computation of the main values of speed and direction	A2-3
A2.2.4	Second part of the computation : limit values of speed and direction from confidence interval	A2-3
A2.2.5	Results printing	A2-4
A2.2.6	Functions and subroutines	A2-5
A3	<u>CONVERSION FROM FRACTIONAL SCALES TO INCHES-PER-DEGREE-OF-LONGITUDE AND INVERSELY</u>	A3-1
A3.1	Presentation and questions	A3-2

A3.2	Computations	A3-2
A3.3	Printing of conversion table	A3-3
A3.4	Drawing of conversion graph	A3-3
A3.5	Benson plotter subroutines	A3-3
<b>A4</b>	<b><u>MIDDLE AMERICA TRENCH AXIS PROFILE</u></b>	<b>A4-1</b>
A4.1	'MATRENCH.DAT' data	A4-2
A4.2	'RANPROFL.BAS' program	A4.3
A4.3	'PROFILE.BAS' program	A4-3
A4.3.1	Presentation and questions	A4-3
A4.3.2	Computations	A4-4
A4.3.3	Results printing	A4-4
A4.3.4	Schematic drawing of the profile	A4-5
A4.3.5	Program limits	A4-5
A4.4	'MATPROFILE' program	A4-6
<b>A5</b>	<b><u>SEARCH FOR CIRCLES CENTERS ON A SPHERE</u></b>	<b>A5-1</b>
A5.1	'DISSMCRC.BAS' program	A5-2
A5.1.1	Data files	A5-2
A5.1.2	Presentation and questions	A5-3
A5.1.3	Computations and printing of the results	A5-3
A5.1.4	Graphic representation of the results	A5-4
A5.1.5	Screen copy	A5-5
A5.2	'DIRSMCRC.BAS' program	A5-5
A5.2.1	Data files	A5-5
A5.2.2	Presentation and questions	A5-5
A5.2.3	Computations and printing of the results	A5-6
A5.2.4	Graphic representation of the results	A5-7
A5.2.5	Screen copy	A5-8
<b>A6</b>	<b><u>RELATIONSHIP BETWEEN DEPTH-OF-THE-TRENCH AND RADIUS-OF-THE-CIRCLE</u></b>	<b>A6-1</b>
A6.1	'MEANDEPT.BAS' program	A6-2
A6.1.1	Presentation, data and questions	A6-2
A6.1.2	Computations	A6-3
A6.1.3	Results printing	A6-3
A6.2	'RADEPTH' program	A6-4
A6.2.1	Presentation and data	A6-4
A6.2.2	Drawing	A6-4

<b>A7</b>	<b><u>POINTS LOCATION AS A FUNCTION OF THE DISTANCE AND DIRECTION ON A SPHERE, DISTANCE OF PROJECTED POINTS ALONG LINES</u></b>	<b>A7-1</b>
A7.1	Data files	A7-2
A7.2	'POINTS.BAS' program	A7-2
A7.2.1	Presentation, data reading and title	A7-3
A7.2.2	Computations	A7-3
A7.2.3	Results printing	A7-3
A7.3	'PROPOINT.BAS' program	A7-3
A7.3.1	Presentation and questions	A7-3
A7.3.2	Computations	A7-4
A7.3.3	Printing of data and results	A7-4
<b>A8</b>	<b><u>GRAPHICAL REPRESENTATION OF RESULTS ON X-Y DIAGRAMS</u></b>	<b>A8-1</b>
A8.1	'POINT PLOTTING' program	A8-2
A8.1.1	Data files	A8-2
A8.1.2	Presentation and questions	A8-2
A8.1.3	Graph drawing	A8-3
A8.1.4	Benson plotter subroutines	A8-3
A8.2	'LINEDRAW.BAS' program	A8-3
A8.2.1	Data files	A8-3
A8.2.2	Presentation and questions	A8-4
A8.2.3	Linear graph drawing	A8-4
<b>A9</b>	<b><u>GRAPHICAL REPRESENTATION OF RESULTS ON MAPS</u></b>	<b>A9-1</b>
A9.1	'MERCATOR' program	A9-2
A9.1.1	Data files	A9-2
A9.1.2	Presentation and questions	A9-2
A9.1.3	Computation of the paper coordinates of all useful points	A9-3
A9.1.4	Map drawing	A9-3
A9.1.5	Benson plotter subroutines	A9-4
A9.2	'MERVECTR.BAS' program	A9-4
A9.2.1	Data files	A9-4
A9.2.2	Presentation and questions	A9-4
A9.2.3	Computation of the paper coordinates of all useful points	A9-5
A9.2.4	Map drawing	A9-5

<b>A10</b>	<b><u>EARTHQUAKES ; MAGNITUDE MAPS AND CROSS-SECTIONS</u></b>	<b>A10-1</b>
A10.1	'SEISEDIT.BAS' program	A10-2
A10.2	'ERSQEDIT.BAS' program	A10-3
A10.3	'SEISMES.BAS' program	A10-3
A10.3.1	Presentation and questions	A10-3
A10.3.2	Data reading and computations	A10-4
A10.3.3	Results printing	A10-5
A10.3.4	Conclusions	A10-6
A10.4	'SEISSORT.BAS' program	A10-6
A10.4.1	Presentation and questions	A10-6
A10.4.2	Sorting of earthquakes and computation of the distances along the projection lines	A10-6
A10.4.3	Results printing	A10-7
A10.4.4	Conclusions	A10-7
A10.5	'CROSSECTION' program	A10-7
A10.5.1	Data files	A10-8
A10.5.2	Presentation and questions	A10-8
A10.5.3	Building up of comment lines	A10-9
A10.5.4	Computation of points location and drawing of cross-sections	A10-9
A10.5.5	Specific subroutines	A10-11
A10.5.6	Benson plotter subroutines	A10-12

	<b><u>CONSTANTS AND MATHEMATICAL FORMULAS</u></b>	<b>A11-1</b>
--	---	--------------

<b>B1</b>	<b><u>BATHYMETRIC SURVEY 'COSTA RICA I' ; 3D REPRESENTATIONS</u></b>	<b>B1-1</b>
<b>B2</b>	<b><u>SUBDUCTION PLANE UNDER MIDDLE AMERICA ; 3D REPRESENTATIONS</u></b>	<b>B2-1</b>



## INTRODUCTION

---

La première partie de ces annexes décrivent les programmes utilisés pour obtenir les différents dessins et tableaux présents dans ce travail.

Chaque annexe comprend un ou plusieurs programmes qui s'enchaînent logiquement et sont souvent inséparables car conduisant à un seul résultat figure ou tableau.

Le nombre de programmes est relativement important car il a été nécessaire d'utiliser deux ordinateurs principaux différents ayant des qualités complémentaires : un Zenith 100 personnel et un Tektronix 4054 au COB (devenu IFREMER, Centre de Brest), également utilisé comme terminal graphique de l'Inis 80 et du DPS7 (et aussi un peu l'IBM AT3 de la section de Géographie de l'Université de Brest en raison de la présence d'un traceur, et un compatible IBM AT pour des corrections sur les programmes concernant le mouvement des plaques). Ces ordinateurs sont programmables en Basic, mais le Z100 possède un Basic graphique ayant des instructions générales plus puissantes et plus variées que le Tektronix. Le Zenith 100 peut être également programmé en Fortran. Les avantages du Tektronix sont : sa plus grande rapidité d'exécution, son meilleur graphisme, sa meilleure précision des calculs, et ses fonctions de calculs trigonométriques en degrés et ses opérations sur les matrices. Ses inconvénients sont : son incapacité à traiter de nombreuses chaînes de caractères, ses lignes d'instructions limitées à 80 caractères, ses noms de variables limités à une lettre et un chiffre (ex. : A1) pour les variables numériques et à une seule lettre pour les autres variables, le stockage des données et programmes sur bande magnétique pour laquelle les fichiers sont à accès séquentiel mais rapide.

Les périphériques de ces ordinateurs ont également été utilisés pour obtenir le meilleur résultat : une imprimante 'Apple Dox Matrix' pour le Z100, un traceur 'Benson' pour le Tektronix dont le copieur d'écran n'a servi qu'à la mise au point des textes des programmes et des figures car de qualité médiocre, et un traceur Hewlett-Packard 7475A pour l'IBM AT3 qui a servi à redessiner des cartes et des graphiques alors qu'il n'était plus possible d'utiliser le traceur Benson et le Tektronix. L'utilisation du traceur Benson a posé quelques problèmes au début car le logiciel de tracé comportait des erreurs (réinitialisation de variables, une ligne manquait), c'est pourquoi les logiciels que j'ai écrit reprennent seulement les parties utiles de ce logiciel avec quelques commentaires et changements. L'imprimante Apple a de nombreuses possibilités qui peuvent être mises en valeur très facilement en Basic : 7 différents types d'écriture, qui peuvent être mises en gras, soulignées, et dont la largeur peut être doublée, et les marges peuvent être fixées ; elle peut être également utilisée en mode graphique mais la lenteur du Basic interprété se fait alors sentir pour une copie d'écran : une demi-heure environ car

l'écran du Z100 possède 640 \* 225 points.

Le Basic a été choisi comme langage de programmation pour utiliser le Tektronix en 'local' : l'avantage sur un utilisateur des ordinateurs centraux du COB (Iris 80 et DPS7) est une grande indépendance car tout est contrôlé par l'opérateur, et le matériel n'a eu à subir que de très courtes et très rares pannes. Le Z100 s'est aussi révélé très fiable : le seul problème a concerné un lecteur de disquettes mais le problème était d'origine. De même la Benson a eu de rares arrêts. L'imprimante Apple n'a eu aucune panne.

Tandis que le Tektronix a une configuration non évolutive, le Z100 peut être programmé en de nombreux langages et être utilisé avec de nombreux progiciels, dont Wordstar qui a servi à écrire cette thèse, et Lotus 1-2-3 qui a été utilisé pour dessiner plusieurs figures.

Un petit problème d'impression apparaît pour les deux ordinateurs : le Tektronix ne connaît que les caractères américains, il ignore le signe degré, mais il possède les lettres minuscules, qui sont inconnues du traceur Benson.

le Zenith 100 et l'imprimante Apple peuvent être utilisés dans 7 langues différentes (Anglais, Français, Allemand, Espagnol, Italien, ...) mais pas simultanément. Les différences entre les jeux de caractères anglo-saxons et français sont parfois gênants : le slash arrière anglais correspond à un c cédille dans le jeu de caractère français, le dièse américain (pound) est représenté par une livre anglaise en français, le signe degré français n'existe pas en anglais.

Pour le Zenith le problème d'utilisation obligatoire de certains signes du jeu de caractères américains m'ont conduit à une décision arbitraire : tous les listings nécessitant l'utilisation du signe degré sont écrits avec le jeu de caractères français de l'imprimante, le dièse américain devenant livre anglaise, tandis que tous les autres listings utilisent le jeu de caractères américains avec le dièse et le slash arrière (pour la division entière).

Un problème d'arrondi des chiffres existe sur le Tektronix : par exemple  $0+5*0.2=1$  mais la partie entière de cette expression est égale à 0. Pour éviter d'avoir des résultats aberrants il a été nécessaire de rajouter un nombre relativement petit (0.0001 ou 0.00001) au nombre dont on recherchait la partie entière avant cette opération. Ce rajout a été fait toutes les fois qu'il a paru nécessaire.

Pour éviter de surcharger le texte des annexes par des formules mathématiques qui sont souvent les mêmes dans les différentes annexes, ces formules mathématiques sont reportées à la fin, dans une annexe particulière.

La plus grande partie des programmes ont été écrits en Basic interprété, cependant la série de programmes concernant le magnétisme (annexe 1) a été écrite en Fortran 77 en raison de sa plus grande vitesse de traitement, et le programme concernant les plaques (annexe 2) a été réécrit en TurboC, ce qui a permis les nombreux tests nécessaires à la mise au point des nombreux calculs d'angles sur la sphère.

La seconde partie est une annexe de dessin et reproduit deux séries de blocs-diagrammes dessinés en 'fil de fer'.

**ANNEXE A1**  
=====

**CORRECTION**  
=====

**DES DONNEES MAGNETIQUES**  
=====

A1.1	<u>Introduction des données et programme de correction de la navigation, calcul de l'anomalie magnétique</u>	A1-2
A1.1.1	CBEAMNAV : Programme d'introduction des données de correction Seabeam	A1-3
A1.1.2	ORIGNAV : Programme d'introduction et de traduction des données originales de magnétisme	A1-4
A1.1.3	Le programme 'NAVMAGCR'	A1-5
A1.2	<u>Correction de la variation diurne du champ magnétique</u>	A1-6
A1.2.1	Le programme 'ANOCOREC'	A1-6
A1.2.2	Le programme 'MAGCOREC'	A1-7

## CORRECTION DES DONNEES MAGNETIQUES

Cette annexe réunit les programmes écrits pour effectuer les corrections des données magnétiques enregistrées à bord du R/V Thomas Washington.

La première correction concerne la navigation : les différences de latitude et de longitude qui ont servi au rejeu des cartes Seabeam à la Scripps sont utilisées ici pour repositionner les points de données magnétiques, calculer la véritable valeur du champ magnétique et déduire l'anomalie à partir du champ observé.

Mais cette correction ne suffit pas, en particulier dans les régions subtropicales où l'amplitude de la variation diurne du champ magnétique est très importante. La correction est faite manuellement pour un maximum de points de croisement, puis le programme interpole entre les valeurs corrigées.

Cette annexe est la seule où les programmes décrits ont été écrits en Fortran 77. Ce langage a été utilisé pour sa plus grande rapidité par rapport au Basic en particulier pour le calcul du champ magnétique.

Les programmes de cette annexe ne fournissent que des tableaux. Le programme POINT PLOTTING (voir annexe 4) a servi à la représentation de la variation diurne et le programme MERCATOR a servi à reporter les données sur carte (voir annexe 5), tous deux ont été exécutés sur un traceur Benson à partir d'un Tektronix 4054.

Le langage Fortran ne permet pas de faire appel à des fichiers de données extérieurs aussi facilement que le Basic en utilisant les lignes de DATA : sur la version utilisée le nombre de lignes pour l'écriture des données est réduit à 20 par tableau. La seule solution a donc été d'écrire de petits programmes d'introduction des données dans des fichiers. La sauvegarde de ces fichiers de données se faisant en ASCII, leur correction est possible en utilisant un éditeur de texte (celui fourni avec le système d'exploitation de l'ordinateur ou mieux, un traitement de texte).

### A1.1 - INTRODUCTION DES DONNEES ET PROGRAMME DE CORRECTION DE LA NAVIGATION, CALCUL DE L'ANOMALIE MAGNETIQUE

Cette partie comprend trois programmes : le premier (CBEAMNAV) sert à introduire les données de correction obtenues à partir des cartes Seabeam. Le second sert à l'introduction des points de données du magnétisme avec leur position d'origine. Le dernier programme utilise les données de correction du Seabeam pour corriger par interpolation l'ensemble des points où le magnétisme a été mesuré ; il calcule également l'anomalie magnétique.

Avant la première utilisation des deux programmes d'introduction des données, il est nécessaire de créer les fichiers SBNAVDM.DAT et ORNAVDM.DAT, même vides.

### A1.1.1 - CBEAMNAV : Programme d'introduction des données de correction Seabeam

L'ensemble des remarques du début du programme présente celui-ci : les noms des fichiers créés et les calculs effectués. Ces lignes sont répétées dans la présentation à l'écran, mais elles sont moins lisibles à cet endroit pour les personnes consultant le listing du programme.

La partie préparation contient la déclaration des tableaux et autres variables. On effectue une équivalence d'adressage entre la chaîne de caractères TITLE et le tableau de caractères TIT pour l'impression du titre. Le tableau MONLEN contient le nombre de jours des 11 premiers mois de l'année. Le programme ouvre 2 fichiers : SBNAVDM.DAT contiendra les données introduites au clavier (année, mois, jour, heure-minutes, différences de latitude et longitude mesurées en pouces), SBNAVDD.DAT contiendra ces données transformées en unités décimales (date en année décimale, et différences de latitude et longitude en degrés décimaux). Il est aussi nécessaire d'ouvrir un canal pour l'imprimante.

Les formats utilisés pour la lecture et l'écriture des données sont réunis dans les premières lignes portant des étiquettes.

La présentation à l'écran précède les premières questions. L'exécution du programme a été divisée en deux parties : introduction des données, et transformation puis impression des deux tableaux. Il est possible d'interrompre l'introduction des données au clavier en répondant 0 à l'année, et de reprendre la saisie après la dernière séance. Dans le cas d'une reprise, le programme doit lire le fichier en entier avant de poursuivre l'introduction. Le numéro de chaque point est inscrit à l'écran avant la série de questions : année, mois, jour, heure, différence nord-sud et différence est-ouest en pouces. Pour chaque question le programme précise le format exigé, en effet si le format n'est pas respecté le programme s'arrête et on doit le reprendre au point d'interruption. Pour chaque point les données introduites sont mémorisées dans une mémoire-tampon avant d'être inscrites sur la disquette.

Après l'introduction d'un zéro à la question demandant l'année il faut préciser si l'on a fini d'introduire toutes les données, puis dans ce cas si l'on veut les traduire immédiatement, c'est-à-dire ne pas vérifier leur exactitude à l'éditeur de texte.

La traduction des données commence par des questions concernant l'échelle de la carte qui a servi aux mesures des différences (en pouces par degré à l'Equateur), et la latitude moyenne de cette carte. On demande également le titre. La carte d'origine est une carte en projection de Mercator. Les lignes de données sont lues, traduites et écrites une par une. Les premières opérations concernent le calcul de l'année en année décimale avec une précision permettant de distinguer les minutes. Les différences de latitude et de longitude sont ensuite traduites en degrés décimaux.

Avant le début de l'impression le programme prépare le titre en recherchant sa longueur. Puis il initialise les caractères de contrôle de l'imprimante avant l'inscription du titre centré et souligné. Le sous-titre précise le type de données, ainsi que l'échelle et la latitude moyenne de la carte. Les en-têtes des colonnes donnant le type de données et leur unité sont ensuite imprimées puis les données de chaque point : numéro, année, mois, jour, heure, différence de latitude et de longitude, puis la date en année décimale ainsi que les différences en degrés

## CORRECTION DES DONNEES MAGNETIQUES

décimaux. Avant l'impression de chaque ligne les données sont lues dans les fichiers créés. Pour une meilleure présentation sur papier en continu le programme prévoit le changement de page et l'impression des en-têtes des colonnes en haut de chaque nouvelle page.

### A1.1.2 - ORIGNAV : Programme d'introduction et de traduction des données originales de magnétisme

Ce programme ressemble beaucoup au programme précédent bien que les données soient différentes.

Les commentaires du début expliquent le but du programme, décrivent le format des données introduites au clavier, et indiquent qu'il est possible d'interrompre la saisie des données et de la reprendre. Les données étant inscrites dans un fichier ASCII, il est possible de l'appeler sous un éditeur de texte et de le corriger si nécessaire. Ce fichier est ensuite traduit en un second fichier : les années, mois, jours et heures sont transformés en année décimale, et les latitudes et longitudes de degrés-minutes en degrés décimaux.

La partie préparation comprend la déclaration des tableaux et des variables, la déclaration d'équivalence de la chaîne de caractères du titre et d'un tableau de caractères utilisé pour l'impression du titre. Le tableau MONLEN contient le nombre de jours des mois de l'année de Janvier à Novembre. Le programme ouvre également deux fichiers sur disquette : dans ORNAVDM.DAT il y aura les données rentrées au clavier, et dans ORNAVDD.DAT les données traduites. Il est aussi nécessaire d'ouvrir un canal pour l'imprimante.

Les formats de lecture et d'écriture sur disque et imprimante sont regroupés ensemble.

La présentation à l'écran du programme est la copie des commentaires de début de programme. Puis le programme propose le choix entre la saisie des données ou leur traduction lorsque la saisie a été terminée durant d'une précédente séance.

Avant le début de la saisie le programme précise qu'il détecte la fin de celle-ci lorsque l'opérateur inscrit 0 à la question 'Année'. Si le premier numéro de données est différent de 1 le programme doit lire le fichier jusqu'à l'enregistrement demandé. Pour chaque point, le programme inscrit son numéro à l'écran, puis demande l'année, le mois, le jour, l'heure et le champ magnétique mesuré. Il enregistre ensuite ces données. Lorsque l'on répond zéro à l'année le programme demande s'il s'agit du dernier point du fichier, et alors si l'on veut poursuivre en le traduisant immédiatement (sans vérification à l'éditeur).

La traduction débute par la question concernant le titre. Puis le programme lit chaque enregistrement, traduit les années, mois, jours et heures en années décimales en double précision, et enfin traduit les latitudes et longitudes en degrés décimaux avant de recopier ces données traduites et la valeur du champ magnétique dans un second fichier.

Le début de la partie impression est précédé par le calcul de la longueur du titre. Puis le programme donne la liste des caractères de contrôle nécessaires à l'imprimante. Le titre est alors imprimé centré et souligné. Puis le programme demande l'impression du sous-titre précisant le type de

données. Les en-têtes des colonnes indiquent leur contenu et l'unité utilisée : numéro du point, année, mois, jour, heure, puis année décimale, latitude et longitude en degrés décimaux et enfin champ magnétique mesuré. Les données sont lues dans les deux fichiers créés par le programme puis imprimées. Le changement de page est calculé et les en-têtes de colonnes sont recopiés en haut de chacune d'elle.

### A1.1.3 - Le programme 'NAVMAGCR'

NAVMAGCR est le véritable programme de calcul : il sert à calculer la nouvelle position des points de mesure, il calcule aussi le champ magnétique de référence et en déduit l'anomalie d'après le champ observé.

Les commentaires du début du programme servent à le présenter. Ils donnent également les noms des fichiers utilisés et créé par le programme.

La partie préparation est utilisée pour la déclaration des variables et tableaux, l'équivalence entre la chaîne de caractères du titre et un tableau de caractères nécessaires à l'impression. Dans ce programme est inclus un sous-programme de calcul du champ magnétique théorique : le nombre PI et la longueur des deux axes principaux de la Terre en Km. Le programme ouvre également 4 fichiers : 3 en lecture, qui ont été créés par CBEAMNAV et ORIGNAV, et un en écriture pour les données calculées par le programme. Il est aussi nécessaire d'ouvrir un canal pour l'imprimante.

Les formats de lecture et d'écriture sont réunis ensemble et leur numéro d'étiquette correspond au numéro de canal ouvert.

La présentation à l'écran reproduit le texte des commentaires de début de programme.

La seule question concerne le titre du tableau.

Le programme lit d'abord les deux premiers points corrigés par le Seabeam, puis le premier point à corriger. Le premier travail consiste à rechercher le couple de points Seabeam encadrant le point à corriger. Le programme calcule ensuite la différence de temps entre la date du point et 1980 (date de référence pour le calcul du champ magnétique théorique), puis il interpole entre les deux points Seabeam et calcule la nouvelle position du point en latitude et longitude. Enfin il appelle le sous-programme de calcul du champ magnétique théorique, et en déduit l'anomalie en le soustrayant de la valeur observée. La dernière opération est l'écriture sur disque des données utiles : année, mois, jour, heure, latitude et longitude corrigées, champ observé, champ calculé et anomalie. Le programme se poursuit avec la lecture du point suivant et la recherche des points Seabeam l'encadrant.

La partie impression commence par la définition des caractères de contrôle utilisés par l'imprimante. Puis le programme prépare le titre et l'inscrit, suivi du sous-titre donnant des renseignements sur le tableau. Ensuite le programme imprime les titres des colonnes ainsi que les unités employées, puis les données elles-mêmes. Le programme a été écrit pour être utilisé avec du papier en continu ayant une longueur de page de 72 lignes. En haut de chaque page le programme réinscrit les en-têtes des colonnes.

## CORRECTION DES DONNEES MAGNETIQUES

Le sous-programme de calcul du champ théorique a été emprunté à un programme de calcul d'un modèle d'anomalies synthétiques sur IBM 1130, dont la première version a été écrite par D.P. McKenzie. La seule modification qui y a été apportée concerne la date du champ de référence et les valeurs des coefficients des harmoniques sphériques.

### A.1.2 - CORRECTION DE LA VARIATION DIURNE DU CHAMP MAGNETIQUE

La première partie de la correction de la variation diurne du champ magnétique est entièrement manuelle : il faut trouver les points et la correction à apporter à l'anomalie calculée.

Le programme a été créé en fonction des données disponibles sur la boîte Costa Rica I : c'est à dire une trentaine de points répartis sur près de deux jours, mais l'intervalle de temps entre les points varie entre 5 mn et plusieurs heures. Si la courbe avait été plus régulière il aurait été possible de calculer des valeurs pour des intervalles plus réguliers et pour certains points hauts et bas, mais la dispersion est parfois importante c'est pourquoi j'ai décidé qu'une simple interpolation linéaire entre les points de mesure n'apporterait pas plus de précision qu'une estimation des valeurs à des intervalles de temps réguliers.

Le premier programme sert uniquement à l'introduction des points de correction (date, heure et correction). Le second programme calcule l'interpolation linéaire entre les points corrigés pour tous les points de mesure jusqu'au dernier point de correction.

#### A.1.2.1 - Le programme 'ANOCOREC'

Les commentaires qui débutent le programme rappellent son but et les conditions de sa création complétées par la méthode de sélection des points fixes et de calcul de la correction à apporter.

La déclaration des variables se fait lors de la préparation, avant l'ouverture du fichier où seront inscrites les données.

Le programme n'a besoin que d'un seul format d'utilité générale pour inscrire les données sur le disque.

La présentation à l'écran a un texte identique à celui des commentaires.

L'introduction des données se fait en une seule séance, et les erreurs ne pourront être corrigées qu'avec un éditeur de texte. Pour indiquer au programme que la saisie des données est terminée il suffit de taper 0 à la question demandant l'année.

Les questions concernent l'année, le mois, le jour, l'heure et la correction, ce chiffre étant de signe opposé à la déviation observée par rapport à une moyenne. Le programme inscrit les données au fur et à mesure sur le disque.

Le programme se termine avec la dernière ligne de données, il n'y a pas d'impression des données.



## A1.2.2 - Le programme 'MAGCOREC'

Ce programme sert à interpoler de façon linéaire la correction de l'anomalie magnétique observée en un certain nombre de points d'un levé, à tous les points de mesure.

Les commentaires du début du programme rappellent le but de celui-ci et les noms des fichiers utilisés et créé. Etant donné que ce programme a une application première particulière, le programme a tenu compte des particularités du levé : la correction est nulle du début du fichier jusqu'au premier point, mais en fait seules les données à partir de 10 heures sont utilisées, et tous les points au-delà du dernier point de correction ne sont pas analysés, ni inscrits sur la disquette.

La préparation réunit les déclarations de variables et de tableaux, l'équivalence entre la chaîne de caractères du titre et un tableau de caractères utilisés pour l'impression du titre. Le programme ouvre 4 fichiers : trois anciens fichiers créés par ORIGNAV (possédant les dates et heures de tous les points de mesure sous forme décimale), NAVMAGCR (ayant les positions corrigées des points et l'anomalie magnétique) et ANOCOREC (le fichier des points de correction), et un fichier où seront inscrites les valeurs corrigées des points de mesure. Il est indispensable d'ouvrir un canal pour l'imprimante.

Les formats principaux sont tous réunis et portent un numéro d'étiquette identique au numéro de canal pour lesquels ils ont été écrits.

La présentation est la copie à l'écran des commentaires du début du programme.

Le programme demande ensuite le titre à donner au tableau qui sera imprimé.

Le programme lit d'abord les deux premiers enregistrements du fichier de correction et traduit à l'aide d'un sous-programme l'année+mois+jour+heure en année décimale. Il lit ensuite l'année décimale du point de mesure et les autres données corrigées (position géographique corrigée et anomalie magnétique). Si ce point est avant le premier point de correction, la correction est nulle. Si le point est entre les deux premiers points de correction, la correction est interpolée linéairement et appliquée au point de mesure, puis les données sont enregistrées sur disquette. Sinon le programme lit le point de correction suivant et cherche à savoir si les deux derniers points de correction encadrent bien le dernier point de mesure lu, dans le cas contraire le programme poursuit sa recherche avant le calcul d'interpolation.

La partie impression débute par la déclaration des caractères de contrôle nécessaires à l'imprimante. Puis le programme prépare le titre avant son impression et celle du sous-titre précisant le type de données présentées. Les en-têtes des colonnes (titres et unités utilisées) sont ensuite inscrites avant les données. Les en-têtes des colonnes sont répétées en haut de chaque page, celle-ci ayant une longueur par défaut de 72 lignes et appartenant à une liasse de papier en continu.

## CORRECTION DES DONNEES MAGNETIQUES

Le sous-programme de calcul de l'année décimale utilise les mêmes types de données et effectue les mêmes de calcul que les programmes CBEAMNAV et ORIGNAV.

Certains programmes de cet ensemble ont des applications particulières : corrections des données Seabeam telles qu'elles ont été faites à Scripps, utilisation unique des points de correction vérifiés. Il est toutefois possible de changer les données introduites dans ANOCOREC en changeant seulement les commentaires donnant le type de données utilisées. Pour utiliser d'autres types de corrections de navigation le travail peut être plus important et s'étendre au programme NAVMAGCR, cependant il faut noter que si la différence entre le champ calculé sans la correction de navigation et le champ calculé avec cette correction est faible (quelques nannoteslas), elle est indispensable si l'on veut réduire la variation diurne car les routes ne se croisent plus aux mêmes points et lors des variations rapides de l'anomalie les différences peuvent être importantes.

## ANNEXE A2

### CALCULS DES MOUVEMENTS DE PLAQUES D'APRES LE MODELE RM2 DE MINSTER ET JORDAN (1978)

A2.1	<u>Fichiers de données 'FMATPNT.DAT'</u>	A2-2
A2.2	<u>Programme 'PLATES.C'</u>	A2-2
A2.2.1	Présentation et questions	A2-2
A2.2.2	Lecture des données	A2-3
A2.2.3	Calcul des valeurs principales de vitesse et de direction	A2-3
A2.2.4	Seconde partie du calcul : valeurs limites de vitesse et de direction données par l'intervalle de confiance	A2-3
A2.2.5	Impression des résultats	A2-4
A2.2.6	Fonctions et sous-programmes	A2-5

Cette annexe contient les explications du programme PLATES qui a été écrit en TurboC et conçu pour être exécuté sur un compatible IBM. Ce programme calcule d'après la position géographique de points choisis et le couple de plaque désiré, la vitesse et la direction la plus probable du mouvement, ainsi que les vitesses et directions correspondant à l'intervalle d'erreur 70% ou 95% pour ces deux variables. Toutes les valeurs de position des pôles de rotation, de vitesse et les paramètres des ellipses d'erreur proviennent de l'article 'Present-Day Plate Motions' de Minster et Jordan (1978), et en particulier du tableau 2 qui donne les paramètres constituant le modèle RM2 (pour certains pôles cependant, on a préféré utiliser la position opposée, plus proche de la limite de plaques).

Les positions géographiques pour lesquelles la vitesse et la direction de déplacements sont cherchées, peuvent être placées dans un fichier qui sera lu au début de l'exécution du programme, ou introduites au début du programme.

### A2.1 - FICHIERS DE DONNEES 'FMATPNT.DAT'

La première ligne d'un fichier de données doit obligatoirement contenir le nombre de points du fichier au format entier (30 pour FMATPNT.DAT, le fichier de points situés le long du Fossé d'Amérique Centrale), puis les lignes suivantes fournissent les latitudes et longitudes des points en degrés décimaux à raison de trois points par ligne.

### A2.2 - PROGRAMME 'PLATES.C'

Le programme 'PLATES' utilise les relations de la trigonométrie sphérique pour calculer les vitesses et directions et les valeurs extrêmes pour des intervalles de confiance de 70% ou de 95% d'après le modèle RM2 de Minster et Jordan (1978). Le résultat final est imprimé en 15 colonnes sur une imprimante Apple pouvant écrire 120 caractères par ligne en caractères compressés.

#### A2.2.1 - Présentation et questions

Après une présentation de quelques lignes rappelant le but du programme et les paramètres des fichiers de données, on demande si l'on veut créer un nouveau fichier ou utiliser un ancien fichier. Si on doit utiliser un ancien fichier, on demande son nom, et les données sont lues immédiatement. Si l'on veut créer un nouveau fichier il suffit de donner le nom du fichier à créer, le nombre de points, puis les latitude et longitude des différents points.

Ensuite le programme affiche la liste des couples de plaques paramétrés, l'opérateur doit donner le numéro du couple qu'il veut utiliser, puis il choisit l'intervalle de confiance (70% ou 95%) (l'introduction des deux intervalles dans le calcul aurait posé des problèmes d'impression et auraient augmenté les temps de calculs). La question suivante concerne le choix de l'unité de vitesse imprimée : soit en cm/an, soit en km par

million d'années. Enfin on demande le nom du fichier où seront rangés les résultats sous format ASCII (ils pourront ainsi être utilisés par d'autres logiciels).

Le programme affiche sur l'écran les principales étapes : la lecture des données, le calcul des valeurs principales de vitesse et de direction, et pour les calculs de l'intervalle de confiance le numéro du point calculé.

### A2.2.2 - Lecture des données

La liste des 27 noms des couples de plaques est placée dans un tableau (name).

Un tableau (t) contient toutes les valeurs des paramètres de mouvement des 27 couples de plaques : la latitude et longitude du pôle de rotation en degrés décimaux, la vitesse de rotation en degré par million d'années, puis la direction à partir du Nord dans le sens horaire du plus grand axe de l'ellipse d'erreur et sa longueur en degrés, et enfin la longueur en degrés du petit axe de l'ellipse.

Le programme après la construction des tableaux (l et lr) des données et futurs résultats y place les latitude et longitude des points à étudier.

La partie calcul a été décomposée en deux : une partie concernant les valeurs moyennes, et une autre concernant les valeurs extrêmes de l'intervalle de confiance choisi.

### A2.2.3 - Calcul des valeurs principales de vitesse et de direction

Le programme calcule la distance de chaque point au pôle de rotation du couple de plaque choisi, soit le pôle donné dans le tableau, soit la position opposée si le point se trouve à plus de 90 degrés de la position donnée dans le tableau. Puis il calcule la distance entre chaque point et le premier, puis entre chaque point et le précédent (les fonctions de trigonométrie sphérique utilisées ont été placées à la fin du programme).

Ensuite le programme calcule la vitesse de rotation de chaque point, puis la direction en chaque point dans l'intervalle 0-180 degrés (c'est-à-dire à partir du Nord et dans le sens horaire dans le cas qui nous concerne).

### A2.2.4 - Seconde partie du calcul : les valeurs limites de vitesses et de directions données par l'intervalle de confiance

Le premier calcul, commun à tous les points est celui de la position des 36 points distants de 10 degrés sur le pourtour des deux ellipses d'erreur (autour de la position normale et autour du pôle opposé).

Tous les calculs se font ensuite point par point dans une grande boucle.

Le premier test de la boucle consiste à rechercher si le point ne se situe pas à l'intérieur de l'ellipse d'erreur, car dans ce cas le programme ne peut exécuter les calculs.

## CALCULS DES MOUVEMENTS DES PLAQUES D'APRES LE MODELE RM2

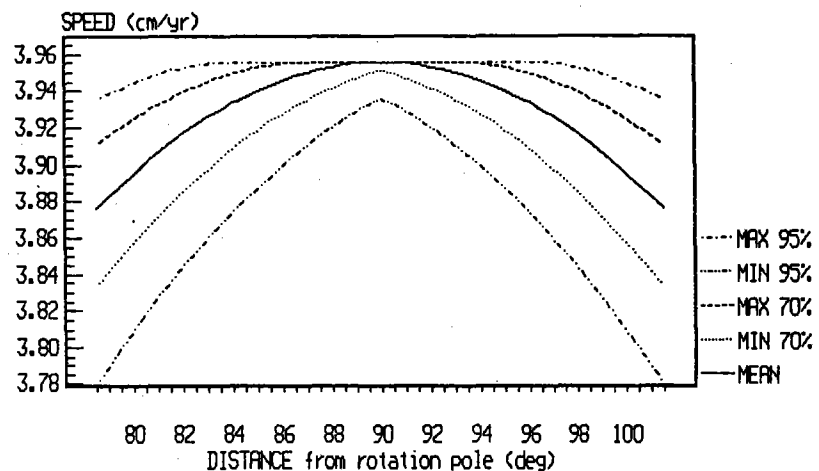
Ensuite le programme calcule la distance entre le point de donnée et les 36 points de l'ellipse ainsi que l'angle centre de l'ellipse-point-bordure de l'ellipse. Le programme poursuit par la recherche des distances minimale et maximale, et des deux angles maximaux de chaque côté de la ligne centre de l'ellipse-point.

Puis le programme calcule les distances entre 20 points sur l'ellipse et le point de donnée autour de la position sur l'ellipse donnant une distance minimale : l'écart entre les points de l'ellipse est tout d'abord 1 degré, puis après une recherche du minimum on recommence avec une distance de 0.1 degré. La même série de calculs est reprise pour la recherche de la distance maximale, et des deux maximaux d'angles.

Le programme transforme ensuite toutes les distances en vitesse, dans l'unité choisie, en fonction de la vitesse angulaire. Puis il calcule à partir des valeurs d'angles centre de l'ellipse-point-bordure de l'ellipse, les directions associées aux valeurs minimale et maximale de vitesse, et aux angles maximaux.

On vérifie ensuite que la distance maximale n'a pas été donnée pour un point sur l'ellipse se situant à plus de 90 degrés, si cela est le cas la vitesse doit être égale à la vitesse maximale possible (point distant de 90 degrés), mais la direction associée n'est pas modifiée (en réalité la valeur est alors un intervalle) (voir dessin ci-dessous).

Variations de la vitesse dans la zone où la distance au pôle de rotation est proche de 90 degrés. (valeurs pour le couple Afrique-Amérique du Sud) (longitude des points constante = longitude du pôle de rotation)



Ensuite les valeurs de direction extrêmes calculées à partir des angles maximaux sont vérifiées : il faut que la valeur moyenne soit située entre ces deux valeurs et que la plus petite valeur soit la première.

Pour éviter les calculs inutiles pour le point suivant, les tableaux sont conservés et réutilisés si le point suivant utilise le même pôle et si les valeurs minimales ou maximales tombent dans les mêmes intervalles que le point précédent.

### A2.2.5 - Impression des résultats

Dès la fin des calculs, l'opérateur est averti par un beep, pour allumer l'imprimante.

Après le titre donnant le nom du couple de plaques choisi, et le sous-titre rappelant l'intervalle de confiance adopté, l'imprimante inscrit les titres et unités des 15 colonnes en abrégé, puis les chiffres correspondant pour chaque point.

Si un des points se situe à l'intérieur de l'ellipse d'erreur il apparaît des zéros dans les 8 dernières colonnes, celles concernant les valeurs limites, un texte explicatif est imprimé sous le tableau.

Ces écritures sont répétées pour le fichier sur disque en ASCII.

### A2.2.6 - Fonctions et sous-programmes

Les deux premières fonctions concernent la trigonométrie en général et corrigent un défaut des fonctions arc-cosinus et arc-sinus existantes : lorsque l'on demande l'arc-cosinus (ou arc-sinus) de valeurs qui, obtenues après de nombreux calculs, sont parfois très légèrement inférieures à 0 ou très légèrement supérieures à 1, on obtient une erreur.

Les 4 fonctions suivantes concernent uniquement la trigonométrie sphérique et calcule : la distance angulaire entre deux points sur la sphère, la demi-longueur du côté d'un triangle isocèle faisant face à l'angle au sommet, un angle dans un triangle dont on connaît les longueurs des trois côtés, la longueur d'un côté d'un triangle connaissant la valeur de l'angle opposé et les longueurs des deux autres côtés.

La dernière fonction simple calcule la longueur entre le centre d'une ellipse et sa bordure en fonction de la longueur des deux axes et de la valeur d'un angle donné à partir de l'axe principal.

Les trois fonctions suivantes seraient plutôt considérées comme des sous-routines dans d'autres langages de programmation à cause de leur complexité. Le premier de ces sous-programmes sert à calculer la direction du mouvement des plaques entre 0 et  $\pi$ . Le second sous-programme calcule la position des points sur la bordure de l'ellipse en fonction des paramètres de l'ellipse et de l'angle point-centre de l'ellipse-bordure, l'angle étant nul lorsque la ligne donné à partir du premier grand axe que l'on rencontre en faisant le tour de l'ellipse depuis le Nord dans le sens horaire. Le dernier sous-programme calcule des minimum et maximum des distances et les deux maxima d'angles (et les distances associées) pour les séries de points séparés de 1 et 0.1 degré le long de l'ellipse.

Les deux dernières fonctions concernent l'effacement de l'écran et le positionnement sur l'écran avant l'écriture, en utilisant le driver ANSI.

Cette version du programme n'utilise que très peu les possibilités du langage C, car ce n'est qu'une simple traduction d'une ancienne version écrite en Basic, en particulier on ne vérifie pas les entrées au clavier et on n'utilise pas l'allocation dynamique de la mémoire, ni les structures : elle est donc facilement transposable en Basic, Fortran ou

## CALCULS DES MOUVEMENTS DES PLAQUES D'APRES LE MODELE RM2

autre langage. Si les positions des points données au clavier sont erronées, il faut soit arrêter immédiatement le programme et le relancer, soit finir d'entrer les points, arrêter le programme, appeler un éditeur de texte, faire les corrections et rappeler le programme en répondant que le fichier existe déjà.

Les données tirées de ce programme peuvent servir à dessiner des graphiques mettant en relation deux colonnes : distance-vitesse, distance-direction ... grâce au programme LINEDRAW.BAS, ou à représenter un vecteur proportionnel à la vitesse et ayant la direction du mouvement des plaques sur une carte en projection de Mercator, avec le programme MERVECTR.BAS.



ANNEXE A3

CONVERSIONS D'ECHELLES FRACTIONNAIRES  
EN POUCES-PAR-DEGRE DE LONGITUDE  
ET INVERSEMENT

A3.1	<u>Présentation et questions</u>	A3-2
A3.2	<u>Calculs</u>	A3-2
A3.3	<u>Impression du tableau de conversion</u>	A3-3
A3.4	<u>Dessin du graphique de conversion</u>	A3-3
A3.5	<u>Sous-programmes du traceur Benson</u>	A3-3

## CONVERSIONS D'ECHELLES FRACTIONNAIRES EN POUCES-PAR-DEGRE ...

Cette annexe contient les explications d'un seul programme, SCALE, exécutable sur Tektronix 4054 avec un traceur Benson 1332. Il traduit l'échelle des cartes du type pouces par degré de longitude en type 1/, et vice-versa, à une latitude choisie par l'opérateur, soit pour une seule latitude, soit entre deux latitudes avec un incrément choisi par l'utilisateur. Le résultat est un tableau des valeurs et une courbe de variation de l'échelle en fonction de la latitude. Ce programme avait été écrit à l'origine pour calculer l'échelle de type 1/ des cartes Seabeam jouées à la Scripps Institution of Oceanography qui sont le plus souvent en pouces par degré à l'Equateur (les cartes aux échelles en pouces par degré rendent possible la compilation de cartes situées à des latitudes différentes, tandis que les échelles 1/ sont très utiles pour mesurer les distances).

### A3.1 - PRESENTATION ET QUESTIONS

La présentation (très brève) rappelle que l'ellipsoïde de référence est WGS72, et que toutes les latitudes doivent être supérieures à 0, c'est-à-dire que les calculs sont faits pour l'hémisphère Nord.

Les premières questions sont : le titre à donner au tableau et à la figure, les latitudes de début et de fin de calcul, ces deux valeurs sont testées par rapport au maximum de 90 degrés, les chiffres des minutes par rapport à 60. Puis si elles sont identiques, la question sur l'incrément du calcul n'est pas posée, ce dernier est aussi testé pour les minutes et par rapport à la différence entre les latitudes extrêmes à calculer. Enfin l'échelle d'origine, son type (1/ ou en pouces par degré de longitude) et la latitude à laquelle elle a été mesurée, sont demandés.

### A3.2 - CALCULS

L'ellipsoïde WGS72 a pour paramètres un rayon équatorial terrestre de 6378.135 km et une excentricité  $e'$  égale à 0.00666943178 (d'où  $1 - e'^2 = 0.99333056822$ ). Un pouce a une longueur de 2.54 cm exactement.

L'échelle est ensuite calculée soit pour une valeur, soit dans un tableau pour l'intervalle avec l'incrément demandé. Le processus s'arrête ici pour la valeur unique par un affichage sur l'écran. Par contre au cours du calcul du tableau chaque latitude est testée pour être arrondie au format degrés-minutes (DD.MM), et degrés décimaux (DD.DDD) si nécessaire (la fonction `\arrondi` n'existe pas sur le Tektronix 4054).

Les sous-programmes de traitement des erreurs d'écriture des latitudes (supérieures à 90°, et minutes supérieures à 60) sont placés avant les questions concernant le graphique.

Après le rappel des latitudes limites calculées, on demande l'intervalle entre les tirets et entre les chiffres le long de l'axe des latitudes, ainsi que le nombre de chiffres après la virgule pour l'écriture des chiffres. Ensuite les valeurs extrêmes des échelles sont affichées et l'utilisateur choisit les valeurs limites de son dessin, ainsi que les

intervalles entre les tirets sur les axes, l'écriture des chiffres et leur formatage, c'est à dire le nombre de chiffres décimaux.

### A3.3 - IMPRESSION DU TABLEAU DE CONVERSION

Le titre est d'abord écrit deux fois avec un léger décalage donnant l'impression d'une écriture renforcée, puis le sous-titre donnant l'échelle d'origine, son type et la latitude à laquelle elle a été mesurée.

Ensuite il y a une boucle d'écriture du tableau pour chaque ensemble de trois pages disposées en ligne sur le traceur : établissement d'une nouvelle origine par page, tracé du cadre de la feuille (21\*29.7 cm), titrage des colonnes, et formatage des écritures de chaque ligne pour chaque colonne. A la fin de l'écriture de chaque ligne, il y a un test de fin de tableau, puis de fin de page et enfin de fin de ligne de trois pages.

### A3.4 - DESSIN DU GRAPHIQUE DE CONVERSION

Avant le dessin lui-même il y a un test de position sur la ligne de trois pages, l'établissement d'une nouvelle origine, le dessin du cadre, puis l'écriture du titre et du sous-titre de la même manière que pour le tableau.

Le programme ordonne ensuite le dessin de l'axe vertical, avec ses tirets et chiffres, puis l'écriture du titre de l'axe, il exécute ensuite les mêmes ordres pour l'axe horizontal, et dessine enfin la courbe par les traits rectilignes entre les points du tableau, un nombre élevé de points peut donner l'illusion d'une courbe parfaite.

### A3.5 - SOUS-PROGRAMMES DU TRACEUR BENSON

Ces sous-programmes ont été réunis à la fin du listing, et sont la copie simplifiée des programmes disponibles. Les seuls commentaires sont les titres de chaque sous-programme, qui ont été rajoutés pour une meilleure lisibilité.

La principale difficulté qu'il a fallu résoudre durant l'écriture de ce programme provient de l'absence de formatage des écritures sur le traceur.

**ANNEXE A4**

**PROFIL DU FOND DU  
FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE**

<b>A4.1</b>	<b><u>Données 'MATRENCH.DAT'</u></b>	<b>A4-2</b>
<b>A4.2</b>	<b><u>Programme 'RANPROFL.BAS'</u></b>	<b>A4-3</b>
<b>A4.3</b>	<b><u>Programme 'PROFILE.BAS'</u></b>	<b>A4-3</b>
	A4.3.1 Présentation et questions	A4-3
	A4.3.2 Calculs	A4-4
	A4.3.3 Impression des résultats	A4-4
	A4.3.4 Sessin schématique du profil	A4-5
	A4.3.5 Limites du programme	A4-5
<b>A4.4</b>	<b><u>Programme 'MATPROFILE'</u></b>	<b>A4-6</b>

## PROFIL DU FOND DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

Cette annexe contient les explications et programmes ayant servis à construire le profil du fond du Fossé d'Amérique Centrale.

Les données de profondeurs ont été repérées sur l'ensemble des cartes Seabeam du Fossé à l'échelle de 16 pouces par degré et un intervalle de 50 m entre les courbes (voir chapitre 3 de ce mémoire) et pour certaines parties entre la Zone de Fracture de Panama et la Ride de Coiba, interpolées entre les données Seabeam et les cartes existantes (Lonsdale et Klitgord, 1978 ; Lowrie, Aitken, Grim et McRaney, 1979).

Ces données ont été introduites dans un fichier de données écrit à l'éditeur Basic : MATRENCH.DAT. Ce fichier étant trop important, un petit programme de traduction de ces données en un fichier à accès aléatoire a été écrit : RANPROFL.BAS, deux fichiers à accès aléatoire ont été créés : BRKPROFL.DAT pour les points de rupture du fond du fossé, et PNTPROFL.DAT pour les points du profil.

Ces données sont utilisées ensuite par le programme PROFILE.BAS qui calcule les distances des points le long du profil à partir du premier.

Tous les programmes précédents ont été écrits pour un Zenith 100 en Basic. Par contre le programme du dessin final (MATPROFILE) a été porté sur un Tektronix 4054 et utilise un traceur Benson 1332.

### A4.1 - DONNEES 'MATRENCH.DAT'

La présentation sert à préciser les données du fichier : les données sont les latitudes, longitudes et profondeurs des points le long de l'axe du fossé. Ces points ont été repérés sur les cartes Seabeam à 16 pouces par degré. Cette localisation s'est faite en degrés, minutes et dixièmes de minute, c'est pourquoi le format des données est DD.MMT (DD : latitude ou longitude en degrés en 1 à 3 chiffres signés ou non, MM : les minutes, écrites obligatoirement avec deux chiffres, T : les dixièmes de minutes, un seul chiffre). Les profondeurs sont en mètres, on remarquera que les nombres sont des multiples de 50 car l'intervalle entre les courbes des cartes à 16 pouces par degré est de 50 m.

Le programme doit ensuite comporter les valeurs des variables N1 et N2. N1 est le nombre points de rupture servant au calcul des distances le long du profil. N2 est le nombre de points servant à tracer le profil.

Ensuite on peut lire les données des points de rupture : seulement la latitude et la longitude, et enfin la liste des données des points qui comprend la latitude, la longitude et la profondeur de chaque point.

Ce fichier de données ne pourra être utilisé directement par les programmes de calcul, étant donné sa longueur et la longueur des programmes. C'est pourquoi, il a dû être transformé en deux fichiers à accès aléatoire par le programme RANPROFL.

#### A4.2 - PROGRAMME 'RANPROFL.BAS'

Ce programme sert à transformer le fichier de données Basic des latitudes et longitudes des points de rupture le long du profil, et des latitude, longitude et profondeur des points du profil, placés dans MATRENCH.DAT, pour ce cas, en deux fichiers à accès aléatoire. Le premier s'appelle BRKPROFL.DAT et on y trouve les données des points de rupture. Le second, PNTPROFL.DAT, contient les données des points formant le profil.

Le programme charge en mémoire le fichier de données Basic, dont le nom peut varier, place ces données dans deux tableaux dans les quels les données pourront être lues facilement, puis ouvre le fichier BRKPROFL.DAT. La longueur de l'enregistrement est de 8, car chaque variable, ici la latitude et la longitude, qui sont des nombres en simple précision, sont codés sur 4 octets chacun en tant que variable alphanumérique (ligne FIELD \$1, ...). Le premier enregistrement va contenir dans les deux variables le nombre d'enregistrements du fichier, ceci est pour faciliter la lecture ultérieure du fichier. En effet, la longueur d'un fichier est un multiple de 128 octets, et il est impossible de lire le nombre d'enregistrements d'un fichier avec la fonction LOF ( ) quand les enregistrements ont une longueur différente de 128 octets. Chaque latitude et longitude est codée puis placée dans l'enregistrement désiré. Puis le fichier est fermé. Le buffer utilisé (\$1) est ensuite réutilisé pour la même manipulation avec les points du profil, mais chaque enregistrement a une longueur de 10 octets car à la latitude et longitude (4 octets chacun), s'ajoute la profondeur, qui étant un nombre entier peut être codé sur deux octets.

#### A4.3 - PROGRAMME 'PROFILE.BAS'

Ce programme, le principal de cet ensemble, sert à calculer la distance des points le long du profil à partir du premier point qui sert d'origine.

##### A4.3.1 - Présentation et questions

Le programme commence par une présentation de 2.5 pages expliquant le but du programme et précisant le format des données et leur introduction.

Le programme demande tout d'abord si les données du profil sont orientées plutôt le long des latitudes, ou le long des longitudes, ce qui signifie que les points doivent avoir soit une latitude, soit une longitude constamment croissante ou décroissante. Le sens de cette progression (croissante, ou décroissante) est ensuite demandé. Ceci permettra ensuite de déterminer les données servant de référence et le sens de calcul (incrément par addition ou soustraction).

Lorsque le profil sera calculé, il sera possible de définir la position de n'importe quel point le long du fossé, soit d'après sa latitude et longitude, soit d'après sa coordonnée principale, définie plus haut, et ceci de manière unique. C'est pourquoi, le programme permet la détermination de la distance de points le long du profil. Ces points doivent être rassemblés dans trois tableaux maximum : un tableau nécessitant la latitude et la longitude de tous ses points, et deux tableaux pour lesquels la latitude ou longitude seule est demandée, mais

## PROFIL DU FOND DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

où les points sont espacés de façon régulière le long de cette coordonnée, par exemple des limites de cartes.

Les questions suivantes concernent ces tableaux : en voulez-vous, combien, quel type, leurs paramètres.

### A4.3.2 - Calculs

Les fichiers de données créés par RANPROFL.BAS sont tout d'abord introduits et mis dans deux tableaux : BRK pour les points de rupture, et PNTS pour les points du profil. Le nombre de lignes de chaque tableau est lu dans le premier enregistrement de chaque fichier. Le nombre de colonnes de chaque tableau est de 7, les deux premières servant à mettre les latitudes et longitudes des fichiers originaux, la troisième étant utilisée pour la profondeur dans PNTS.

Le premier traitement que doivent subir les données de ces deux tableaux est la transformation des latitudes et longitudes en degrés, minutes et dixièmes de minutes, en degrés décimaux. Les valeurs obtenues sont placées dans les colonnes 3 et 4 du tableau BRK, et 4 et 5 du tableau PNTS.

Ensuite la distance entre les points de rupture est calculée par trigonométrie sphérique (colonne 5 du tableau BRK). Puis la distance entre les points du profil a été calculée, mais malheureusement la trigonométrie sphérique n'a pu être employée à cause des valeurs trop faibles des angles en radians (de l'ordre de la minute) et des fonctions trigonométriques nécessaires. Il a donc fallu utiliser la géométrie classique du triangle rectangle et le théorème de Pythagore (colonne 6 du tableau PNTS).

La distance entre les points du profil est ensuite sommée entre les points de rupture et complétée jusqu'à ces points quand ce ne sont pas des points du profil (colonne 6 du tableau BRK).

En sommant point par point les distances réelles des points de rupture le long du profil (col. 5 du tableau BRK), on obtient leur distance par rapport à l'origine (col. 7).

Le dernier calcul sur ces deux tableaux sert à obtenir la distance moyenne entre deux points (rapport entre la distance réelle, la distance entre deux points de rupture, et distance sommée entre ces deux points de rupture), et la distance le long du profil (col. 7 du tableau PNTS).

La construction des tableaux peut alors se faire. Après transformation des latitudes et longitudes de degrés-minutes-dixièmes de minutes en degrés décimaux, il suffit de rechercher la position du point demandé dans le tableau des points et de calculer sa distance par une simple règle de trois. Les calculs des trois tableaux sont indépendants car les tableaux ont des noms différents.

### A4.3.3 - Impression des résultats

Le tableau des points de rupture est imprimé le premier, l'ordre des colonnes d'impression étant le même que celui du tableau : latitude et longitude en degrés-minutes-dixièmes de minute, latitude et longitude en degrés décimaux, la distance réelle entre les points, la distance cumulée des points du profil, et enfin la distance par rapport à l'origine.

## PROFIL DU FOND DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

C'est ensuite le tableau des points du profil qui est imprimé. L'ordre des colonnes d'impression est un peu différent de celui du tableau : d'abord les latitude et longitude des points, en degrés-minutes-dizièmes de minutes, puis en degrés décimaux, ensuite la distance entre chaque point, puis la distance depuis l'origine du profil, et enfin la profondeur.

Enfin les tableaux de valeurs indépendantes sont imprimés. Le type de tableau nécessitant les latitude et longitude des points présentent celles-ci en degrés, minutes et dixièmes de minutes et en degrés décimaux, puis la distance des points par rapport à l'origine. Le second type de tableau ne comporte que la coordonnée choisie, en degrés, minutes et dixièmes de minute, et en degrés décimaux, suivies de la distance par rapport à l'origine.

### A4.3.4 - Dessin schématique du profil

Après l'impression des résultats il est possible de faire apparaître sur l'écran l'aspect du profil. Le profil sera coupé en morceaux pour que la page d'écran contienne le maximum de la longueur du profil étant données les échelles de longueur et de hauteur choisies par l'utilisateur.

Le calcul de la position des points sur l'écran prend quelques secondes par profil. Si le profil est trop long pour paraître sur un seul écran il apparaît un point dans le coin inférieur droit.

A partir de ce moment plusieurs options sont possibles, mais le texte présenté avant le dessin ne sera pas rappelé. En tapant N on visualise la suite du profil, en tapant P on revient aux choix des échelles, et en tapant C on provoque la copie d'écran sur l'imprimante, celle-ci devant être prête à fonctionner. L'entrée d'un caractère différent de ces trois lettres termine le programme. Cette partie du programme permet donc une visualisation et une impression suivant différentes échelles avec un minimum de calculs.

Le dessin du profil est en effet très schématique : la précision est limitée par le nombre de points de l'écran (largeur de 640 points, et hauteur de 225 points). Aucun commentaire, ni échelle n'est précisée pour montrer le maximum sur un écran, car la copie sur l'imprimante prend environ une demi-heure en Basic.

En fait, le dessin final ne peut se faire que sur un traceur, l'imprimante graphique n'étant pas assez précise pour ces données.

### A4.3.5 - Limites du programme

Les programmes de calculs et de conversion de fichier peuvent être utilisés pour n'importe quel autre fichier original de données écrit comme MATRENCH.DAT, la taille du tableau de points du profil est limitée par la taille de la mémoire vive.

Si le tableau est trop grand, il faut alors non pas lire les données et les mettre dans le tableau PNTS, mais seulement les lire et faire les calculs immédiatement pour mettre les résultats dans un tableau ayant deux colonnes de moins, et donc ensuite changer les numéros de colonnes correspondants. Si la mémoire vive est encore trop petite, il faut créer



## PROFIL DU FOND DU FOSSE D'AMERIQUE CENTRALE

un fichier à accès aléatoire pour y placer les latitudes et longitudes en degrés décimaux, le tableau PNTS n'a alors plus que 3 colonnes, les accès disques sont alors très nombreux et la vitesse d'exécution du programme en est ralentie.

### A4.4 - PROGRAMME 'MATPROFILE'

Ce programme est entièrement dédié au dessin du profil du Fossé d'Amérique Centrale, mais il est possible de l'adapter à tout autre dessin de profil avec ou sans commentaires. Les précisions que je voulais mettre sur ce profil m'ont obligé à écrire un logiciel qui ne soit pas très spécifique.

Le programme commence par une très brève présentation laissant l'utilisateur choisir la (les) couleur(s) du graphique, puis on peut lire la liste des données comportant la distance en Km et la profondeur en mètres de tous les points du profil, ensuite les données des points de rupture (numéro et distance), puis celles des longitudes rondes (longitude et distance), et enfin celles des limites des cercles définis dans un autre chapitre (numéro de la limite et distance).

Après l'initialisation du traceur, la plume 2 dessine le profil, puis la plume 0 dessine les 4 axes encadrant le profil : l'axe supérieur montre les distances, l'axe de gauche les profondeurs, l'axe inférieur les intersections aux longitudes rondes, et enfin l'axe droit de nouveau les profondeurs. Puis la plume 1 dessine les tirets aux points de rupture et met le chiffre de la section si la place entre les deux tirets est suffisante. Cette plume sert aussi à dessiner les tirets des limites des cercles et à écrire les noms correspondant, puis à écrire le titre deux fois avec un léger décalage. Il faut ensuite changer la plume 2 pour utiliser une quatrième couleur qui sert à écrire les noms des principales structures et les noms puis limites des grandes cartes Seabeam le long du Fossé.

Seuls les sous-programmes de tracé pour le traceur Benson utilisés dans ce programme ont été reproduits, aucun commentaire à l'exception du titre n'a été introduit par rapport à l'original.

Le programme de dessin peut être modifié assez facilement : les noms à inscrire sont placés dans le listing juste avant leur écriture pour éviter des appels à des variables placées loin dans le programmes. Chaque opération a été détaillée pour qu'il soit possible de reconnaître les différentes valeurs utilisées et les modifier au besoin. Il n'y a aucun changement d'origine, celle-ci étant placée à l'origine du profil et des axes supérieurs et gauche. Par exemple, il a suffi de rajouter une seule ligne (2795 GOTO 3600) pour dessiner la figure sans les points de rupture et les limites de cercles.

Ces programmes peuvent être utilisés séparément pour d'autres données, en particulier le programme de transfert de fichier et le programme de dessin après des changements adéquats.

## ANNEXE A5

### RECHERCHE DE CENTRES DE CERCLES SUR LA SPHERE

A5.1	<u>Programme 'DISSMCRC.BAS'</u>	A5-2
A5.1.1	Fichiers de données	A5-2
A5.1.2	Présentation et questions	A5-3
A5.1.3	Calculs et impression des résultats	A5-3
A5.1.4	Représentation graphique des résultats	A5-4
A5.1.5	Copie d'écran	A5-5
A5.2	<u>Programme 'DIRSMCRC.BAS'</u>	A5-5
A5.2.1	Fichiers de données	A5-5
A5.2.2	Présentation et questions	A5-5
A5.2.3	Calculs et impression des résultats	A5-6
A5.2.4	Représentation graphique des résultats	A5-7
A5.2.5	Copie d'écran	A5-8

## RECHERCHE DE CENTRES DE CERCLES SUR LA SPHERE

Cette annexe présente plus particulièrement les programmes concernant l'ajustement de longs segments (formés par des points à la surface de la Terre) à des arcs de cercles en cherchant le meilleur centre possible pour ces cercles. Le principe général est le calcul de l'écart-type entre les distances réelles des points, distribués sur un arc de cercle, au centre du cercle et la valeur moyenne de cette distance, ou l'écart-type entre les directions des structures se trouvant sur différents arcs de cercles et les directions calculées de ces structures. Cette méthode est très largement inspirée de celle présentée par X. Le Pichon dans l'annexe de son article de 1968 sur la tectonique des plaques.

Le premier programme, DISSMCRC, concerne des points distribués sur un seul arc de cercle (une zone de fracture par exemple) : le calcul se fait en recherchant le meilleur centre possible en fonction des distances entre chaque point et ce centre. Le second programme, DIRSMCRC, calcule le meilleur centre possible d'après la position des points et la direction de la structure appartenant à l'ensemble des arcs de cercles dont on recherche le centre, chaque point pouvant appartenir à des cercles différents (par exemple des zones de fracture). Le dernier programme, CIRCGRID, calcule l'écart-type des distances ou des directions, en chaque point d'une grille géographique, permettant ainsi de visualiser en fonction de l'erreur admise la zone réelle autour du point unique donné par les deux programmes précédents où se trouve le centre du cercle considéré.

Les fichiers de données, contenant les positions des points, et éventuellement les directions des structures sont décrits avec les programmes qui les utilisent.

### A5.1 - PROGRAMME 'DISSMCRC.BAS'

Etant donné la position géographique d'au moins trois points, le programme recherche la position du meilleur centre possible pour cet ensemble de points en minimisant la différence entre la distance moyenne centre du cercle - points et les distances réelles. Le programme prend comme premier point un point proposé par l'utilisateur, puis ensuite recherche (et pour des mailles de plus en plus fines) le point ayant l'écart-type le plus faible, en déplaçant cette grille pour chercher à placer ce point au centre de celle-ci. Ce premier résultat est ensuite vérifié en reprenant ce dernier point comme premier point et en refaisant les calculs pour toutes les mailles. L'itération est reprise jusqu'à ce que les deux derniers calculs donnent le même centre. Le programme peut ensuite donner une représentation graphique simplifiée de la distribution des points par rapport à des zones d'erreurs de 70 et 95%.

#### A5.1.1 - Fichiers de données

Les fichiers de données utilisés par DISSMCRC sont aussi utilisables par CIRCGRID dans le cas du calcul des écart-types de distances.

Les données sont ici uniquement les latitude et longitude des points en degrés décimaux signés (+ pour le Nord et l'Est, - pour le Sud et l'Ouest).

Ce fichier doit également contenir une variable appelée N qui donne le nombre de points du fichier.

La première ligne du fichier doit porter le numéro 500, et le numéro de la dernière ligne ne doit pas excéder 999.

### A5.1.2 - Présentation et questions

La présentation rappelle les buts du programme : recherche du meilleur centre du cercle dessiné par des points à la surface de la Terre avec une maille allant de 2 à 0.01 degré, c'est-à-dire pour une grille de 9 points ayant de 4 à 0.02 degrés de côté. Les plus grandes mailles permettent une recherche rapide de la zone la plus probable, et même une mauvaise appréciation de la localisation du centre par l'opérateur a peu d'importance. Le programme se terminera par un dessin à l'écran et une proposition de copie sur imprimante.

Le programme demande le nom du fichier dans lequel sont rangées les données, puis introduit celui-ci dans le programme de calcul et lit ce tableau.

Les seules questions sont le titre du tableau et du dessin, et la latitude et longitude du point de début de recherche du centre du cercle.

### A5.1.3 - Calculs et impression des résultats

Cette partie commence par plusieurs définitions de fonctions de trigonométrie sphérique permettant le calcul de la distance entre deux points sur une sphère connaissant les latitude et longitude des deux points, ainsi que la valeur d'un angle dans un triangle quelconque connaissant les longueurs des trois côtés.

Ces fonctions sont immédiatement utilisées pour calculer la distance entre les points le long de l'arc de cercle.

La table des mailles successives de la grille de recherche est aussi régulière que possible mais pour éviter des chiffres inférieurs à 0.005, 0.035 a été remplacé par 0.03 et 0.015 a été supprimé.

La plus grande partie du programme fait partie d'une grande boucle de calcul et d'impression des résultats. A partir du point donné par l'opérateur le programme crée une grille de 9 points ayant pour centre ce point, la distance entre les points étant de 2 degrés, première valeur des mailles. Le programme calcule ensuite la distance entre un point de la grille et chaque point de l'arc de cercle, puis la distance moyenne entre le point de la grille et tous les points de données, la direction de l'arc en chaque point et la somme des carrés des différences entre distance moyenne et distance réelle pour l'ensemble des points. Cet ensemble de calculs (distance - somme...) est effectué pour toute la grille, puis le programme recherche le point ayant la plus petite somme des différences : si celui-ci n'est pas le centre de la grille le programme redessine une nouvelle grille autour du point ayant la somme des différences la plus faible, reprend les anciennes valeurs des sommes des différences à leur nouvelles positions et calcule les chiffres des nouveaux points de la grille. Ce déplacement de grille continue jusqu'à trouver un centre de

## RECHERCHE DE CENTRES DE CERCLES SUR LA SPHERE

grille dont la somme des différences est minimal. Le programme calcule alors l'écart-type entre la distance moyenne et les distances réelles. Cette boucle est exécutée pour chaque maille de la grille de 2 à 0.01 degré, et le résultat (position du centre, distance moyenne et écart-type des distances) est affiché sur l'écran à la fin du calcul de chaque maille.

A la fin de la dernière maille le programme imprime les résultats sur l'imprimante, en rappelant le titre, le type de recherche, la position du centre proposé. Puis il imprime la position du centre déterminé par le programme et la distance moyenne, et pour chaque point il inscrit outre la latitude et la longitude, la distance au centre du cercle, la distance avec le point précédent, la direction calculée de la tangente au cercle passant par ce point et la différence de distance avec la distance moyenne.

Cette position ayant été déterminée après un cheminement souvent très complexe, les zones d'égal écart-type n'étant pas circulaires, il est nécessaire de vérifier la position calculée en la considérant comme le nouveau centre proposé au programme et en recalculant toutes les valeurs pour toutes les mailles. Si, à la fin de cette boucle, le centre est le même, le programme écrit sur l'imprimante simplement que les résultats ont été vérifiés, sinon il imprime les nouveaux résultats et recommence la boucle jusqu'à ce que les deux dernières positions soient identiques. Lorsque deux boucles successives donnent des résultats différents ils ne sont jamais très éloignés.

### A5.1.4 - Représentation graphique des résultats

Le programme propose une illustration schématique des résultats et des courbes d'erreurs sur un diagramme rectangulaire.

Après le calcul de la distance totale entre le premier et le dernier point, le programme recherche les distances minimale et maximale points - centre du cercle, il les affiche à l'écran et demande les distances minimale et maximale à donner au graphe, ainsi que l'écart entre les tirets et chiffraisons le long de l'axe des distances points-centre du cercle.

Ensuite le programme explique que lorsque le dessin sera terminé le programme attendra que l'utilisateur appuie sur une touche et que la touche choisie peut avoir une signification particulière : en tapant sur un G il est possible de changer les paramètres du dessin (distances minimale et maximale, et intervalle entre les tirets), en tapant sur C on obtient une copie d'écran sur l'imprimante, mais cela prend environ une demi-heure, presser n'importe quelle autre touche signifie arrêter le programme. Il est nécessaire de se rappeler ces codes car pour utiliser l'écran au maximum aucune question ne figurera à l'écran.

Le programme commence par dessiner les axes, dont l'axe vertical en double pour faire apparaître les deux axes d'épaisseur identique. Puis a lieu le dessin de la ligne brisée reliant tous les données réelles, puis le dessin de la droite donnant la distance moyenne en triple. Ensuite le programme dessine les droites limitant la zone de probabilité de 70% de chaque côté de la droite moyenne, puis celles de la zone de probabilité de 95%, il écrit également ces chiffres au-dessus des lignes correspondantes. Le long de l'axe vertical le programme dessine un tiret pour chaque point et écrit

le numéro du point, puis il écrit la légende de l'axe. Ensuite il écrit en haut de l'écran la position du centre du cercle et le rayon moyen du cercle. Puis il dessine les tirets de l'axe horizontal, écrit les chiffres des distances, et inscrit le titre de l'axe et l'unité employée. Enfin il écrit au bas de la page le titre en le centrant et le soulignant.

Après la fin du dessin le programme attend que l'opérateur appuie sur une touche : s'il s'agit d'un G il affiche les valeurs minimale et maximale des distances à nouveau et redemande les valeurs pour le dessin. Si la touche pressée est différente d'un G et d'un C le programme est terminé. Si l'on a tapé C le programme commence une copie d'écran sur l'imprimante.

### A5.1.5 - Copie d'écran

L'imprimante est préparée pour imprimer 144 points par pouce dans les sens horizontal et vertical pour avoir une représentation non déformée de l'écran.

Le programme lit l'écran point par point, ligne par ligne. Chaque ligne est codée sur 4 mots de 160 caractères qui sont envoyés à l'imprimante.

Cette méthode nécessite près d'une demi-heure.

A la fin, le programme remet l'imprimante en mode d'écriture normale.

## A5.2 - PROGRAMME 'DIRSMCRC.BAS'

Ce programme cherche le centre des cercles passant par des points dont une structure dessine des cercles centrés : par exemple des points sur des zones de fracture le long d'une même ride océanique, la structure étant la zone haute ou la dépression de la zone de fracture : ces zones de fracture dessinent des arcs de cercles centrés sur le pôle de rotation de l'ouverture de la ride.

### A5.2.1 - Fichiers de données

Ces fichiers ressemblent beaucoup aux fichiers utilisés par le programme DISSMCRC : ils doivent contenir dans une variable nommée N le nombre de points du fichier, chaque point de donnée est défini par une latitude et une longitude en degrés décimaux signés (+ pour N et E, - pour S et W) et la direction de la structure appartenant à un arc de cercle en degrés en comptant dans le sens horaire à partir du Nord (N °E).

La première ligne du fichier doit porter le numéro 500, et le numéro de la dernière ligne ne doit pas dépasser 999.

### A5.2.2 - Présentation et questions

La présentation rappelle le but du programme (recherche du centre des cercles définis par la position des points et la direction des structures en minimisant l'écart-type) et le format du fichier de données.

## RECHERCHE DE CENTRES DE CERCLES SUR LA SPHERE

Cette présentation explique également les principes du calcul et la possibilité de dessiner un graphique montrant la différence entre les directions mesurées et les directions calculées d'après la position du centre du cercle, et d'en faire une copie sur l'imprimante.

Après l'appel du fichier de données en mémoire, le programme range les valeurs dans un tableau puis pose les questions : titre à donner au tableau imprimé et au graphique, puis latitude et longitude du point à partir duquel est faite la recherche du centre des cercles.

### A5.2.3 - Calculs et l'impression des résultats

Cette partie commence par la définition des fonctions utilisant les formules de trigonométrie sphérique et servant à calculer la distance entre deux points sur une sphère, connaissant la position de ces points, ainsi qu'un angle d'un triangle quelconque connaissant la longueur de ses trois côtés.

La première boucle calcule la distance en degrés entre les points du fichier de données.

Ensuite le programme lit la liste des mailles des grilles de recherche : la distance entre 2 points varie aussi régulièrement que possible entre 2 et 0.01 degré : le 0.035 a été remplacé par 0.03 et le 0.015 a été supprimé pour éviter d'avoir des chiffres ayant plus de deux décimales.

Avant la principale boucle de calcul le programme initialise le nombre de boucles, et les latitude et longitude du centre de la première grille.

La première partie de la boucle principale commence par le calcul de la latitude et de la longitude de chacun des huit points entourant le point proposé et formant avec lui la grille de recherche. La première distance entre les points de la grille est 2 degrés. Puis pour chaque point de la grille le programme calcule la distance entre ce point et chaque point de données, et ensuite calcule la distance moyenne de tous les points de données à chaque point de la grille.

La boucle continue en calculant les directions en chaque point de donnée, des tangentes aux cercles passant par ce point et ayant pour centres les différents points de la grille. Ensuite le programme effectue la différence entre la valeur calculée et la direction observée. Le programme calcule alors le carré de cette différence, puis la somme des différences pour tous les points de données, et recherche enfin le point de la grille ayant une somme des différences minimale.

Si le point ayant la plus petite somme ne se trouve pas être le point central de la grille, celle-ci est déplacée et centrée sur ce point et les latitudes et longitudes de tous les points de la grille sont recalculées, les points de l'ancienne grille appartenant encore à la nouvelle grille voient leurs anciennes valeurs de somme des différences et les autres valeurs passer à leurs nouvelles coordonnées. Le programme calcule ensuite les différentes valeurs pour les nouveaux points de la grille, et recherche ensuite le point ayant la plus petite somme des carrés. La grille se déplace jusqu'à ce que le point central de la grille soit le point ayant la plus petite somme des carrés des différences de direction.

## RECHERCHE DE CENTRES DE CERCLES SUR LA SPHERE

Lorsque le point central est le point de la grille ayant la plus petite somme des différences de direction, le programme calcule l'écart-type des différences de direction entre les directions calculées et les directions observées.

Avant de reprendre la boucle de calcul et de changer la distance entre les points de la grille, le programme affiche à l'écran la nouvelle valeur du centre, la distance moyenne en km du centre aux points de mesure et l'écart-type entre les directions observées et calculées.

Le programme cherche ainsi le centre des cercles en diminuant progressivement la distance entre les points de la grille de 2 degrés à 0.01 degré, mais les zones d'erreur de position du centre n'étant pas des cercles autour de la position la plus probable, la recherche est parfois assez longue et suit un cheminement assez irrégulier.

A la fin de la première boucle principale le programme imprime le titre et sous-titre du tableau sur l'imprimante, puis la position du centre proposé, et ensuite celle du centre pour lequel l'erreur est minimale, la distance moyenne au centre est également inscrite (cette valeur n'a aucune signification si les points de données sont sur des cercles reconnus comme différents).

Le tableau des données et des résultats est alors imprimé : latitude et longitude du point, direction N°E mesurée de la structure alignée sur un cercle, puis la distance au centre des cercles, la distance entre chaque point, et enfin la direction calculée et la différence entre les directions mesurée et calculée.

Le programme prépare ensuite la boucle principale suivante : le point testé est alors le point trouvé lors de la boucle précédente, la recherche de l'écart-type minimal recommence avec une grille centrée sur ce point depuis la maille de 2 degrés jusqu'à celle de 0.01 degré. Si à la fin de cette boucle, la position du centre est la même que celle de la boucle précédente le programme écrit sur l'imprimante que les résultats ont été vérifiés, sinon la boucle recommence jusqu'à ce que les résultats des deux dernières boucles soient identiques.

### A5.2.4 - Représentation graphique des résultats

Dès que le programme a trouvé le meilleur centre il effectue la somme des distances entre les points, puis recherche les directions minimale et maximale. Il inscrit ensuite à l'écran ces valeurs de direction, et demande à l'utilisateur les valeurs minimale et maximale et l'intervalle entre les tirets et chiffres pour une représentation des résultats sur l'écran avec possibilité de rechanger les paramètres et de faire une copie d'écran sur l'imprimante.

Il est nécessaire que l'opérateur se souvienne bien que s'il veut changer les paramètres qu'il a choisis il lui faut taper G, et que s'il veut faire une copie d'écran sur l'imprimante, celle-ci doit être prête et il faut qu'il presse le C, car taper sur n'importe quelle autre touche signifie terminer le programme.

Le programme dessine d'abord les axes, dont l'axe vertical (distance entre les points) deux fois pour éviter de faire apparaître cet axe trop peu épais par rapport à l'axe horizontal (direction), car l'écran possède 640



## RECHERCHE DE CENTRES DE CERCLES SUR LA SPHERE

points de large, sur seulement 225 de haut. Il trace ensuite la ligne reliant les points de données réelles, puis celle des données calculées trois fois, puis il trace les deux droites limitant la zone de probabilité de 70% et écrit ce chiffre à l'extrémité de l'une des droites, et fait de même avec la zone de probabilité 95%. Le programme dessine ensuite le long de l'axe des distances entre points les tirets correspondant à chaque point et inscrit le numéro du point, il écrit ensuite le titre et sous-titre de l'axe au dessus de celui-ci. Il inscrit alors la position du centre et la distance moyenne du centre aux points en haut de l'écran. Il trace ensuite les tirets de l'axe horizontal et écrit les directions correspondantes, puis il écrit le titre de l'axe et l'unité. La dernière étape est l'impression du titre souligné en bas de l'écran.

Après l'inscription du titre, le programme attend que l'opérateur appuie sur une touche : si celle-ci est le G il réinscrit les valeurs minimale et maximale à l'écran et redemande les valeurs limites du dessin et l'intervalle entre les tirets, si la touche est différente du G et du C le programme est terminé.

### A5.2.5 - Copie d'écran

Si la touche enfoncée est le C, le programme va commencer à lire la valeur des points de l'écran point par point et ligne par ligne, l'impression se faisant ligne par ligne. Le seul inconvénient de cette méthode est que le programme écrit en Basic demande près d'une demi-heure.

A la fin le programme remet l'imprimante en mode d'impression normale.

Ces deux programmes forment un ensemble aussi complet que possible pour la détermination des centres de cercle à la surface de la Terre en utilisant seulement la position des points ou en se servant également de la direction de la structure alignée sur des petits cercles.

Il serait possible de modifier aisément DISSMCRC en programmant la recherche du premier centre de cercle en utilisant trois points.

**ANNEXE A6**

**RELATION**

**PROFONDEUR-DU-FOSSE -**

**RAYON-DU-CERCLE**

A6.1	<u>Programme 'MEANDEPT.BAS'</u>	A6-2
	A6.1.1 Présentation, lecture des données et questions	A6-2
	A6.1.2 Calculs	A6-3
	A6.1.3 Impression des résultats	A6-3
A6.2	<u>Programme 'RADEPTH'</u>	A6-4
	A6.2.1 Présentation et données	A6-4
	A6.2.2 Dessin	A6-4

## RELATION PROFONDEUR-DU-FOSSE - RAYON-DU-CERCLE

Cette annexe sert à mettre en évidence la relation graphique et mathématique entre la profondeur moyenne des segments du Fossé d'Amérique Centrale et le rayon associé aux arcs de cercles décrits par ces mêmes segments.

Le premier programme, MEANDEPT, calcule la profondeur moyenne de chaque segment, et a été réalisé sur Zenith 100.

Le second programme, RADEPTH, dessine sur un graphique X-Y les profondeurs de chaque segment en fonction du rayon des cercles, et imprime les équations des droites de régression linéaire pour plusieurs groupes de points. Le dessin est réalisé sur traceur Benson à partir du Tektronix 4054.

### A6.1 - PROGRAMME 'MEANDEPT.BAS'

Ce programme calcule la profondeur moyenne des segments d'un profil, en utilisant les mêmes fichiers de données que ceux nécessaires au programme PROFILE.BAS, c'est-à-dire des fichiers provenant de la transformation d'un fichier de type MATRENCH.DAT écrit sous éditeur Basic en deux fichiers à accès aléatoire (l'un pour les données de profondeur, l'autre pour les données de points de rupture dans le profil) par le programme RANPROFL.BAS (voir Annexe 1).

Les limites de chaque segment sont demandées au cours du programme.

En plus de la profondeur moyenne, le programme calcule l'écart-type de la profondeur pour chaque segment.

#### A6.1.1 - Présentation, lecture des données et questions

La présentation rappelle le but du programme, et le déroulement du programme.

Le programme demande les noms des deux fichiers de données : celui des points de rupture et celui des points du profil.

Le programme lit ensuite le fichier des points de rupture du profil, en cherchant d'abord le nombre de points qui sont écrits dans le premier enregistrement. Dans ce fichier seules sont inscrites les latitude et longitude de chaque point.

La lecture du fichier de points du profil est presque identique : lecture du nombre de points dans le premier enregistrement, puis report dans un tableau des valeurs de latitude, longitude et profondeur de chaque point.

Les questions se poursuivent par la demande du titre, et des questions identiques à celles posées par le programme PROFILE : continuité de croissance ou décroissance sur les latitudes ou longitudes, puis question sur la croissance ou décroissance de l'axe choisi.

Le nombre de segments est ensuite demandé, puis les latitude et longitude des deux points extrêmes de chaque segment, dans le sens du profil.

## RELATION PROFONDEUR-DU-FOSSE - RAYON-DU-CERCLE

Pendant que le programme calcule, celui-ci laisse affiché sur l'écran une formule invitant à attendre.

### A6.1.2 - Calculs

Les premiers calculs transforment les latitudes et longitudes du tableau de points de rupture de l'unité degrés-minutes en degrés décimaux, puis le programme effectue la même opération sur le tableau des points du profil.

Les définitions de fonctions qui suivent servent à calculer la distance entre deux points sur la Terre (ellipsoïde WGS72) connaissant les positions en latitude et longitude des deux points.

Le programme calcule d'abord la distance entre les points de rupture en utilisant les fonctions de trigonométrie sphérique, puis celle entre les points du profil mais en utilisant la géométrie plane (voir les raisons dans l'annexe 1).

Ensuite le programme fait la somme des distances entre points du profil pour chaque portion du profil entre les points de rupture, puis la somme des distances entre points de rupture. Les distances entre points du profil sont ensuite ajustées en faisant le rapport somme des distances entre points du profil entre deux points de rupture et distance réelle entre ces deux points de rupture.

Le programme reprend la transformation des latitudes et longitudes de degrés-minutes en degrés décimaux pour les points limites de chaque segment dont il doit calculer la profondeur moyenne, puis il calcule la distance de chaque point limite le long du profil.

Enfin, le programme calcule pour chaque segment la profondeur moyenne en intégrant les profondeurs le long du profil, puis il calcule la variance et l'écart-type.

### A6.1.3 - Impression des résultats

Les résultats sont imprimés sur deux feuilles différentes : la première est utilisée pour les latitude et longitude des points des segments et leur distance le long du profil, la seconde comporte la profondeur moyenne et l'écart-type pour chaque segment.

La préparation de l'imprimante et l'impression du titre sont identiques pour les deux feuilles. Le sous-titre de chaque feuille indique seulement le contenu de celles-ci : tableau des points limites ou résultats.

Dans le premier tableau on peut lire les latitude et longitude de chacun des points limite de chaque section exprimées en degrés-minutes et en degrés décimaux, la première colonne indique le numéro du segment, et la dernière la distance du point le long du profil bathymétrique.

Le second tableau donne pour chaque section : la profondeur moyenne en mètres, l'écart-type, et les profondeurs minimale et maximale pour cet écart-type, ce qui signifie que 70% de la longueur du profil se trouve à une profondeur dont la valeur est intermédiaire entre ces deux nombres.

## RELATION PROFONDEUR-DU-FOSSE - RAYON-DU-CERCLE

### A6.2 - PROGRAMME 'RADEPTH'

Le programme sert uniquement à donner une représentation graphique de la relation entre les profondeurs des différents segments, calculées par le programme MEANDEPT, et les rayons des cercles associés à ces segments. Ce programme est aussi utilisé pour écrire les équations des droites de régression linéaire et les coefficients de corrélation pour trois groupes de points, les valeurs ayant été calculées sur une calculatrice programmable.

Ce programme est entièrement dédié à la région d'Amérique Centrale. Il a été écrit sur Tektronix 4054 pour le traceur Benson 1332.

#### A6.2.1 - Présentation et données

La présentation rappelle le but du programme et la couleur des plumes : la plume noire est utilisée pour le cadre, les axes, l'une des trois droites de régression et tous les commentaires sous le dessin, la plume rouge sert au titre et au dessin des données, les deux dernières droites sont dessinées en bleu et en vert, ce qui nécessite un changement de plume de bleu en vert en cours d'exécution.

Les données sont la profondeur moyenne, les profondeurs extrêmes données par un écart-type, les rayons des cercles associés : celui des directions et celui des distances.

Ces valeurs sont placées dans un tableau, on peut aussi lire une profondeur moyenne de 3800 m qui est une valeur approchée de la profondeur moyenne du segment compris entre la zone de fracture de Panama et 80°W si l'on enlevait les sédiments qui se sont accumulés depuis l'arrêt de la subduction le long de ce segment. Cette valeur a été déduite des coupes de sismique réflexion publiées par Lowrie (1978).

#### A6.2.2 - Dessin

Après l'initialisation, le programme demande de dessiner le cadre de la feuille 21\*29.7 cm, puis il écrit le titre deux fois, en le décalant légèrement la deuxième fois pour donner des caractères plus gras.

Le dessin se poursuit par le tracé des axes : l'axe vertical, puis l'axe horizontal. Les tirets et les chiffres sont dessinés lors du dessin de l'axe. Le titre et l'unité de chaque axe est écrit à la fin. L'axe vertical a été choisi pour représenter les profondeurs simplement pour aider le lecteur, car il est plus aisé de comprendre un graphique si les directions naturelles sont respectées sur le papier bien que le but de ce dessin est de montrer que le rayon des cercles peut être estimé à partir de la profondeur moyenne des segments du fossé.

Les données sont ensuite dessinées : le point est centré sur la profondeur moyenne et la valeur moyenne des deux rayons (directions, et distances), la barre verticale relie les valeurs extrêmes de profondeurs, et se termine par un trait horizontal. La barre horizontale relie les valeurs des rayons, et se termine par un trait vertical. A chaque croix est

## RELATION PROFONDEUR-DU-FOSSE - RAYON-DU-CERCLE

associé un chiffre qui est le numéro du segment provenant du programme MEANDEPT. Pour essayer d'éliminer l'effet des sédiments pour le segment 5 (base de la pente continentale entre la zone de fracture de Panama et 80°W) j'ai ajouté le segment 5' qui conserve les mêmes rayons de cercles, bien que ceux-ci sont sans doute légèrement différents, mais la croix est centrée sur une profondeur moyenne 900 m plus importante, pour cette croix la barre verticale n'est pas terminée par des traits horizontaux car celle-ci n'est pas complète, ne connaissant pas le profil en profondeur sur la totalité de la longueur du segment.

Le programme dessine ensuite les trois droites de régression, et écrit la même lettre à chaque extrémité (de A à C), dans la couleur de la droite.

La première partie des commentaires est consacrée aux noms donnés à chaque segment, ceux-ci étant identiques à ceux donnés par les programmes DISSMCRC et DIRSMCRC.

La seconde partie des commentaires décrit les paramètres des trois droites de régression : leur nom sur la figure, les points ayant servi au calcul, la formule permettant de calculer le rayon moyen des cercles à partir de la profondeur moyenne, et le coefficient de corrélation  $R^2$ .

La fin du listing du programme est consacrée aux sous-programmes de dessin pour le traceur Benson. Ce texte ne présente que les routines nécessaires au graphique, et est repris de l'ensemble disponible, j'ai rajouté des titres pour une meilleure lisibilité.

Tandis que le programme MEANDEPT peut être utilisé pour n'importe quel profil, le programme RADEPTH, en raison des nombreux détails particuliers à la région d'Amérique Centrale, est entièrement dédié, toutefois le programme a été décomposé de manière à pouvoir être modifié aussi facilement que possible grâce aux commentaires, de plus les opérations gardent autant que possible tous les chiffres originaux.

**ANNEXE A7**

**POSITIONS DE POINTS EN FONCTION DE LA DISTANCE**  
**ET DE LA DIRECTION, SUR LA SPHERE, DISTANCE**  
**LE LONG DE DROITES, DE POINTS PROJETES**

A7.1	<u>Fichiers de données</u>	A7-2
A7.2	<u>Programme 'POINTS.BAS'</u>	A7-2
	A7.2.1 Présentation, lecture des données et titre	A7-3
	A7.2.2 Calculs	A7-3
	A7.2.3 Impression des résultats	A7-3
A7.3	<u>Programme 'PROPOINT.BAS'</u>	A7-3
	A7.3.1 Présentation et questions	A7-3
	A7.3.2 Calculs	A7-4
	A7.3.3 Impression des données et des résultats	A7-4

## POSITIONS DE POINTS SUR LA SPHERE EN FONCTION ...

Cette annexe contient les explications de deux programmes exécutables sur Zenith 100, POINTS.BAS et PROPOINT.BAS, ainsi que le formatage du fichier de données nécessaire au premier programme. Le premier programme calcule la position géographique d'un point étant donné la distance à un point origine et la direction. Le second calcule la distance le long d'une ligne entre un point origine sur cette ligne et la projection d'un point sur cette droite. En fait ces deux programmes ne calculent pas la position ou la distance d'un seul point à la fois, mais de deux points de chaque côté du point origine pour POINTS, et jusqu'à 10 points sur 5 lignes de projections pour PROPOINTS. POINTS sert au positionnement des points qui sont les coins des polygones dans lesquels sont triés les séismes pour dessiner des sections, le second point de chaque ligne de projection de chaque section a été calculé également avec ce programme (voir SEISSORT). Le second programme sert à calculer la distance à laquelle sont projetés les coins de ces polygones sur chacune des lignes de projection choisies, pour déterminer la limite graphique des sections (voir CROSSECTION).

### A7.1 - FICHIERS DE DONNEES

Six fichiers de données ont été créés pour le programme POINTS : MATPNTSS.DAT, MATPNTFZ.DAT, MATPNTTA.DAT, MATPNTRM.DAT.

Les caractéristiques obligatoires de ces fichiers sont premièrement de commencer à la ligne 500 et de se terminer avant la ligne 1000. Deuxièmement ils doivent comporter les variables N et D\$, la première contient le nombre de points, et la seconde l'unité des deux distances données pour chaque point. Troisièmement les données pour chaque point sont obligatoirement et dans cet ordre : la latitude en degrés décimaux, la longitude en degré décimaux, la distance dans l'unité retenue du premier point, la distance du second point, la direction de la droite passant par les trois points dans le sens horaire et par rapport au Nord.

Le second point est situé du côté positif de la droite (c'est-à-dire dans la direction donnée par rapport au point origine), tandis que le premier point est situé du côté négatif (c'est-à-dire dans la direction +180 degrés par rapport au point origine). Ceci est un héritage du but premier du programme utilisant ces données : déterminer les positions géographiques des coins du polygones de tri des séismes, à partir de points à l'axe du Fossé d'Amérique Centrale, pour dessiner des secteurs SW-NE traversant le fossé.

### A7.2 - PROGRAMME 'POINTS.BAS'

Ce programme est adapté aux besoins de définition de localisation des points servant de coins aux polygones dans lesquels sont triés les séismes pour dessiner des sections, c'est pourquoi il calcule la position de deux points de part et d'autre du point origine et situés sur la même droite.



#### A7.2.1 - Présentation, lecture des données et titre

La présentation rappelle le but du programme et le contenu obligatoire des fichiers de données. Puis le fichier de données désiré est chargé en mémoire.

Ensuite le programme lit les données, vérifie si la lettre donnée pour l'unité de distance est bonne et attribue une écriture suivant l'unité choisie, puis calcule deux colonnes du tableau en fonction de cette unité, l'unité de base étant le degré.

La seule question concerne le titre à donner au tableau.

#### A7.2.2 - Calculs

Cette partie commence par une série de définitions de fonctions de trigonométrie sphérique servant à calculer les différences en latitude et en longitude par rapport au point origine pour les distances demandées.

Le calcul se fait ensuite très rapidement en utilisant ces fonctions.

#### A7.2.3 - Impression des résultats

Après l'impression du titre, l'ordinateur demande l'écriture des titres des colonnes, l'unité des distances ayant été définie dans le fichier de données. La largeur des colonnes comportant des distances a été prévue pour accepter des valeurs en kilomètres aussi bien qu'en degrés. Enfin les données et les résultats sont imprimés.

### A7.3 - PROGRAMME 'PROPOINT.BAS'

Ce programme complète le programme précédant dans l'application qui en a été faite : il sert à déterminer la distance maximale des séismes de chaque section en projetant chaque coin du polygone de tri sur chacune des lignes de projection utilisées. Le résultat est la distance de projection de chaque coin par rapport à une origine commune des lignes de projection de chaque section au fond du fossé.

#### A7.3.1 - Présentation et questions

Après une brève présentation rappelant le but du programme, celui-ci demande le titre à donner au tableau, puis le nombre de côtés du polygone. Ensuite l'opérateur doit répondre aux questions concernant la latitude et longitude de chaque coin du polygone.

Les questions intéressant les lignes de projection commencent par leur nombre, puis pour chacune d'entre-elles l'utilisateur doit donner un nom, les latitudes et longitudes du point origine et du second point définissant la droite.

## POSITIONS DE POINTS SUR LA SPHERE EN FONCTION ...

### A7.3.2 - Calculs

J'ai repris l'utilisation de la projection de Mercator et de la géométrie plane, d'après un programme de Reid pour la bibliothèque IGL (voir le programme SEISSORT).

Cette partie commence par la définition de la fonction calculant la coordonnée Y remplaçant la latitude dans une projection de Mercator. Le paramètre utile de l'ellipsoïde WGS72, l'excentricité (variable B dièse) est également donnée.

Ensuite, les latitudes de tous les coins du polygone sont transformées en coordonnées Y, puis le programme recherche les valeurs minimales et maximales de longitudes et de coordonnées Y.

Ensuite le programme recherche les coefficients a et b des droites  $ax+b$  supportant les côtés du polygone.

Après de nouvelles définitions de fonctions servant à calculer la distance entre deux points de la sphère en fonction de leurs latitudes et de leurs longitudes, le programme construit le tableau des latitudes corrigées des points des lignes de projection et calcule les distances entre les couples de points appartenant à la même droite.

Enfin le programme calcule la distance en degrés et en km le long des lignes de projection, entre le point origine de chaque ligne et la projection des coins du polygone sur ces droites.

### A7.3.3 - Impression des données et des résultats

Le programme demande d'abord l'impression du titre, puis les caractéristiques des lignes de projection (latitude et longitude), et enfin les latitude et longitude de chaque coin du polygone, ainsi que les distances en km le long de chaque ligne de projection.

Les types d'écriture ont été choisis pour pouvoir écrire les cinq lignes de projection maximum sur une seule ligne.

Ces programmes, et en particulier le second, sont orientés vers leur application directe dans le dessin des sections de séismes, cela se traduit surtout par un vocabulaire des questions et des commentaires spécifiques : il suffirait souvent de remplacer le mot 'coin' par le mot 'point', de dimensionner les tableaux si on veut pouvoir traiter un nombre de points supérieur à 10 et d'effacer certains tests de limite à 10, pour avoir des programmes adaptés à d'autres types de calculs.

## ANNEXE A8

### REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS SUR DIAGRAMMES X-Y

A8.1	<u>Programme 'POINT PLOTTING'</u>	A8-2
A8.1.1	Fichiers de données	A8-2
A8.1.2	Présentation et questions	A8-2
A8.1.3	Dessin du graphique	A8-3
A8.1.4	Sous-programmes du traceur Benson	A8-3
A8.2	<u>Programme 'LINEDRAW.BAS'</u>	A8-3
A8.2.1	Fichiers de données	A8-3
A8.2.2	Présentation et questions	A8-4
A8.2.3	Dessin du graphique linéaire	A8-4

## REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS SUR DIAGRAMME X-Y

Cette annexe décrit les deux programmes de représentation graphique de diagrammes simples effectués, le premier sur traceur Benson 1332 à partir d'un Tektronix 4054 : dessin de points sur un diagramme X-Y (POINT PLOTTING), et le second sur traceur Hewlett-Packard 7475A à partir d'un IBM AT3 : dessin de lignes brisées reliant des points sur un diagramme X-Y (LINEDRAW.BAS) (ce second programme avait été écrit à l'origine pour traceur Benson 1332 sur Tektronix 4054, mais l'indisponibilité de cette configuration lors de corrections m'a obligé à traduire le programme pour un traceur HP 7475A sur l'IBM AT3 de la section de Géographie de l'Université de Brest).

### A8.1 - PROGRAMME 'POINT PLOTTING'

Ce programme est utilisé pour dessiner des points sur un diagramme X-Y. Il est possible d'utiliser jusqu'à 9 symboles différents et trois couleurs. Les fichiers de données doivent être créés séparément.

#### A8.1.1 - Fichiers de données

Chaque fichier doit comporter outre les données X et Y de chaque point en ligne DATA, le nombre de points dans une variable appelée A0, et le nombre de colonnes dans la variable A1, cette dernière variable étant utile lorsque le fichier contient des colonnes non utilisées par ce programme. De plus 2 lignes essentielles doivent être écrites dans le programme : une ligne où l'on peut lire 'DIM A(A0,A1)', qui peut être placée n'importe où dans le programme, sauf après la seconde ligne obligatoire 'READ A', celle-ci devant se situer de plus après les lignes DATA.

#### A8.1.2 - Présentation et questions

La présentation résume les caractéristiques du programme et donne un exemple de fichier de données.

La première question du programme est le numéro du fichier de données sur la bande afin de charger les données en mémoire.

Les autres questions commencent par la demande du titre et du sous-titre à donner au graphique, puis l'utilisateur doit donner le nombre d'ensembles de points à dessiner, c'est-à-dire soit des points ayant des symboles différents ou des couleurs différentes, soit des séries de points non contiguës. Enfin le programme demande les titres et unités à inscrire le long des deux axes.

Pour chaque ensemble de points, l'opérateur doit donner le numéro de la colonne où se trouve la variable X, puis celle où se trouve la variable Y, ensuite il choisit le numéro de la première ligne de l'ensemble de points et le nombre de lignes. Les choix suivants concernent le symbole à utiliser parmi 9 possibles, et la couleur du symbole.

Après avoir recherché les valeurs minimales et maximales des variables X et Y parmi les points à dessiner, le programme demande les limites inférieures et supérieures de chaque axe. Les questions suivantes

## REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS SUR DIAGRAMME X-Y

concernent le dessin de tirets et leur espacement ainsi que les chiffres et leur espacement.

Il est aussi possible d'écrire jusqu'à huit lignes de commentaires sous le dessin, ceux-ci pouvant servir de légende au graphique.

Avant le dessin le programme crée un tableau dans lequel il place les valeurs X et Y de chaque point, ainsi que le numéro du symbole et celui de la couleur à utiliser.

### A8.1.3 - Dessin du graphique

Après l'initialisation du traceur, le programme dessine le cadre au format 21\*29.7 cm. Après l'initialisation du type de caractère et la couleur, il écrit le titre deux fois en le décalant légèrement la seconde fois pour épaissir un peu le trait, puis il écrit le sous-titre en changeant le type de caractère et la couleur.

Après la préparation des paramètres de tracé de l'axe vertical, le programme dessine l'axe et les tirets et inscrit les chiffres en même temps. Ensuite il écrit le titre de l'axe et l'unité à son sommet.

Le dessin de l'axe horizontal est identique à celui de l'axe vertical, mais le titre et l'unité sont écrits sous l'extrémité droite de l'axe.

Pour éviter certaines répétitions, on a inclu un sous-programme d'inscription des chiffres le long des axes.

Le dessin des données débute par le calcul des coordonnées sur le traceur. Ce n'est qu'après la sélection de la plume et du symbole que le dessin peut être exécuté.

La hauteur du dessin a été calculée en fonction du nombre de lignes de commentaires. Leur inscription est le dernier travail du traceur.

### A8.1.4 - Sous-programmes Benson

A la fin du listing j'ai recopié tous les sous-programmes utilisés dans le programme par le traceur Benson, en rajoutant des titres.

## A8.2 - PROGRAMME 'LINEDRAW.BAS'

Ce programme dessine un graphique X-Y et relie les points par des segments de droite en continu ou en tiretés, le dessin est exécuté dans une feuille de format 21\*29.7 cm par un traceur HP 7475A. Les fichiers de données utilisés peuvent être extérieurs au programme ou être créés par le programme LINEDRAW.BAS.

### A8.2.1 - Fichiers de données

Les fichiers de données utilisés par le programme LINEDRAW.BAS peuvent aussi servir sous certaines conditions au programme MERVETR.BAS (voir

## REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS SUR DIAGRAMME X-Y

annexe 9). Ils contiennent les coordonnées X et Y des points à relier sur le graphique, et pour être utilisables par le programme MERVETR.BAS, chaque couple X-Y doit aussi avoir une position géographique (latitude et longitude).

En plus des données X et Y, ce fichier doit obligatoirement posséder les nombres de lignes et de colonnes du tableau écrits sur la première ligne.

### A8.2.2 - Présentation et questions

La brève présentation rappelle le but du programme, puis demande si l'on veut utiliser un ancien fichier de données ou en créer un nouveau. En cas de création celle-ci se fait à ce moment, à la fin de l'entrée des données, celles-ci sont sauvegardées dans un fichier, leur édition peut alors se faire par un éditeur de texte.

Après l'entrée des données, à partir du clavier ou d'un fichier, les questions concernent d'abord le titre et le sous-titre à donner au graphique, puis après un rappel des nombres de lignes et de colonnes du tableau, le programme demande le nombre de couples qui devront être dessinés, puis les noms et unités des deux axes. Ensuite pour chaque couple de données sont demandés : les numéros des colonnes où sont rangées les variables X et Y, le numéro de la première ligne à utiliser, puis le nombre de lignes à lire, et enfin le numéro de la plume qui servira à dessiner la ligne, et le type de trait continu ou interrompu avec 5 longueurs de tirets.

Le programme recherche ensuite les valeurs minimales et maximales des variables X et Y pour l'ensemble des couples à dessiner, puis demande à l'utilisateur de choisir les valeurs minimales et maximales pour les axes X et Y, et l'espacement entre les tirets et les chiffres le long des axes.

Il est aussi possible d'écrire jusqu'à dix lignes de commentaires : l'utilisateur écrit ses lignes au fur et à mesure, et la ligne après la dernière à écrire doit être : uniquement un retour-chariot.

### A8.2.3 - Dessin du graphique linéaire

Après l'initialisation du traceur, le programme écrit le titre avec la plume numéro 2 deux fois, puis le sous-titre avec la plume no. 3.

Ensuite a lieu le tracé des axes, avec le tracé des tirets et l'écriture des chiffres, et enfin les titres des axes et les unités utilisées. La longueur de l'axe vertical dépend du nombre de lignes de commentaires à imprimer sous le graphique.

La partie la plus importante consiste ensuite à tracer les segments reliant les points X-Y : pour les lignes continues il n'y a aucun problème, tandis que pour avoir un dessin régulier avec les tirets il faut calculer la longueur du segment, le nombre de tirets complets, visibles et invisibles, à dessiner, puis la longueur restante du segment, la compléter avec le début du tiret suivant, et utiliser le reste de ce tiret au début du segment suivant, la longueur pour laquelle est calculée le nombre de tirets entiers étant alors la longueur totale du segment diminuée de la longueur du morceau de tiret dessiné au début du segment.

## REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS SUR DIAGRAMME X-Y

(cette version du programme est un copie de la version utilisant le traceur Benson et n'utilise pas toutes les possibilités du traceur HP).

Le programme écrit ensuite les lignes de commentaires en bas de la feuille, la place exacte ayant été réservée en calculant la hauteur du graphique.

Les programmes POINT PLOTTING et LINEDRAW.BAS peuvent être utilisés pour de nombreux tableaux de données. Ils peuvent aussi être facilement adaptés à des coordonnées non linéaires, etc. ; toutes les variables étant définies à mesure des besoins. Si le fichier contenant les données de POINT PLOTTING est trop long pour être inclus dans le programme il faudra le transformer en un autre type de fichier de données et modifier les programmes pour leur lecture.

## ANNEXE A9

### REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS SUR CARTES

A9.1	<u>Programme 'MERCATOR'</u>	A9-2
A9.1.1	Fichiers de données	A9-2
A9.1.2	Présentation et questions	A9-2
A9.1.3	Calcul des coordonnées sur papier de tous les points utiles	A9-3
A9.1.4	Dessin de la carte	A9-3
A9.1.5	Sous-programmes du traceur Benson	A9-4
A9.2	<u>Programme 'MERVECTR.BAS'</u>	A9-4
A9.2.1	Fichiers de données	A9-4
A9.2.2	Présentation et questions	A9-4
A9.2.3	Calcul des coordonnées sur papier de tous les points utiles	A9-5
A9.2.4	Dessin de la carte	A9-5



## REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS SUR CARTES

Cette annexe réunit les explications de deux programmes permettant de représenter des données sur des cartes en projection de Mercator : dessin de points avec des symboles et couleurs différentes et éventuellement un texte numérique (MERCATOR) et dessin de vecteurs provenant du programme PLATES ou d'autres données de direction associée à une valeur, et permettant de dessiner des vecteurs de direction et de longueur variables (MERVECTR.BAS).

Le premier programme a été écrit sur Tektronix 4054 pour diriger un traceur Benson 1332. Le second est une version tournant sur compatible IBM PC pour traceur Hewlett-Packard 7475A d'un programme écrit à l'origine sur Tektronix 4054 pour traceur Benson 1332. La version présentée de MERVECTR.BAS a dû être réalisée sur l'IBM AT3 de la section de Géographie de l'Université de Brest en raison de l'indisponibilité du Tektronix et du traceur Benson lors de corrections tardives.

### A9.1 - PROGRAMME 'MERCATOR'

Ce programme permet de dessiner des points sur une carte en projection de Mercator (ellipsoïde WGS72) en utilisant jusqu'à 9 symboles et 3 couleurs différentes. Il est possible d'écrire un chiffre à côté de chaque point, celui-ci représentant soit un numéro, une heure ou la valeur d'une variable (champ magnétique, ...).

#### A9.1.1 - Fichiers de données

La structure des fichiers de données est très simple : chaque fichier doit contenir deux variables (A0 et A1) donnant le nombre de points (A0) et le nombre de variables pour chaque point (A1). Un tableau A doit être créé en utilisant l'instruction DIM, A0 et A1 étant respectivement le nombre de lignes et le nombre de colonnes du tableau. Ensuite les données sont écrites dans des lignes DATA, et le fichier se termine par une ligne où l'on peut lire 'READ A'. La ligne READ doit obligatoirement être placée après les données, et la déclaration de dimension de tableau doit précéder l'ordre de lecture.

#### A9.1.2 - Présentation et questions

Quelques lignes présentent le but du programme et le format obligatoire du fichier de données. Le programme demande ensuite le numéro du fichier de données sur la bande magnétique afin de le charger en mémoire.

Après le chargement commence la série de questions nécessaires au dessin de la carte et à sa présentation : tout d'abord le titre et le sous-titre. Puis après l'affichage du nombre de lignes et de colonnes du tableau de données, le programme demande le nombre de groupes de points à dessiner, c'est-à-dire le nombre de groupes de points en succession dans le tableau et dessinés avec le même symbole et la même couleur. La question suivante concerne la possibilité d'écrire un nombre près du point (un label alphabétique est impossible sur le Tektronix 4054 car le Basic n'accepte pas de tableau de caractères). Le programme crée alors le tableau où il placera les options de dessin des divers groupes de points.

## REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS SUR CARTES

Pour chaque groupe de points, on demande les numéros des colonnes où se trouvent la latitude, la longitude, et le numéro du point si l'utilisateur l'a demandé. Ensuite si l'on ne désire pas dessiner tous les points du tableau avec les mêmes caractéristiques, on doit donner le numéro de la ligne du tableau correspondant au premier point du groupe, et le nombre de points du groupe. Les dernières questions portent sur le choix du symbole représentant le point et la couleur du dessin du symbole.

Après avoir recherché les latitudes et longitudes minimales et maximales, le programme demande les coordonnées limites de la carte et l'échelle de celle-ci en pouces par degré à l'Equateur. Si l'échelle choisie produit une carte trop large, le programme affiche la largeur calculée et propose le changement des limites en longitude ou le changement d'échelle. Ensuite, l'utilisateur peut choisir de dessiner une grille, des tirets et d'écrire les latitudes et longitudes ; il choisit également leurs espacements. Enfin il lui est possible d'inscrire jusqu'à huit lignes de commentaires sous la carte, ceux-ci pouvant servir de légende à la carte.

### A9.1.3 - Calcul des coordonnées sur papier de tous les points utiles

Avant le dessin proprement dit le programme calcule les positions de tous les points de la carte en cm sauf les points de données : cadre, grille, tirets, chiffraisons.

Cette partie commence par définir les paramètres et fonctions nécessaires à la transformation des latitudes en coordonnées Y pour une carte en projection de Mercator utilisant l'ellipsoïde WGS72.

Le programme calcule ensuite la position des quatre coins du cadre de la carte, la position des extrémités des points formant la grille, la position des points où seront dessinés les tirets et la position des points où seront écrites les latitudes et longitudes.

### A9.1.4 - Dessin de la carte

Après que l'opérateur ait placé les plumes à la droite du traceur, le programme initialise celui-ci, puis le type de caractères à dessiner et la couleur choisie. Il écrit alors le titre deux fois, en le décalant légèrement la seconde fois pour épaissir le trait. Après avoir changé la couleur et la taille des caractères, il inscrit le sous-titre.

Le programme change à nouveau la couleur, et après s'être placé au point qui sera le point en haut à gauche de la carte, il change l'origine. Il peut alors dessiner le cadre de la carte en utilisant les coordonnées calculées dans la partie précédente. Il dessine ensuite la grille, les tirets et écrits les latitudes et longitudes lorsqu'ils ont été demandés. Les tirets sont dirigés vers l'extérieur du cadre et les chiffraisons sont écrites également à l'extérieur.

Le programme effectue alors le calcul de la position de chaque point avant de le dessiner avec le symbole choisi dans la couleur désirée. Les signes sont tous centrés de la même façon dans le sens de la largeur, mais pour la hauteur il faut faire appel à des sous-routines contenant le décalage à apporter et le symbole à écrire.

## REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS SUR CARTES

La dernière partie du tracé est l'écriture des lignes de commentaires sous la carte. Puis la plume se déplace un peu pour dégager la carte.

### A9.1.5 - Sous-programmes du traceur Benson

Seuls ont été recopiés les sous-programmes nécessaires au tracé de carte auxquels ont été ajoutés des commentaires.

### A9.2 - PROGRAMME 'MERVECTR.BAS'

Le premier but de ce programme a été le dessin des vecteurs de vitesse de mouvement des plaques, calculés par le programme PLATES (annexe 3), sur une carte en projection de Mercator : n'importe quel couple longueur-direction peut être dessiné à l'échelle désirée en 6 couleurs et en 6 sortes de trait (trait plein, et tiretés). Les fichiers de données utilisés peuvent avoir été créés à l'extérieur du programme ou par l'intermédiaire de celui-ci.

#### A9.2.1 - Fichiers de données

Ils contiennent obligatoirement la latitude et la longitude de tous les points à dessiner, ainsi que la longueur du vecteur et la direction de mouvement des plaques.

Ils doivent aussi posséder sur la première ligne le nombre de lignes et le nombre de colonnes du tableau dans lequel seront accueillies les données.

#### A9.2.2 - Présentation et questions

Après un texte de présentation rappelant le but du programme et la structure des fichiers de données, l'opérateur peut choisir entre l'utilisation d'un ancien fichier de données ou la création d'un nouveau fichier qui ne pourra être modifié que par un éditeur de texte.

Les premières questions concernent le titre et le sous-titre à donner à la carte, puis le nombre de couples de données à dessiner.

Puis pour chaque couple il faut donner les numéros des colonnes contenant la latitude, la longitude, la longueur du vecteur et la direction ; si toutes les lignes ne sont pas utilisées le numéro de la première ligne et le nombre de lignes sont nécessaires. Chaque groupe de points peut utiliser un symbole particulier pour indiquer l'emplacement du point (l'absence de signe est également autorisée), la couleur du dessin du symbole est à choisir parmi 6 possibles. Le vecteur peut être représenté par un des 6 types de trait disponibles : trait plein ou tiretés (0.5 mm, 0.8 mm, 1.2 mm, 1.7 mm ou 2.3 mm), et dans une des six couleurs choisies par l'utilisateur qui placera les crayons dans les supports du traceur.

Le programme recherche ensuite les valeurs minimales et maximales de latitudes et de longitudes. L'opérateur donne alors les latitudes et longitudes limites de la carte. Après affichage des valeurs extrêmes de

## REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS SUR CARTES

vitesse, l'utilisateur donne la longueur en centimètres correspondant à l'unité de longueur utilisateur, puis les lignes de commentaire jusqu'à 10 s'il le désire. Etant donné le format fixe de la feuille de papier utilisé (A3 : 29.7\*42 cm) il est important de vérifier si l'échelle de la carte en pouces par degré à l'Equateur qui est ensuite demandé, permet de tracer la carte, sinon une correction portant soit sur l'échelle soit également sur les commentaires est demandée.

Le questionnaire se poursuit : si vous voulez une carte avec une grille, des tirets sur les bords et les chiffres des latitudes et des longitudes vous devez donner l'intervalle en degré le long des latitudes et le long des longitudes.

### A9.2.3 - Calcul des coordonnées sur papier de tous les points utiles

L'origine du dessin est le coin en bas à gauche de la carte (latitude minimale, longitude minimale). A partir de ce point sont calculées les coordonnées X et Y en cm des coins du cadre de la carte en utilisant une formule définie lors du calcul de la taille du dessin (voir plus haut).

Le programme calcule ensuite, si nécessaire, la position en latitude et en longitude des traits de la grille, des tirets et des chiffres.

### A9.2.4 - Dessin de la carte

L'opérateur doit placer l'ensemble des plumes (en couleur ou en noir, mais au moins 3 sont indispensables), puis le programme ordonne l'impression du titre avec la plume 2, et du sous-titre avec la plume 3, et ensuite le dessin du cadre avec la plume 1.

Les lignes horizontales, puis verticales de la grille sont dessinées ensuite si elles ont été demandées, suivies des tirets le long de la longitude W, puis de la latitude S, ensuite de la latitude N et enfin de la longitude E, l'inscription des chiffres des latitudes et longitudes se fait dans le même ordre.

Puis le programme calcule les valeurs nécessaires au dessin de chaque point et vecteur associé : coordonnées en cm, longueur du vecteur, direction et coordonnées X-Y d'un des points extrémités du vecteur. Il positionne alors la plume désirée et dessine le symbole choisi, va se placer à une extrémité du vecteur, et dessine le vecteur jusqu'à son autre extrémité, à l'opposé du point central si on a choisi un trait plein. Pour un trait en tirets la plume se place à une extrémité du vecteur, dessine les tirets jusqu'au point, se déplace jusqu'à l'autre extrémité du vecteur, à l'opposé du point, et dessine les tirets jusqu'au centre. Le programme répète ceci pour chaque point du tableau.

Le dessin se termine par l'impression des commentaires sous la carte.

## REPRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS SUR CARTES

Ces programme peuvent être modifiés très aisément pour simplement dessiner des fonds de carte en projection de Mercator, pour dessiner des cartes en projection de Mercator mais utilisant un ellipsoïde de référence différent, ou même des cartes de projections différentes. Le passage de la ligne 180 degrés de longitude est testé, et les points hors du cadre ne sont pas dessinés.

## ANNEXE A-10

### SEISMES :

### CARTE DES MAGNITUDES ET COUPES

A10.1	<u>Programme 'SEISEDIT.BAS'</u>	A10-2
A10.2	<u>Programme 'ERSQEDIT.BAS'</u>	A10-3
A10.3	<u>Programme 'SEISMES.BAS'</u>	A10-3
	A10.3.1 Présentation et questions	A10-3
	A10.3.2 Lecture des données et calculs	A10-4
	A10.3.3 Impression des résultats	A10-5
	A10.3.4 Conclusions	A10-6
A10.4	<u>Programme 'SEISSORT.BAS'</u>	A10-6
	A10.4.1 Présentation et questions	A10-6
	A10.4.2 Tri des séismes et calcul des distances le long des lignes de projection	A10-6
	A10.4.3 Impression des résultats	A10-7
	A10.4.4 Conclusions	A10-7
A10.5	<u>Programme 'CROSSECTION'</u>	A10-7
	A10.5.1 Fichiers de données	A10-8
	A10.5.2 Présentation et questions	A10-8
	A10.5.3 Construction des lignes de commentaires	A10-9
	A10.5.4 Calcul des positions des points et dessin des des coupes	A10-9
	A10.5.5 Sous-programmes spécifiques	A10-11
	A10.5.6 Sous-programmes du traceur Benson	A10-12

## SEISMES : CARTE DES MAGNITUDES ET COUPES

Cette annexe rassemble les explications de tous les programmes concernant les séismes : depuis leur mise en fichier jusqu'à la sortie graphique.

La création des fichiers de données nécessite deux programmes : le premier SEISEEDIT crée un fichier à accès séquentiel, celui-ci devant rester court et être recopié au fur et à mesure par le programme ERSQEDIT en fichier à accès aléatoire. Le choix de l'utilisation successive de ces deux types de fichier a été fait pour profiter au maximum de leurs propriétés respectives.

Le programme SEISMES calcule la magnitude maximale pour tous les noeuds d'une grille couvrant une région donnée. Le résultat doit être reporté sur une carte avant d'être contourner à la main.

Le programme SEISSORT permet de trier les séismes dans un polygone ayant jusqu'à 10 côtés, avec des critères de choix de magnitude et de profondeur. Ces séismes triés sont ensuite dessinés sur une coupe par le programme CROSSECTION.

Tous les programmes, sauf CROSSECTION ont été réalisés sur Zenith 100, le programme de dessin a été créé sur Tektronix 4054 et utilise le traceur Benson 1332.

### A10.1 - PROGRAMME 'SEISEEDIT'

Ce programme permet de créer un fichier séquentiel des données de séismes : latitude, longitude, magnitude et profondeur. Il permet aussi de le modifier et de le compléter par recopie des enregistrements au fur et à mesure de la lecture et après la fin de la vérification.

Le scénario normal est : rentrer les données en répondant aux questions demandant la latitude, longitude, magnitude et profondeur, puis fermer le fichier en répondant 1000 à la question latitude. Il est ensuite possible de reprendre ce fichier : il faut relancer le programme et on peut alors vérifier un par un tous les enregistrements : s'il y a un oubli il est possible d'insérer de nouveaux enregistrements, s'il y a des lignes en double il est possible de supprimer la seconde, si une ligne entière est mal écrite on peut la corriger, si seulement une des valeurs est fautive il suffit de la changer, si l'on sait qu'une partie du fichier est bonne il est possible de recopier plusieurs lignes à la fois ; la fin du fichier atteinte, l'utilisateur peut continuer à entrer des valeurs.

Ce type de fichier doit rester relativement court car lors d'une copie le programme demande l'existence simultanée des deux fichiers sur la disquette, bien que le fichier d'origine soit effacé à la fin et que le fichier de recopie soit renommé à la fin pour garder le nom original. Il faut aussi savoir que ces fichiers occupent une place relativement importante sur la disquette car ils sont écrits en code ASCII.

**A10.2 - PROGRAMME 'ERSQEDIT'**

Ce programme reprend les fichiers séquentiels créés par SEISEdit et les transforme en fichiers à accès aléatoire, beaucoup plus compacts pour les données chiffrées (14 octets par enregistrement au lieu d'un nombre égal à la somme des caractères de tous les nombres et des séparateurs).

Tout se passe comme dans le programme SEISEdit avec l'avantage de pouvoir regarder n'importe quel enregistrement du fichier à accès aléatoire. C'est la dernière fois qu'il est possible de corriger les données : ceci se fait avec les mêmes codes que dans le programme précédent. On peut sauter les lignes que l'on sait bonnes, en supprimer, en insérer, modifier une ligne entière ou seulement une ou plusieurs variables une par une.

Après la copie du fichier séquentiel à la fin du fichier à accès aléatoire il est possible de rajouter des données, mais il faut se rappeler qu'aucun programme n'a été prévu pour les corriger, qu'il est impossible d'insérer sauf à la fin et surtout que la suppression d'un enregistrement ne peut se faire que par programme (soit en décalant les enregistrements suivants, soit en marquant l'enregistrement d'une manière qui doit être prise en compte par les programmes utilisant ces fichiers).

Etant donnée la courte longueur d'un enregistrement, il est impossible d'utiliser la fonction LOF (qui donne la longueur d'un fichier en octets) en divisant le nombre obtenu par la longueur d'un enregistrement pour avoir le nombre d'enregistrements d'un fichier, car la longueur d'un fichier de ce type est obligatoirement un multiple de 128. Pour résoudre ce problème, il peut être nécessaire de connaître le nombre exact d'évènements pour construire un tableau, j'ai décidé d'écrire le nombre d'enregistrements du fichier dans les 4 nombres du premier enregistrement.

**A10.3 - PROGRAMME 'SEISMES'**

Ce programme a été créé pour calculer la magnitude maximale des séismes d'une région sur une grille dont la maille est un 'carré' de 0.2 degré de côté. Etant donné que ce programme a été créé à l'origine pour une région tropicale (l'Amérique Centrale), aucune correction géographique n'a été faite et la maille est considérée comme carrée, ce qui simplifie les calculs.

**A10.3.1 - Présentation et questions**

La présentation rappelle le but du programme et les programmes à utiliser pour obtenir des fichiers de données utilisables par SEISMES, et conseille d'utiliser un papier en continu.

Les questions commencent par le nom du fichier de données, puis le programme demande les titre et sous-titre à donner au tableau, puis les limites géographiques de celui-ci. Après ces questions l'ordinateur calcule la largeur du tableau et demande si la valeur calculée est celle que l'on voulait pour éviter les erreurs d'écriture entre les limites occidentale et orientale. La mémoire vive de l'ordinateur étant limitée, le programme découpe le tableau en bandes, allongées dans le sens Nord-



## SEISMES : CARTE DES MAGNITUDES ET COUPES

Sud, d'une surface égale à 450 degrés 'carrés' environ, chaque bande correspond en fait à un sous-tableau indépendant des autres et donc à une lecture du fichier de données. Etant donnée la conception du calcul les bords de chaque bande sont fausses car n'intégrant pas les données situées au-delà, c'est pourquoi chaque bande se superpose à la précédente pour avoir 2 colonnes identiques en commun. Le programme donne le nombre de fois qu'il devra lire le fichier de données et imprimer les bandes indépendantes.

Les dernières questions concernent le choix des intervalles de magnitude et de profondeur : 10 intervalles sont autorisés pour chaque variable, la valeur inférieure de l'intervalle est incluse dans celui-ci, tandis que la valeur supérieure en est exclue. Si l'on désire garder les séismes de toutes magnitudes, il suffit de répondre 0 à la question, de même avec la profondeur.

### A10.3.2 - Lecture des données et calcul

La moitié des calculs se fait au fur et à mesure de la lecture des données.

Pour chaque bande indépendante du tableau général le programme devra créer un sous-tableau et imprimer tous les résultats.

Le programme calcule d'abord la taille du tableau qu'il doit créer.

Le fichier de données à accès aléatoire est lu séquentiellement. Pour chaque enregistrement le programme vérifie si le séisme a eu lieu dans le cadre géographique étudié et si la magnitude et la profondeur appartiennent aux intervalles choisis.

Puis le programme calcule les numéros de la ligne et de la colonne du tableau où est placé le séisme, et ensuite transforme la valeur de la magnitude en énergie pour calculer une somme des énergies en chaque point avant la reconversion finale en degrés de magnitude. Suivant la méthode de M. Bath, j'ai considéré qu'une certaine surface recevait l'énergie provenant du tremblement de terre et j'ai choisi une répartition géographique de l'énergie suivant une courbe gaussienne approximative : le ou les points les plus proches reçoivent l'énergie totale, les points un peu plus éloignés la moitié de l'énergie, et les points plus éloignés le quart seulement de celle-ci. Cette répartition se fait suivant un schéma dépendant de la localisation exacte du séisme par rapport à la grille de points. La grille principale a une maille de 0.2 degré et la grille interne une maille de 0.05 degré. La répartition de l'énergie est illustrée ci-dessous :

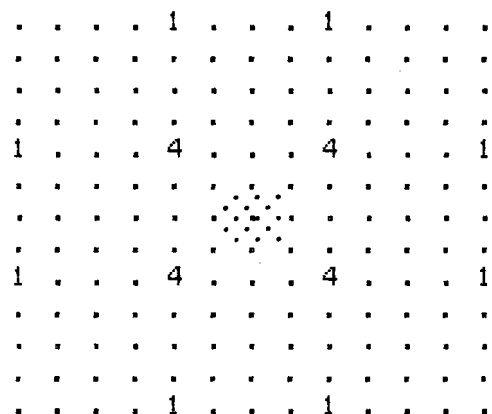
le chiffre 4 est attribué aux points auxquels est appliquée l'énergie totale, 2 correspond à la moitié de l'énergie, et 1 au quart de celle-ci ; la zone marquée représente le lieu où s'est passé le tremblement de terre. La distance entre les points et les chiffres est de 0.05 degré.

Le fichier de données est lu en entier et l'énergie de chaque point est calculée en faisant la somme des énergies de tous les séismes.

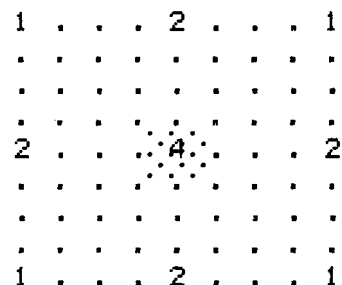
La dernière partie du calcul consiste, quand les données ont été entièrement lues, à convertir l'énergie en degrés de magnitude de l'échelle de Richter pour tous les points du tableau.

## SEISMES : CARTE DES MAGNITUDES ET COUPES

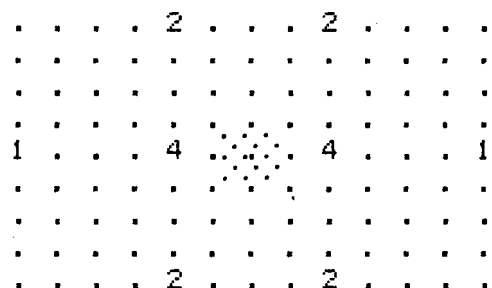
cas 1 : séisme éloigné des lignes de la grille



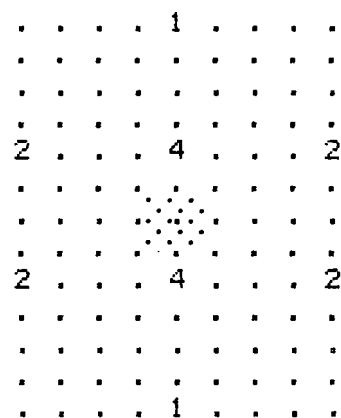
cas 2 : séisme proche d'un point de la grille



cas 3 : séisme proche d'une ligne de latitude



cas 4 : séisme proche d'une ligne de longitude



### A10.3.3 - Impression des résultats

L'impression des résultats se fait sur une grille identique au tableau mais les caractères les plus petits ne permettent que d'écrire 136 caractères par ligne, c'est-à-dire qu'il est impossible d'écrire plus de 22 colonnes de nombres de 6 caractères (point décimal et espace compris), c'est pourquoi il a été nécessaire de diviser chaque sous-tableau en bandes de 21 colonnes de largeur, la 22e colonne est utilisée pour écrire la latitude. Chacune de ces bandes élémentaire est appelée page.

Au début de chaque 'page' sont écrit son numéro, le titre et le sous-titre du tableau, ainsi que les intervalles de magnitude et de profondeur. Le tableau peut contenir jusqu'à 21 colonnes de données car j'ai retiré le signe - des longitudes W et celles-ci ne peuvent être écrites qu'avec une seule décimale, par contre la magnitude est imprimée avec deux chiffres décimaux.

Après avoir imprimé la page, le programme prépare la page suivante du sous-tableau s'il en reste, ou prépare le sous-tableau suivant en prévoyant une superposition des deux tableaux pour la continuité des

## SEISMES : CARTE DES MAGNITUDES ET COUPES

résultats, les bordures de tableaux ayant des valeurs sous-estimées. Avant de recommencer à lire les données, à les trier et à calculer l'énergie, l'ancien tableau doit être effacé pour pouvoir être recréé avec la taille la mieux adaptée.

### A10.3.4 - Conclusions

La maille assez fine de la grille de calcul ne peut être utilisée qu'avec des séismes relativement bien localisés, c'est-à-dire en particulier avec ceux ayant eu lieu depuis l'installation du réseau mondial de sismographes (Worldwide Standardized Network) à partir de 1961. Pour des données antérieures il sera nécessaire d'élargir la maille pour tenir compte des incertitudes sur les localisations.

### A10.4 - PROGRAMME 'SEISSORT'

Ce programme sert à trier les séismes dans un polygone ayant jusqu'à 10 côtés, les intervalles de profondeur et de magnitude peuvent être également sélectionnés, et étant donné que les résultats de ce tri serviront à construire des coupes de séismes (voir le programme CROSSECTION ci-dessous), le programme calcule également la distance le long de lignes de projection (jusqu'à 5 lignes différentes).

#### A10.4.1 - Présentation et questions

La présentation rappelle le but du programme et le mode de création des fichiers de données.

Les premières questions concernent le titre du tableau, le nombre de côtés du polygone et les latitude et longitude de chaque coin de celui-ci. Puis l'opérateur doit donner le nombre de lignes de projection, la latitude et longitude du point origine et celles du second point servant à définir la ligne et le sens positif des distances. Il est ensuite possible de choisir jusqu'à 10 intervalles de magnitude et 10 intervalles de profondeur (mais le programme de dessin des coupes sait que les séismes dont la profondeur est 0 km ou 33 km doivent être considérés comme ayant une profondeur indéterminée).

La dernière question est le nom du fichier de données à accès aléatoire.

#### A10.4.2 - Tri des séismes et calcul des distances le long des lignes de projection

Le tri des séismes se passe en deux étapes : tout d'abord le programme garde dans un tableau les séismes ayant eu lieu dans le rectangle compris entre les latitudes minimale et maximale et les longitudes minimale et maximale des coins du polygone, ce premier tri est relativement rapide. Ensuite a lieu le véritable tri à l'intérieur du polygone.

Le programme utilise l'ellipsoïde WGS72 pour le second tri : les latitudes de tous les coins du polygone sont transformées en coordonnées planes Y, puis le programme recherche les latitudes et longitudes minimales et

maximales des coins.

Le programme lit ensuite le nombre d'enregistrements du fichier dans le premier enregistrement, puis vérifie séquentiellement si chaque séisme appartient au rectangle défini par les latitudes et longitudes extrêmes des coins, et aux intervalles de magnitude et de profondeur choisis par l'utilisateur.

Ensuite la latitude de chaque point trié est transformée en coordonnée Y et le programme détermine les équations des droites portant les côtés du polygone (ceux-ci appartenant à des grands cercles terrestres sont transformés en droites sur une carte en projection de Mercator).

Le second tri consiste à vérifier si le séisme est placé au-dessus ou au dessous de chaque ligne portant les côtés du polygone. Pour chaque séisme, si le nombre de fois qu'il se situe au dessus de toutes les droites des côtés est impair, cela signifie que le séisme appartient au polygone, quelle que soit la forme de celui-ci.

La dernière étape est le calcul des distances le long des lignes de projection en utilisant les relations de la trigonométrie sphérique des triangles rectangles.

#### A10.4.3 - Impression des résultats

Après le titre, l'ordinateur ordonne l'impression des coordonnées des coins du polygone, puis celles des lignes de projection.

Le tableau des résultats rappelle les latitude, longitude, magnitude et profondeur de chaque séisme et inscrit la distance calculée le long de chaque ligne de projection.

#### A10.4.4 - Conclusions

Les tableaux où sont placés les résultats des deux tris sont dimensionnés à l'avance et leurs tailles ont été optimisées pour l'application concernant l'Amérique Centrale en fonction de la taille de la mémoire vive disponible : 1500 lignes pour le premier tri et 450 lignes pour le second. Pour créer des tableaux légèrement plus grands il suffit de supprimer toutes les lignes de commentaires du programme. Mais si cela ne suffisait pas, il serait alors nécessaire de modifier le programme et de créer un fichier sur disque pour placer au moins les résultats du premier tri.

### A10.5 - PROGRAMME 'CROSSECTION'

C'est le seul programme de dessin de la chaîne de traitement : il est nécessaire de recopier les résultats essentiels du programme SEISSORT et de créer des fichiers de données spéciaux sur Tektronix 4054 pour dessiner les coupes sur un traceur Benson 1332.

Le programme CROSSECTION utilise directement ces fichiers de données pour dessiner des sections en portion de couronne figurant la courbure de la Terre et il localise les séismes par des symboles pouvant différer avec la

## SEISMES : CARTE DES MAGNITUDES ET COUPES

magnitude.

### A10.5.1 - Fichiers de données

La structure des fichiers de données qui réunissent les principales valeurs permettant de dessiner des sections de séismes est très importante. Chaque fichier contient quatre tableaux différents : le tableau A3 possède les coordonnées en latitude et longitude des coins du polygone où ont été triés les séismes, le tableau A5 les coordonnées des points définissant les lignes de projection utilisées, le tableau A7 les distances minimales et maximales des projections des coins du polygone sur ces droites, et enfin le tableau A contient les données des séismes.

Le fichier doit aussi contenir les variables permettant de dimensionner les tableaux : le nombre de coins du polygone (A4), le nombre de lignes de projection (A6), et le nombre de séismes (A0). A1 est le nombre de colonnes du tableau de séismes : magnitude, profondeur et les distances le long des diverses lignes de projection.

Le fichier doit aussi créer les tableaux et lire les données pour les placer dans leur tableau respectif.

Il est conseillé de donner au fichier l'aspect suivant :

```
10  en commentaire le titre de la section
20  A4=          nombre de coins
30  DIM A3(A4,2)      création du tableau des coordonnées
                        des coins
40  DATA        latitude et longitude des coins
50  READ A3
60  A6=          nombre de lignes de projection
70  DIM A5(A6,4)      création du tableau des coordonnées
                        des points des lignes de projection
80  DATA        latitude et longitude des deux points des lignes
                        de projection l'une après l'autre
90  READ A5
100 DIM A7(A6,2)      création du tableau des distances
                        minimale et maximale de tous les coins
                        du polygone pour chaque ligne de
                        projection
110 DATA        distances minimales et maximales en km
120 READ A7
130 A0=          nombre de séismes
140 A1=2+A6      nombre de colonnes du tableau
150 DIM A(A0,A1)      création du tableau de séismes
160 DATA        données relatives aux séismes : magnitude,
                        profondeur (en km), et distances le long des
                        lignes de projection (en km)
170 READ A
```

### A10.5.2 - Présentation et questions

La présentation rappelle le but du programme, la structure du fichier de données, l'aspect général du dessin et l'utilisation des 3 plumes du traceur.

## SEISMES : CARTE DES MAGNITUDES ET COUPES

Le programme demande le numéro du fichier de données sur la bande magnétique afin de le charger en mémoire.

Après le chargement, le titre de la figure est demandé, puis après affichage du nombre de lignes de projection, le programme demande le nombre de coupes à dessiner.

Pour chaque section, le programme demande de choisir le numéro de celle-ci et le sous-titre à lui donner.

Il recherche ensuite les distances minimale et maximale le long de l'ensemble des lignes de projection et demande les valeurs qui serviront de cadre au dessin de toutes les sections. Ces valeurs servent à définir l'échelle des sections et permet la parfaite superposition des coupes car le dessin des sections elles-mêmes est limité par les distances minimale et maximale des projections des coins du polygone.

Le programme recherche ensuite la valeur de la profondeur maximale des séismes, et demande la profondeur maximale à donner à la coupe.

Ensuite l'utilisateur doit choisir le pas en km du dessin de la coupe en fonction de précision voulue, puis il doit choisir la distance exprimée en km entre les tirets marquant les distances et les profondeurs, ce chiffre doit être un multiple du pas de dessin. Enfin il doit donner la distance entre les chiffraisons le long des axes et ce chiffre doit être un multiple de la distance entre les tirets. Par exemple on choisira un pas de dessin de 5 km, une distance entre tirets de 20 km et une distance entre chiffraisons de 100 km.

Enfin les symboles et leur couleur doivent être choisis en fonction de la magnitude. Pour cela le programme recherche les valeurs minimale et maximale de magnitude des séismes et les affiche. Puis il demande le nombre de classes de magnitude, et pour chacune d'elle la limite inférieure (incluse dans la classe) et la valeur maximale (exclue de la classe), le symbole est choisi parmi 9, et la couleur est celle de l'une des trois plumes du traceur.

### A10.5.3 - Construction des lignes de commentaires

A partir des tableaux du fichier de données il est possible de créer des lignes de commentaires.

L'écriture des classes de magnitude est préparée en utilisant les crochets pour préciser l'inclusion et l'exclusion des valeurs limites. Les lignes elles-mêmes sont écrites au fur et à mesure à cause des changements de couleur pour l'écriture des symboles.

De même il est possible de créer des lignes contenant les coordonnées des coins du polygone. Pour 10 coins, ce texte ne doit pas occuper plus de 3 lignes, c'est pourquoi l'écriture des latitudes et longitudes est limitée à trois décimales.

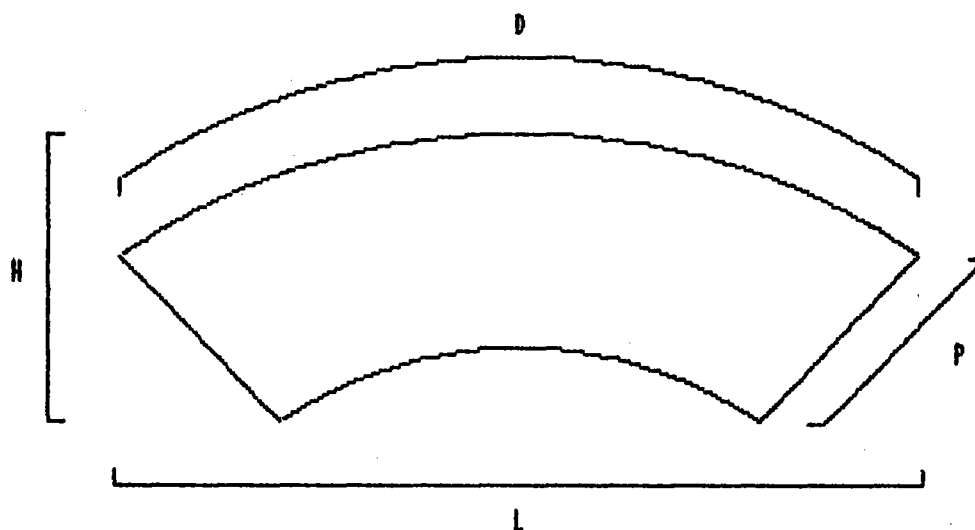
### A10.5.4 - Calcul des positions des points et dessin des coupes

Etant donné la complexité du programme et parfois la grande longueur des fichiers de données, j'ai jugé préférable de ne pas créer de tableaux de

## SEISMES : CARTE DES MAGNITUDES ET COUPES

position des points avant le dessin mais de faire les calculs au fur et à mesure pour éviter une saturation de la mémoire. Ceci se fait au prix d'un ralentissement de l'exécution surtout visible lors du dessin des contours des coupes.

Le programme calcule tout d'abord la position du centre de chaque section en fonction de la longueur et de la profondeur demandées et du rapport hauteur/longueur maximum possible pour le dessin étant données les contraintes de mise en page : 2 sections sur la première page où se trouvent également le titre, les coordonnées des coins du polygone et la légende, et 3 sections sur la seconde page.



POUR UN RAPPORT H / L FIXE :

$$P = 6371 ( H / L + 2 * \tan ( D / 2 ) + 1 - 1 / \cos ( D / 2 ) )$$

L'utilisateur doit placer les plumes à l'extrémité gauche du traceur. Le programme initialise alors le traceur, puis trace le cadre de la première page. La taille de la page a été choisie pour permettre de dessiner autant de séismes que possible sans saturer la surface tout en permettant une réduction facile (0.71 pour obtenir une feuille de format 21\*29.7 cm) affinant le trait mais autorisant encore la lecture. Le dessin du cadre a été placé en sous-programme pour pouvoir être rappelé lors du dessin éventuel du second cadre.

L'inscription du titre est doublée pour donner une meilleure impression. Puis le programme écrit un sous-titre précisant la nature du dessin. Sur la ligne suivante on trouve le nombre de tremblements de terre. Enfin trois lignes préparées dans la partie précédente sont consacrées à l'écriture des coordonnées des coins du polygone.

Puis le programme écrit le sous-titre des deux premières coupes et les dessine en faisant appel à un sous-programme spécialisé et décrit plus loin.

La légende est ensuite inscrite au bas de la page. Elle comporte 5 lignes au maximum, c'est-à-dire qu'il y a deux classes de magnitude par ligne. Chaque ligne débute par l'inscription du symbole dans la couleur choisie,

puis le programme rappelle le texte de l'intervalle de magnitude, ensuite la plume est déplacée pour écrire un second signe et l'intervalle correspondant, ceci est répété pour chaque ligne.

Sous cette légende il est rappelé que les séismes dont la profondeur est normalisée à 0 ou 33 km ont été dessinés à la surface, ceci afin d'éviter une barre de signes à 33 km de profondeur et ne signifiant rien.

S'il reste d'autres sections à dessiner les plumes se déplacent pour commencer le dessin du cadre de la seconde page, puis dessinent les coupes restantes.

#### A10.5.5 - Sous-programmes spécifiques

Le premier sous-programme est un petit utilitaire pour imprimer du texte : il calcule la longueur du texte à écrire, déplace la plume à l'endroit choisi et écrit le texte.

Le second sous-programme est beaucoup plus complexe et permet de dessiner une coupe entière et d'écrire le sous-titre associé.

Après le changement d'origine, le programme demande l'inscription du sous-titre et de la ligne donnant les coordonnées des deux points de la ligne de projection. Cette ligne est construite à partir des chiffres provenant du fichier de données.

Après le calcul des paramètres de dessin, le traceur dessine l'axe du haut, puis l'axe droit, ensuite l'axe gauche et enfin l'axe du bas.

Le dessin des axes du haut et du bas peuvent être considérés comme identiques à l'exception de 2 paramètres : la profondeur et le sens de dessin des tirets et d'écriture des distances. Ces deux valeurs sont placées en paramètres avant l'appel au sous-programme de dessin. De même les côtés droits et gauche diffèrent par leurs positions et par le sens des tirets et d'écriture des profondeurs. Les calculs des positions de la plume se font dans les sous-programmes.

Le dessin des axes courbes commence par le positionnement de la plume à l'extrémité gauche de l'axe puis le dessin d'un trait jusqu'au premier point dont la distance est un multiple du pas de dessin. Le dessin se poursuit alors par des traits droits entre deux points définis par le pas de dessin, lorsque celui-ci est aussi un multiple du pas de dessin, du tiret, celui-ci est dessiné. De même lors de l'écriture de la distance, le chiffre est centré sur le tiret correspondant.

Le dessin des côtés est identique sauf au début : le premier point est la surface de la Terre et correspond obligatoirement à un tiret et à une chiffraison.

Le dessin des symboles dans la couleur choisie termine cet important sous-programme. Tous les tremblements de terre dont la profondeur est de 33 km sont dessinés à la surface (lors de l'écriture des données dans le fichier principal par le programme SEISEDIT, pour les séismes qui se sont réellement produits à 33 km on doit changer la valeur à 32 ou 34 km, ceci est sans conséquence sur le dessin). Tous les séismes ayant une profondeur supérieure à celle de la coupe ne sont pas dessinés. Après le calcul de la position du point, le programme dessine le symbole dans la couleur voulue



## SEISMES : CARTE DES MAGNITUDES ET COUPES

en le centrant.

### A10.5.6 - Sous-programmes du traceur Benson

Les sous-programmes nécessaires au Tektronix pour diriger le traceur Benson ont été recopiés à la fin du listing. Des titres ont été rajoutés à chaque sous-programme pour améliorer la lisibilité.

Cet ensemble de programmes permet de visualiser les données de séismicité dans les trois directions de l'espace. Le dessin des coupes pourrait être simplifié pour obtenir des coupes rectangulaires au lieu de coupes suivant la courbure de la Terre. Il serait possible de dessiner des coupes qui au lieu des séismes individuels serviraient à représenter la magnitude comme cela a été fait sur carte avec le programme SEISMES.

**CONSTANTES**  
-----  
**ET FORMULES MATHÉMATIQUES**  
-----

**CONSTANTES**

Rayon équatorial de la Terre	6378.139 Km
Rayon polaire de la Terre	6356.75 Km
Rayon d'une sphère ayant le volume de la Terre	6370.8 Km
Excentricité (e <sup>2</sup> ) (ellipsoïde WGS72)	0.00666943178

PI = 3.141592653589887

**FONCTIONS TRIGONOMETRIQUES**

Calcul de l'arcsinus à partir de l'arctangente

$$\arcsin(X) = \arctg(X/\sqrt{-X*X+1})$$

avec      résultat en radians

Calcul de l'arcosinus à partir de l'arctangente

$$\arccos(X) = -\arctg(X/\sqrt{-X*X+1}) + \text{PI}/2$$

avec      résultat en radians

**EQUATION DE LA PROJECTION DE MERCATOR**

$$Y = (\ln(\text{tg}(45 + \text{lat}/2)) - E/2 * \ln((1 + E * \sin(\text{lat})) / (1 - E * \sin(\text{lat})))) * 180 / \text{PI}$$

avec      Y    = position du point en degrés de longitude  
                   (pour avoir la position sur le papier il  
                   faut multiplier Y par l'échelle)  
             E    =  $\sqrt{e^2}$  (e<sup>2</sup> = excentricité)  
             lat = latitude du point (en degrés)

TABLE DE CONSTANTES ET DE FORMULES MATHÉMATIQUES

LONGUEUR D'UN DEGRÉ DE LONGITUDE A UNE LATITUDE DONNÉE

$$L = \cos(\arctg((1 - e^2) * \operatorname{tg}(\operatorname{lat}))) * 6378.135$$

avec      L    = longueur en km  
          e<sup>2</sup> = excentricité de la Terre  
          lat = latitude en degrés

EQUATIONS DE TRIGONOMETRIE SPHERIQUE (d'après Lupsin, 1955)

Distance entre deux points sur la sphère :

$$D = \arccos(\sin(\operatorname{lat}1) * \sin(\operatorname{lat}2) + \cos(\operatorname{lat}1) * \cos(\operatorname{lat}2) * \cos(\operatorname{long}2 - \operatorname{long}1))$$

avec      D    = distance en degrés (111.111 km)  
          lat1 = latitude du premier point (en deg)  
          long1 = longitude du premier point (en deg)  
          lat2 = latitude du second point (en deg)  
          long2 = longitude du second point (en deg)

Longueur de la base d'un triangle isocèle connaissant l'angle au sommet et la longueur des côtés égaux

$$L = 2 * \arcsin(\sin(C) * \sin(A/2))$$

avec      L    = longueur de la base du triangle  
          C    = longueur des côtés égaux  
          A    = valeur de l'angle au sommet

(l'angle et les longueurs doivent être dans la même unité : degrés, radians, ...)

Angle d'un triangle quelconque connaissant les longueurs des trois côtés

$$A = \arccos((\cos(X) - \cos(Y) * \cos(Z)) / (\sin(Y) * \sin(Z)))$$

avec      X, Y et Z = longueurs des trois côtés  
          A            = angle faisant face au côté X

(l'angle et les longueurs doivent être dans la même unité : degrés, radians, ...)

Côté d'un triangle quelconque connaissant l'angle lui faisant face et les longueurs des autres côtés

$$L = \arccos(\cos(X) * \cos(Y) + \sin(X) * \sin(Y) * \cos(Z))$$

avec      X et Y = longueurs des côtés  
          Z            = angle non droit  
          L            = longueur du côté faisant face à l'angle Z

## TABLE DE CONSTANTES ET DE FORMULES MATHÉMATIQUES

(l'angle et les longueurs doivent être dans la même unité : degrés, radians, ...)

Longueur d'un des côtés de l'angle droit d'un triangle rectangle connaissant l'angle lui faisant face et la longueur de l'hypoténuse

$$L = \arcsin(\sin(X) * \sin(Y))$$

avec      L = longueur du côté recherché  
           Y = valeur de l'angle lui faisant face  
           X = longueur de l'hypoténuse

(l'angle et les longueurs doivent être dans la même unité : degrés, radians, ...)

Longueur d'un des côtés de l'angle droit d'un triangle rectangle connaissant l'angle adjacent et la longueur de l'hypoténuse

$$L = \arctg(\tg(X) * \cos(Y))$$

avec      L = longueur du côté recherché  
           Y = valeur de l'angle adjacent non droit  
           X = longueur de l'hypoténuse

(l'angle et les longueurs doivent être dans la même unité : degrés, radians, ...)

### LISTE DES ABBREVIATIONS MATHÉMATIQUES

abréviation mathématique	écriture normale	fonction BASIC	fonction FORTRAN
sin	sinus	SIN	SIN
cos	cosinus	COS	COS
tg	tangente	TAN	TAN
arcsin	arc-sinus	calculé	ASIN
arccos	arc-cosinus	calculé	ACOS
arctg	arc-tangente	ATN	ATAN
$\sqrt{\quad}$	racine carrée	SQR	SQRT
ln	logarithme népérien	LOG	ALOG
>	supérieur à	>	.GT.
<	inférieur à	<	.LT.
≥	supérieur ou égal à	>=	.GE.
≤	inférieur ou égal à	<=	.LE.
	valeur absolue	ABS	ABS

TABLE DE CONSTANTES ET DE FORMULES MATHÉMATIQUES

reste de la division entière	MOD	MOD
partie entière	INT	INT & IFIX
entier le plus proche	CINT	NINT

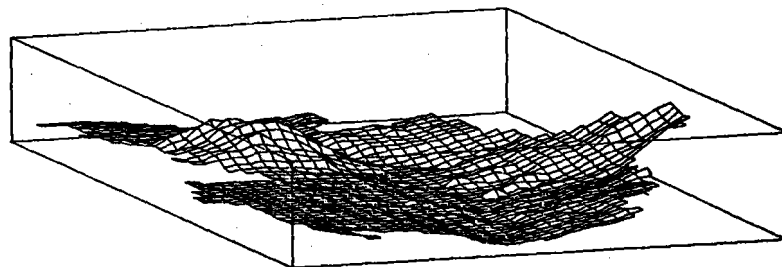
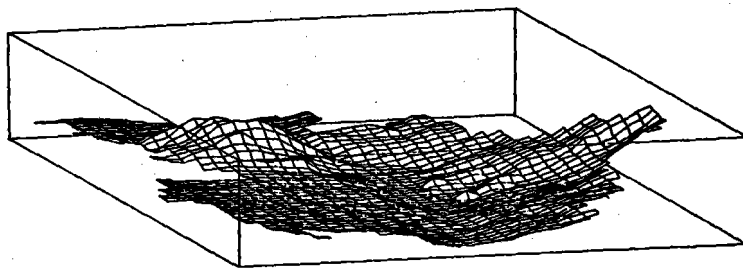
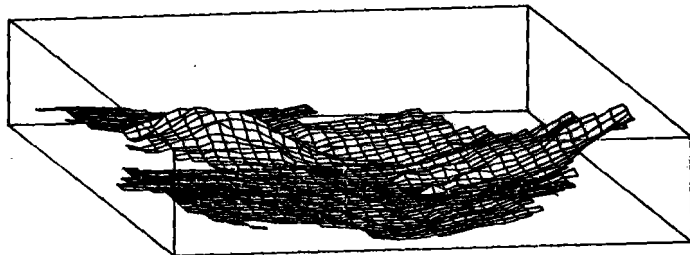
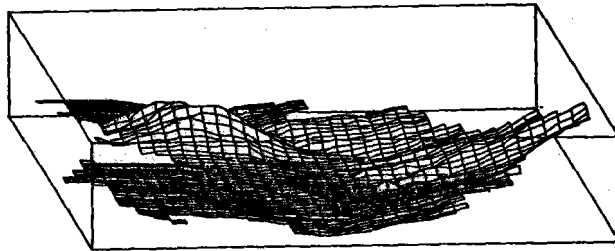
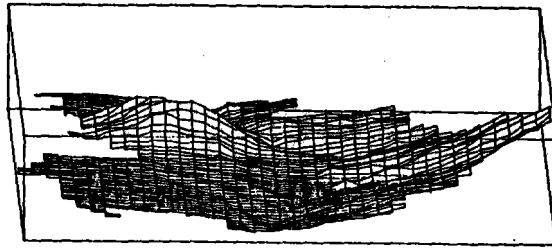
## ANNEXE B1

### LEVE BATHYMETRIQUE 'COSTA RICA I' : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES

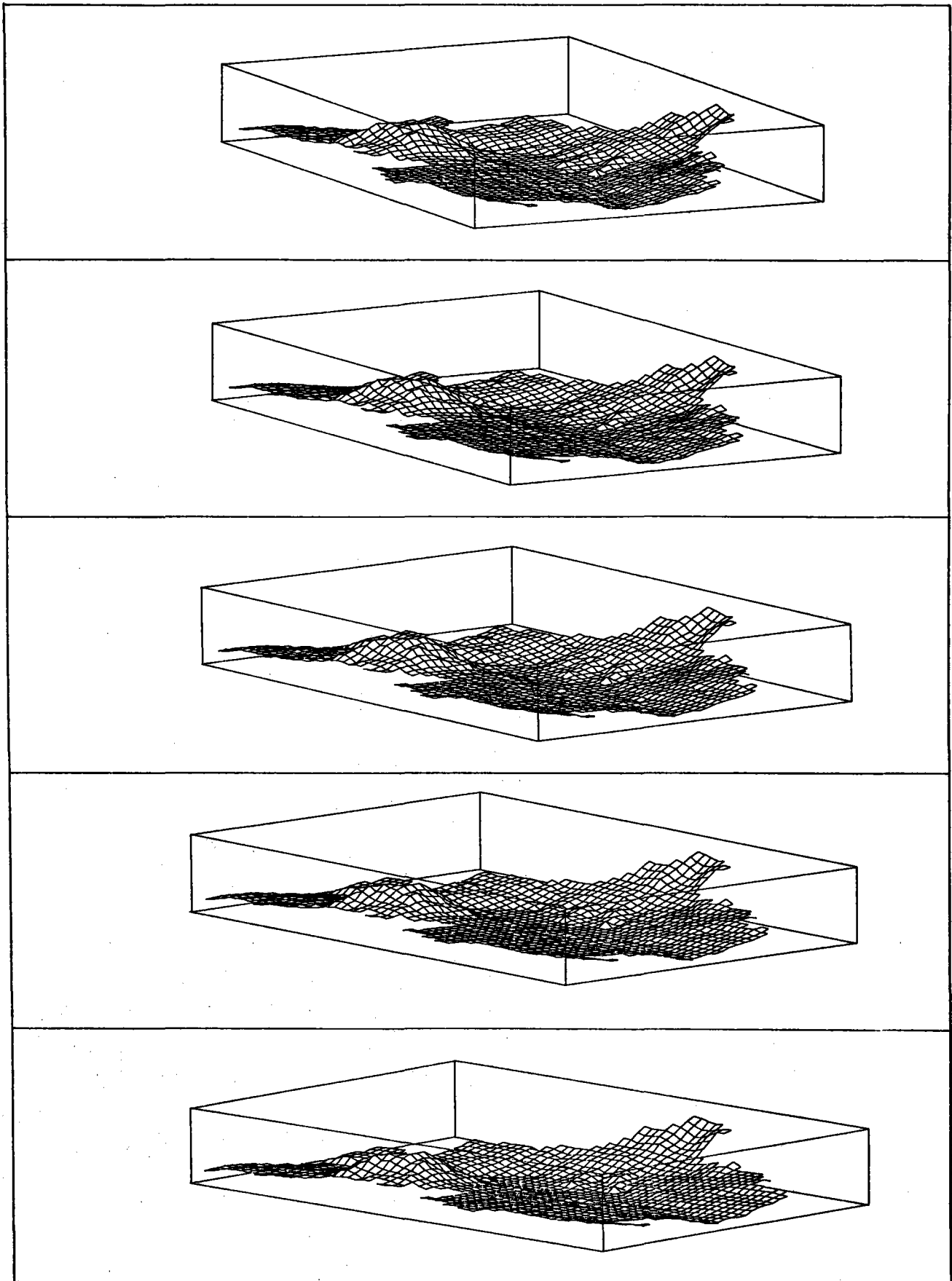
Cette annexe montre une série de blocs-diagrammes dessinés à partir des données bathymétriques du levé 'Costa Rica I'. Le levé n'a pas été utilisé en entier car le pas d'échantillonnage de 1 km ne permettait pas de donner une bonne représentation de la partie occidentale, peu couverte. Les dessins ont été réalisés avec une exagération verticale de 2:1. Les blocs ont été dessinés de 5 en 5° en tournant autour du centre du levé de 180°. Le dessin a été réalisé sur le PDP11-23+ de la Microsonde de l'Ouest, avec un programme écrit par Dominique Gibert pour HP1000 et traceur Benson 1332. Le programme a été modifié pour PDP11 et traceur Tektronix, d'autres modifications concernent l'absence de tracé pour une valeur choisie par l'opérateur et le tracé d'une boîte.

Un montage peut être réalisé à partir de ces figures, donnant l'illusion du mouvement. Après une photocopie, il faut découper les différentes figures le long des traits de séparation, éventuellement les coller sur un support un peu plus rigide (bristol, ...) les empiler dans l'ordre désiré, agraffer à une extrémité, mascicoter éventuellement l'extrémité libre pour avoir des feuillets de même longueur, et les regarder en feuilletant rapidement comme pour déramer une liasse de feuilles.

LEVE BATHYMETRIQUE 'COSTA RICA I' : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES

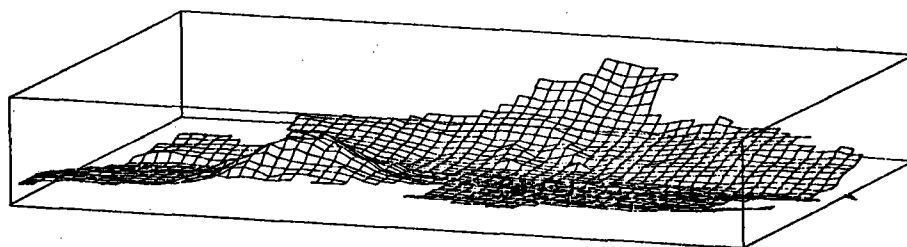
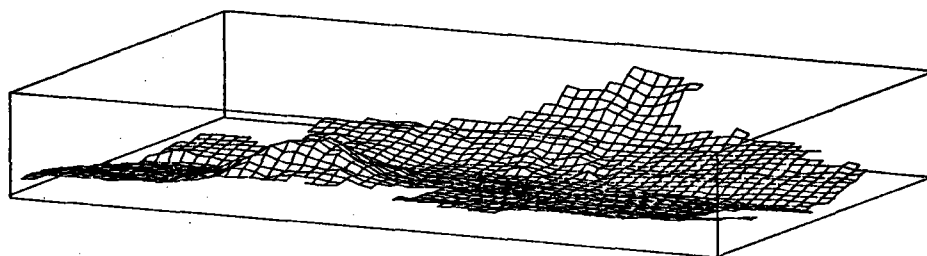
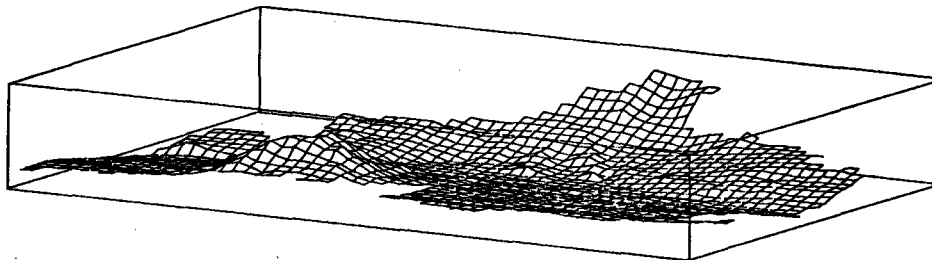
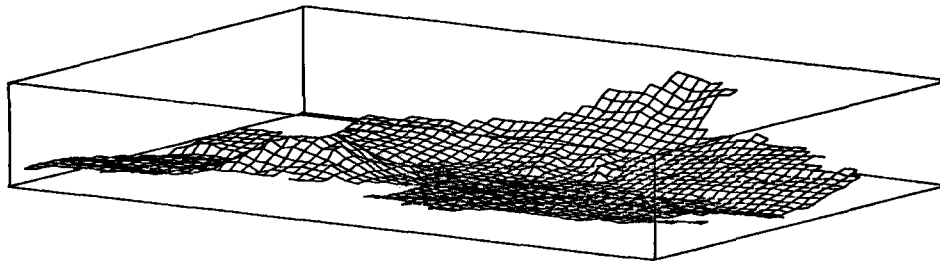
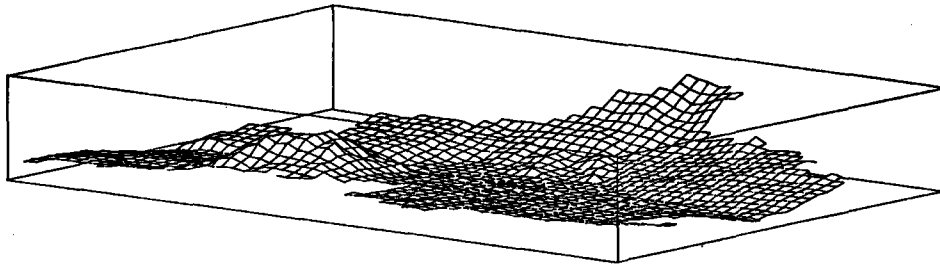


LEVE BATHYMETRIQUE 'COSTA RICA I' : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES

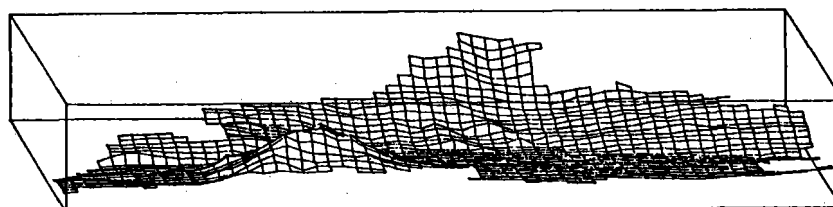
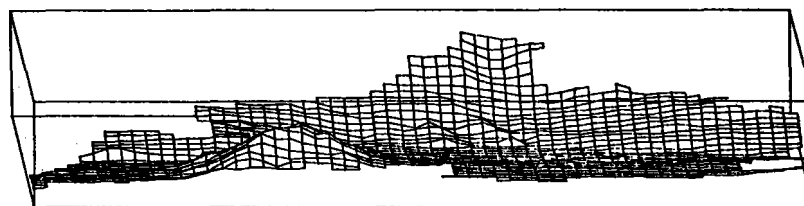
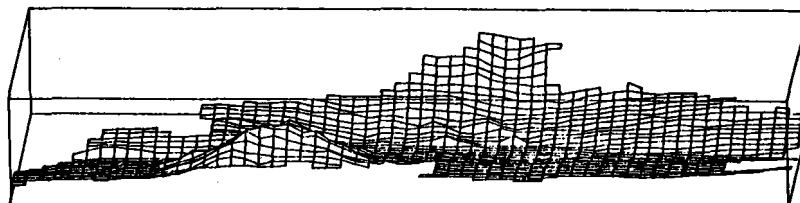
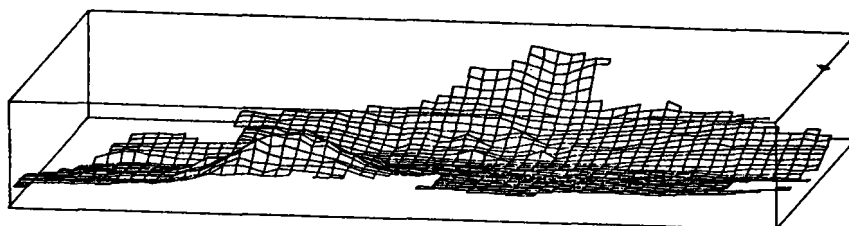
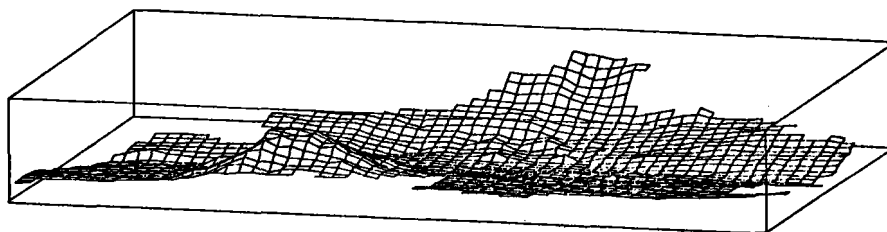




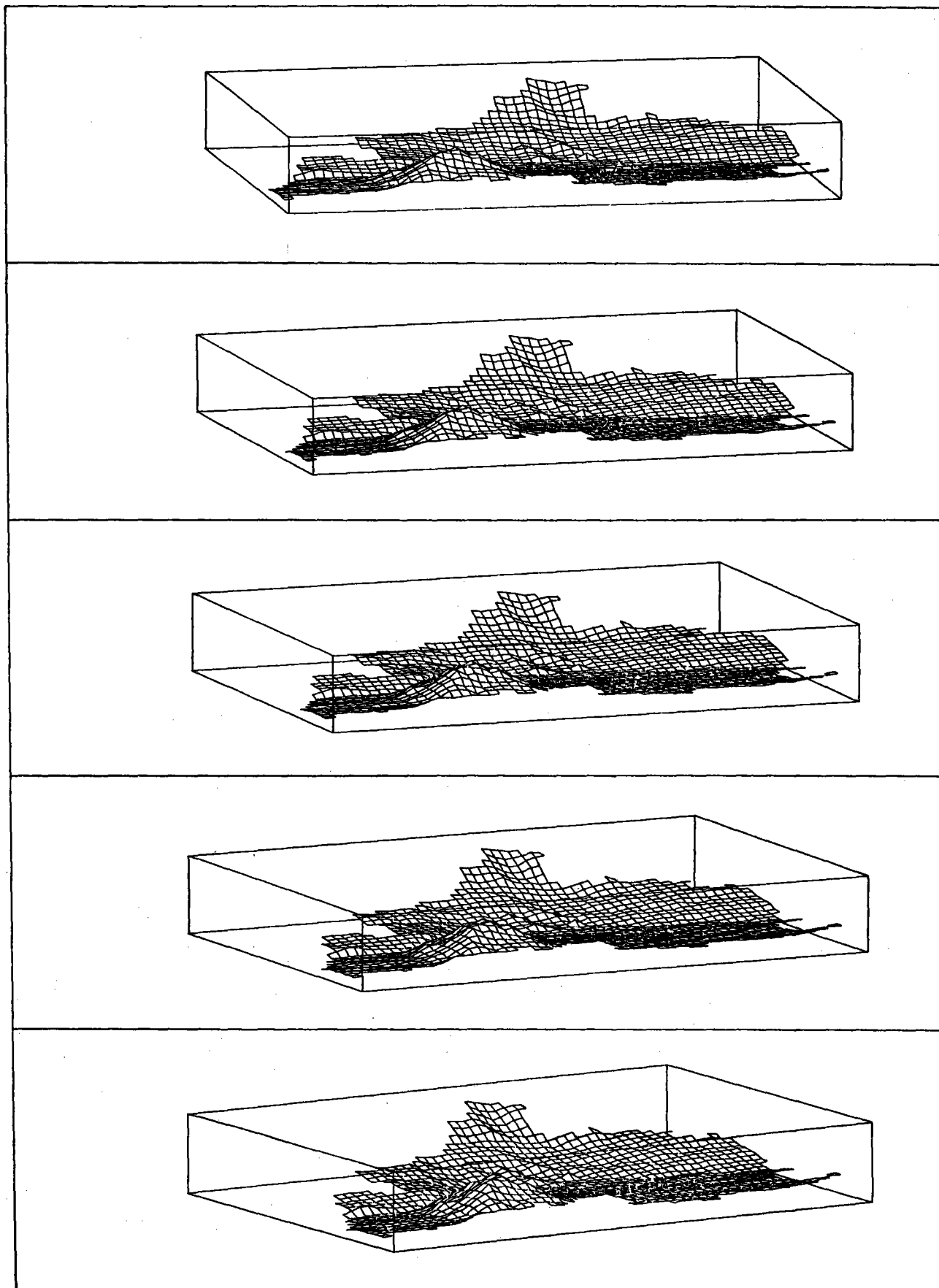
LEVE BATHYMETRIQUE 'COSTA RICA I' : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES



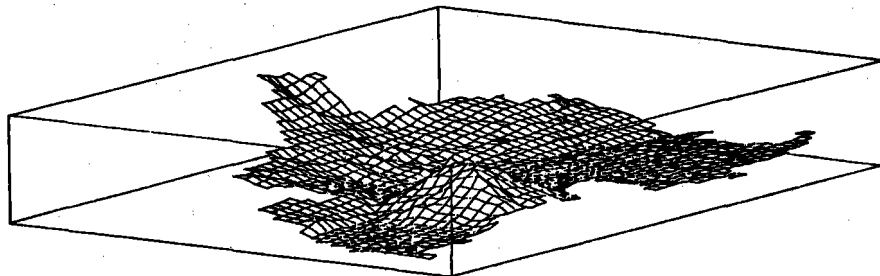
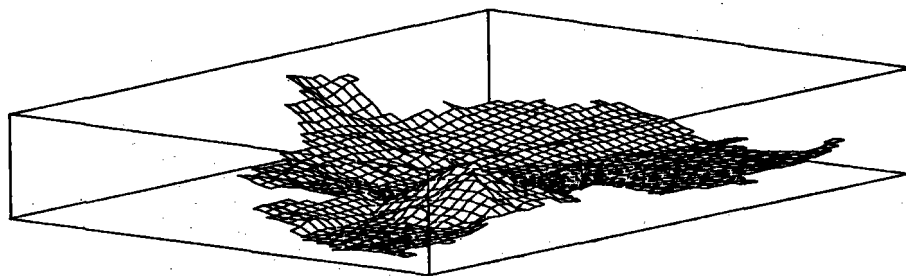
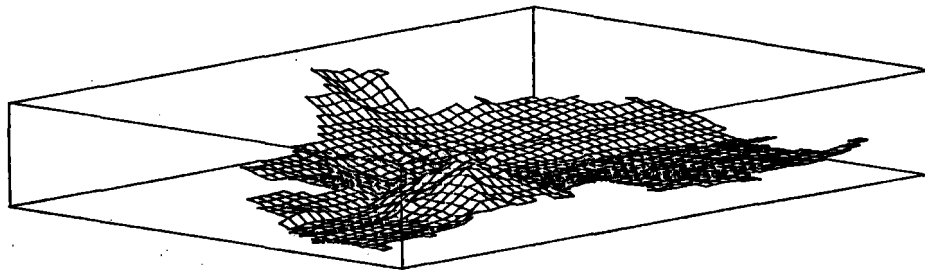
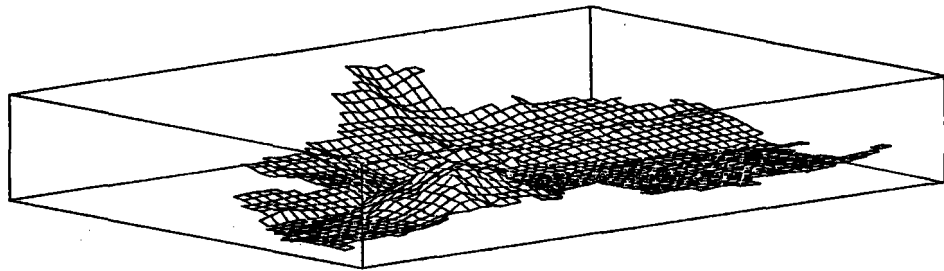
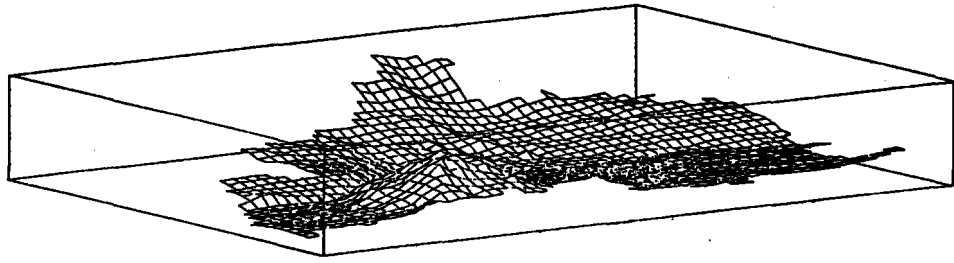
LEVE BATHYMETRIQUE 'COSTA RICA I' : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES



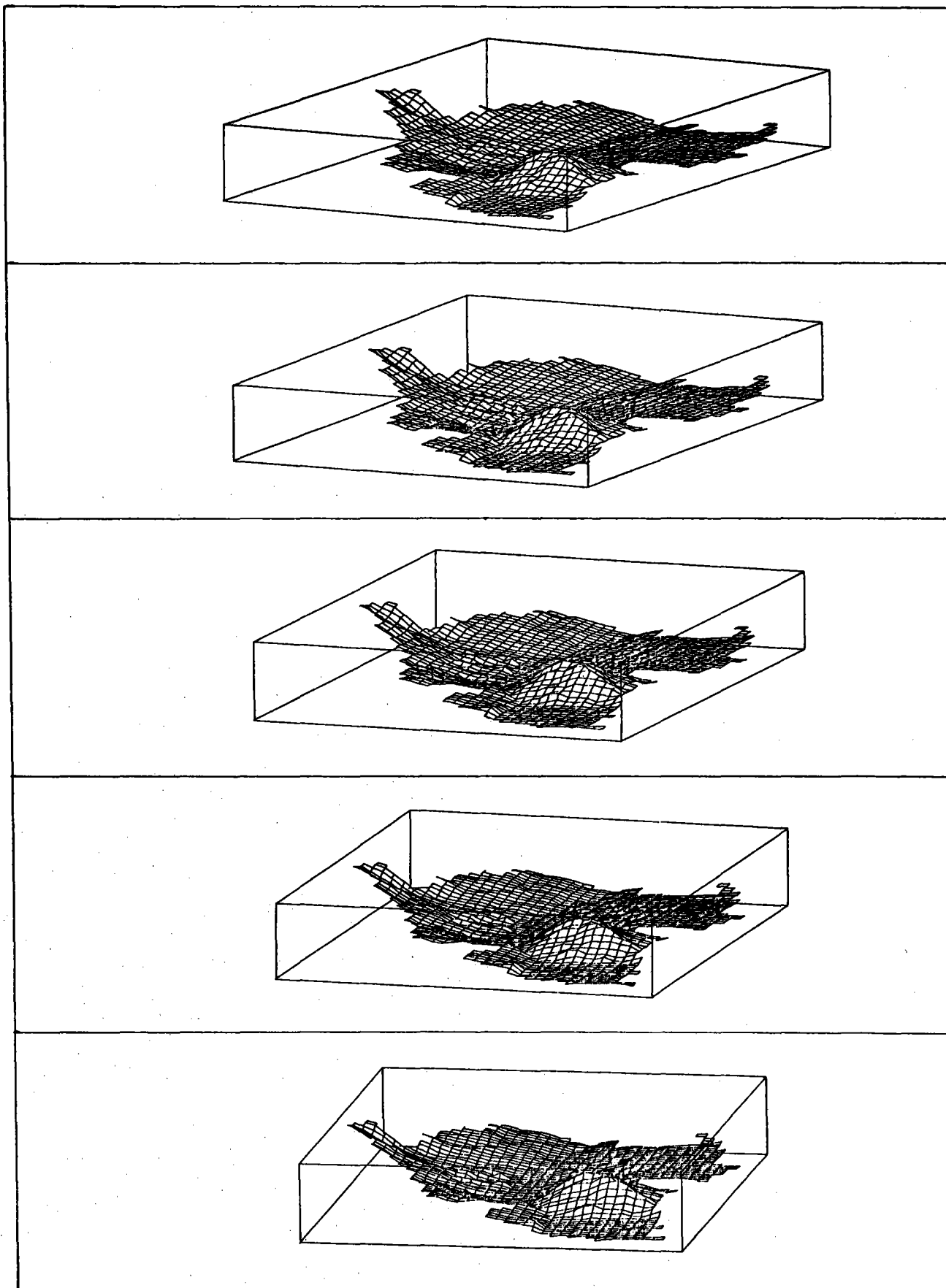
LEVE BATHYMETRIQUE 'COSTA RICA I' I SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES



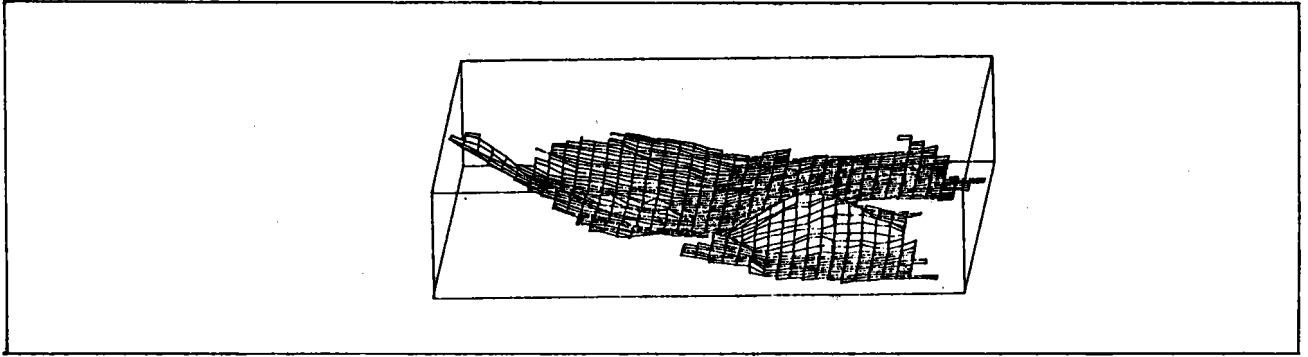
LEVE BATHYMETRIQUE 'COSTA RICA I' : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES



LEVE BATHYMETRIQUE 'COSTA RICA I' : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES



LEVE BATHYMETRIQUE 'COSTA RICA I' : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES



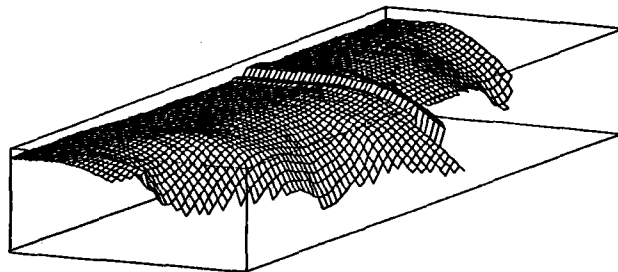
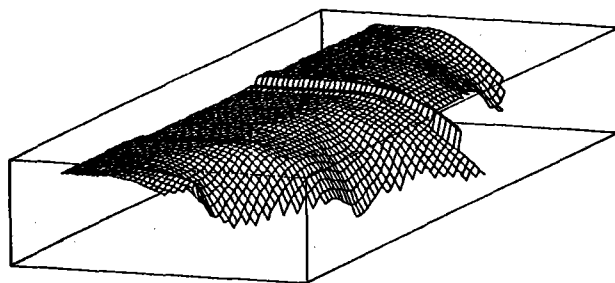
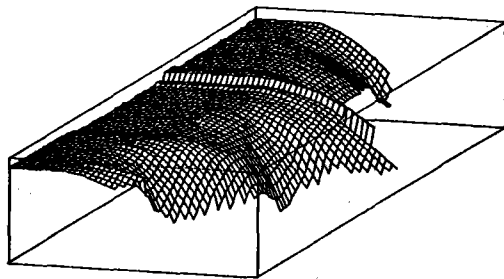
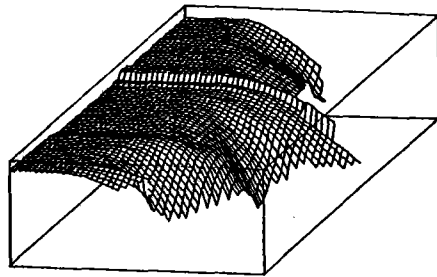
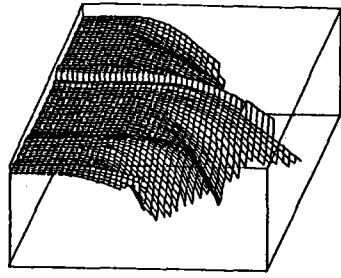
## ANNEXE B2

### PLAN DE SUBDUCTION SOUS L'AMERIQUE CENTRALE : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES

Cette annexe montre une série de blocs-diagrammes dessinés à partir des données de séismicité le long de l'Amérique Centrale. Le pas d'échantillonnage est de 29.2 km le long de l'axe du fossé et de 14.6 km perpendiculairement. Les dessins ont été réalisés sans exagération verticale. Les blocs ont été dessinés de 5 en 5° en tournant autour du centre du levé de 180°. Le dessin a été réalisé sur le PDP11-23+ de la Microsonde de l'Ouest, avec un programme écrit par Dominique Gibert pour HP1000 et traceur Benson 1332. Le programme a été modifié pour PDP11 et traceur Tektronix, d'autres modifications concernent l'absence de tracé pour une valeur choisie par l'opérateur et le tracé d'une boîte.

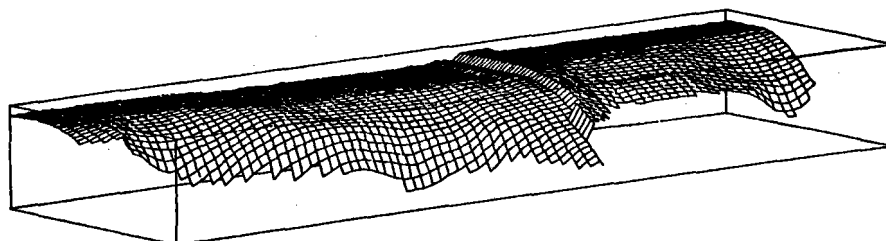
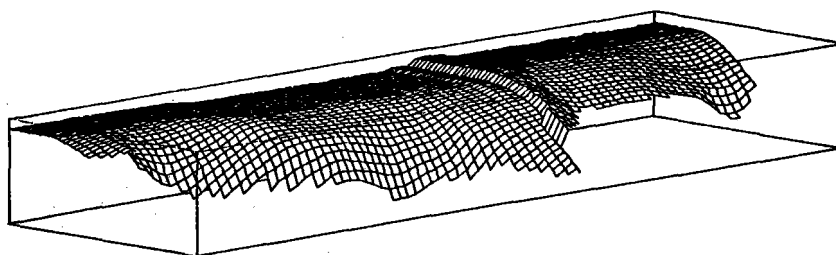
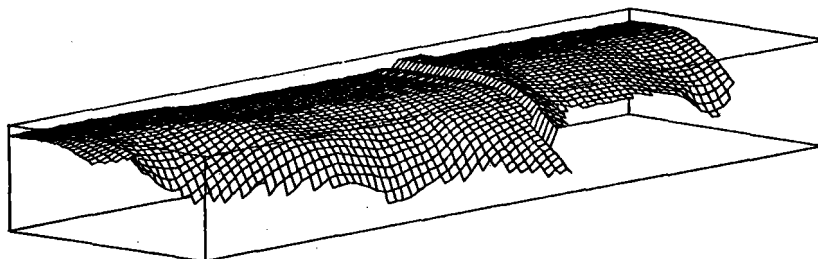
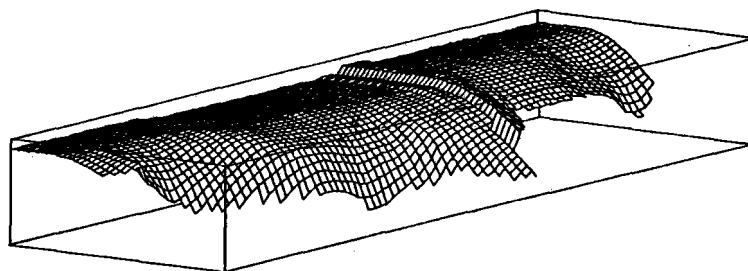
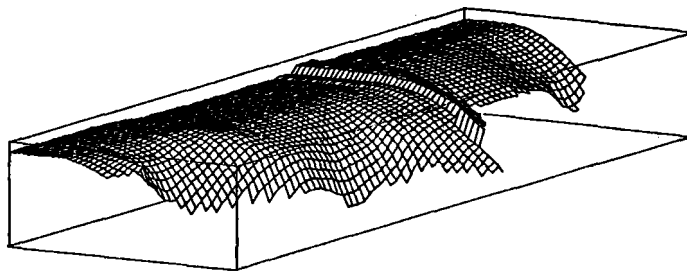
Un montage peut être réalisé à partir de ces figures, donnant l'illusion du mouvement. Après une photocopie, il faut découper les différentes figures le long des traits de séparation, éventuellement les coller sur un support un peu plus rigide (bristol, ...) les empiler dans l'ordre désiré, agraffer à une extrémité, mascicoter éventuellement l'extrémité libre pour avoir des feuillets de même longueur, et les regarder en feuilletant rapidement comme pour déramer une liasse de feuilles.

PLAN DE SUBDUCTION SOUS L'AMERIQUE CENTRALE : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES

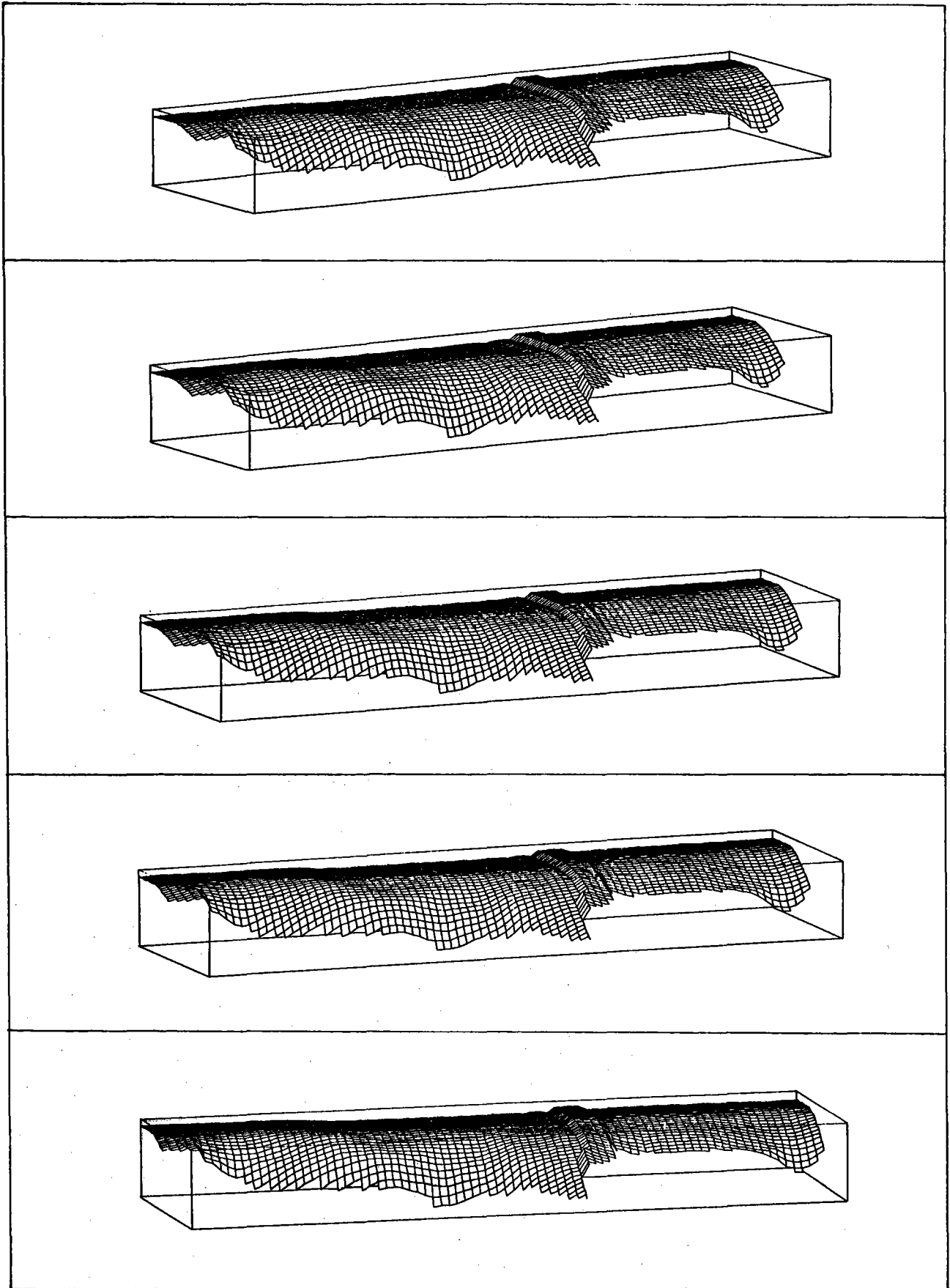




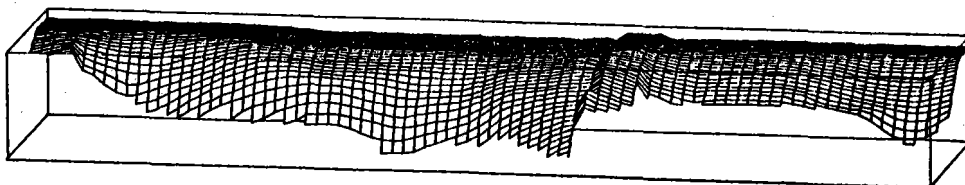
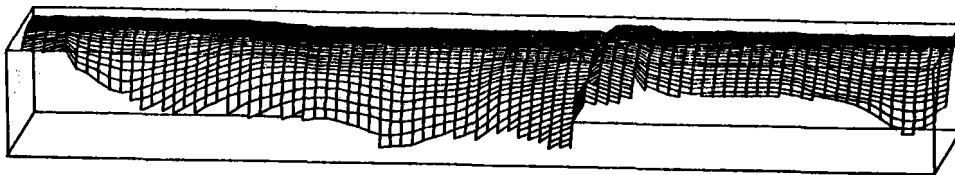
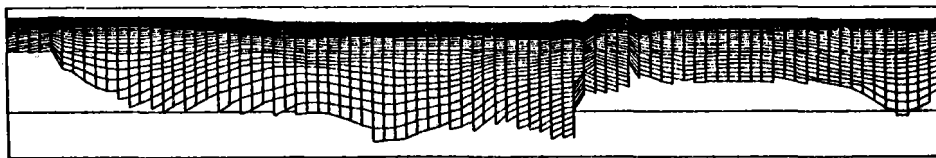
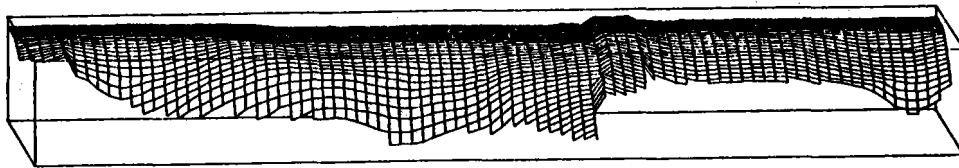
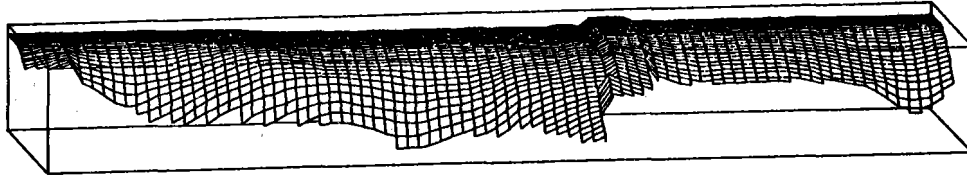
PLAN DE SUBDUCTION SOUS L'AMERIQUE CENTRALE : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES



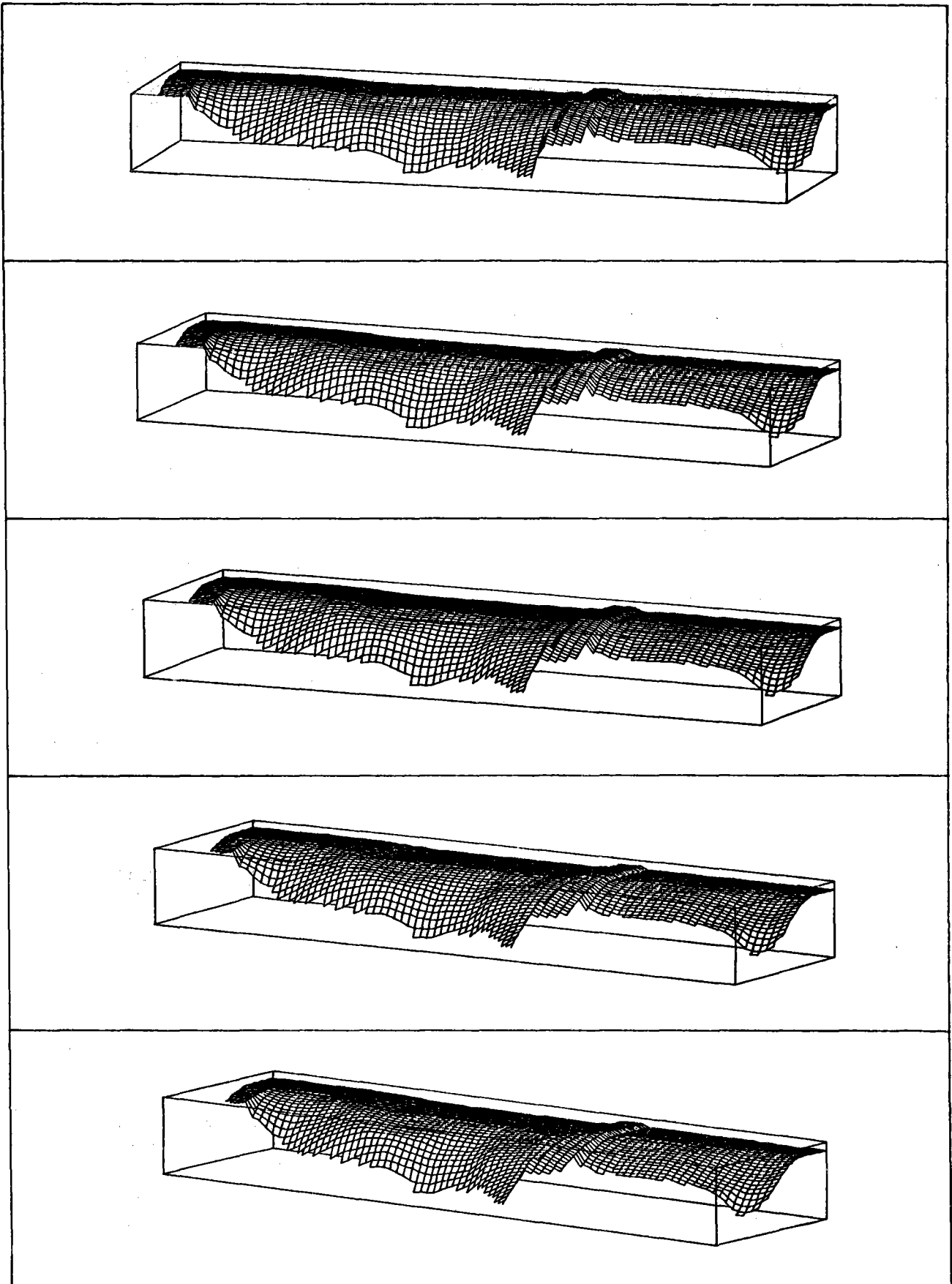
PLAN DE SUBDUCTION SOUS L'AMERIQUE CENTRALE : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES



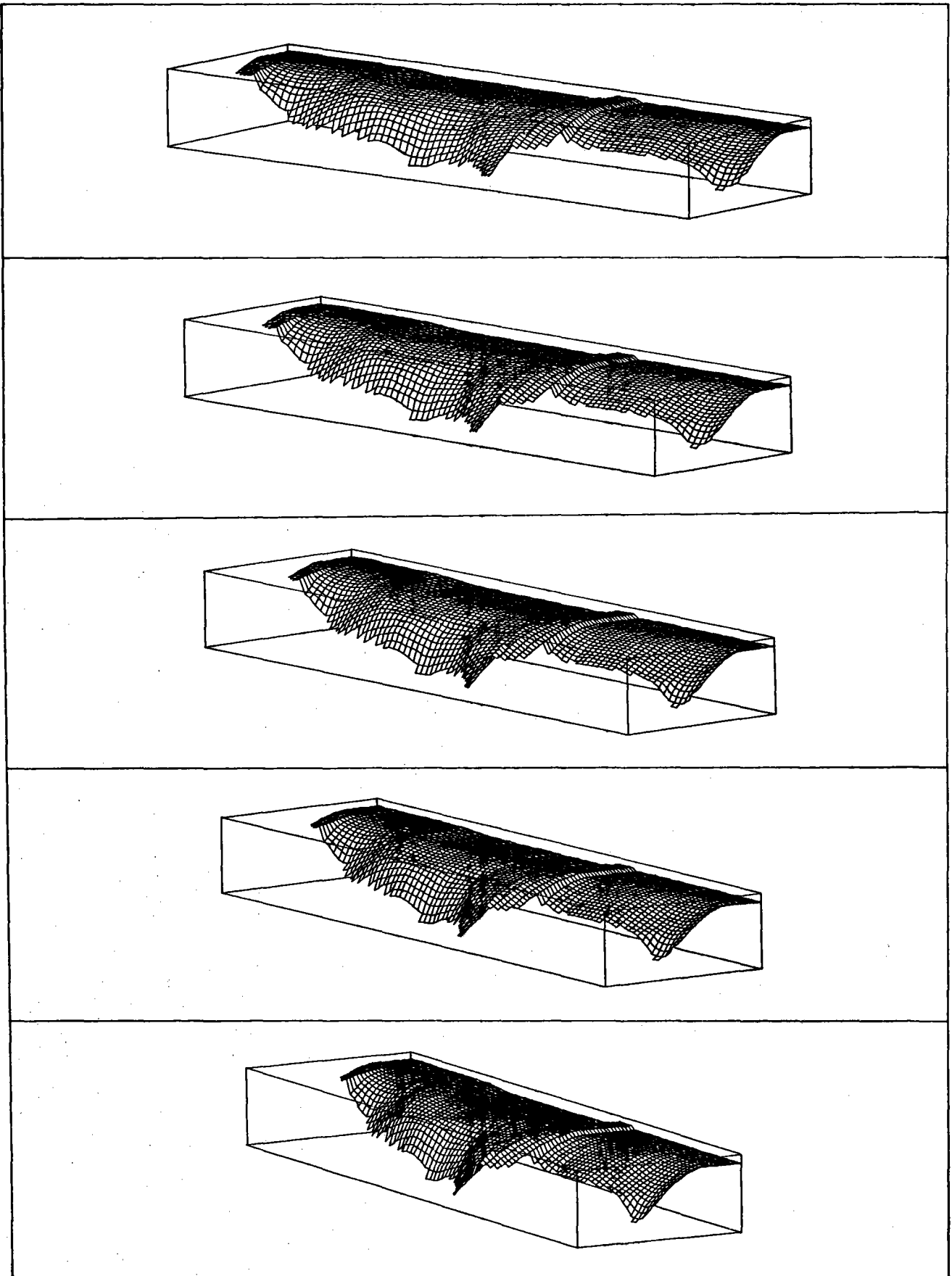
PLAN DE SUBDUCTION SOUS L'AMERIQUE CENTRALE : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES



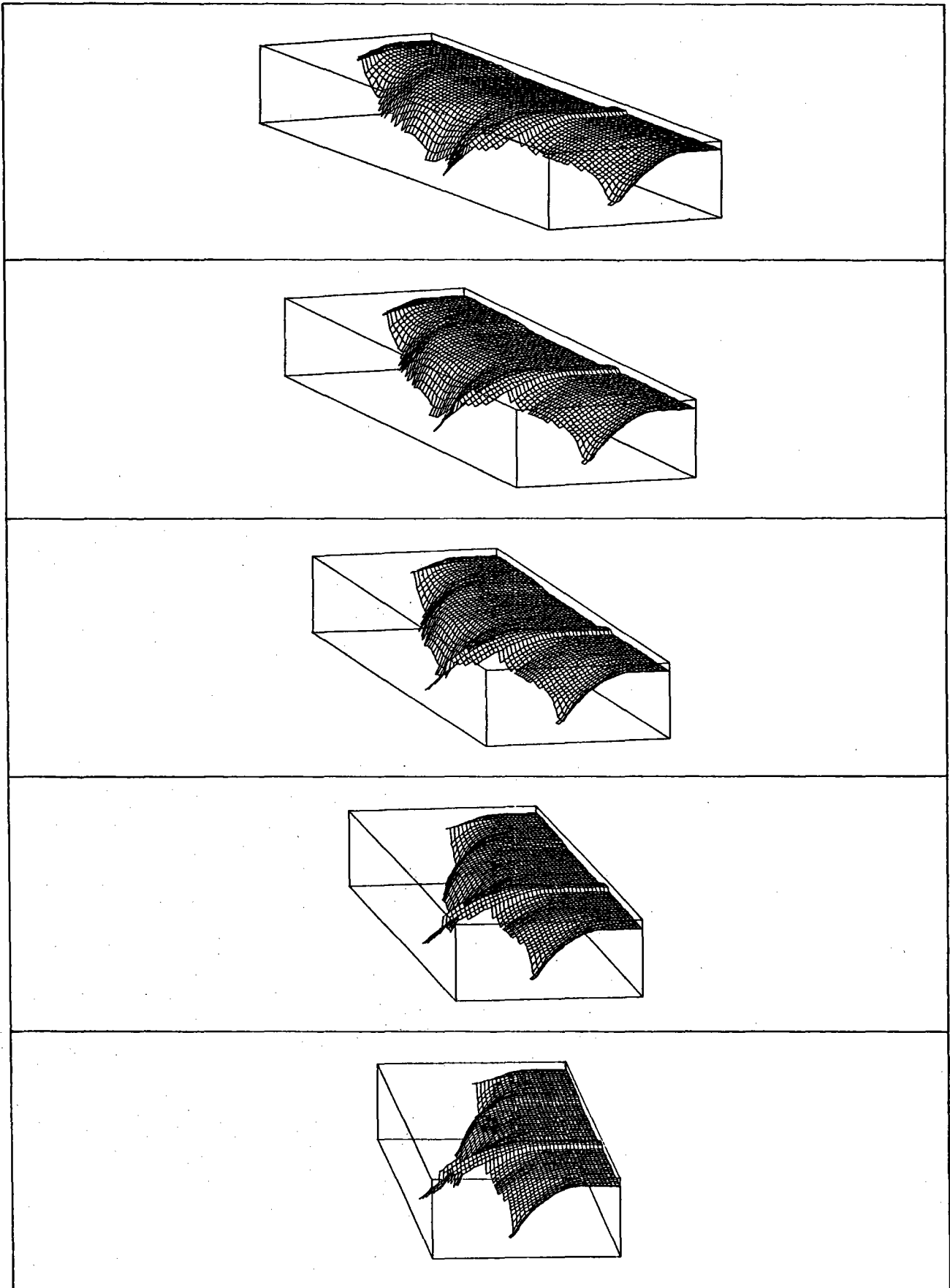
PLAN DE SUBDUCTION SOUS L'AMERIQUE CENTRALE : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES

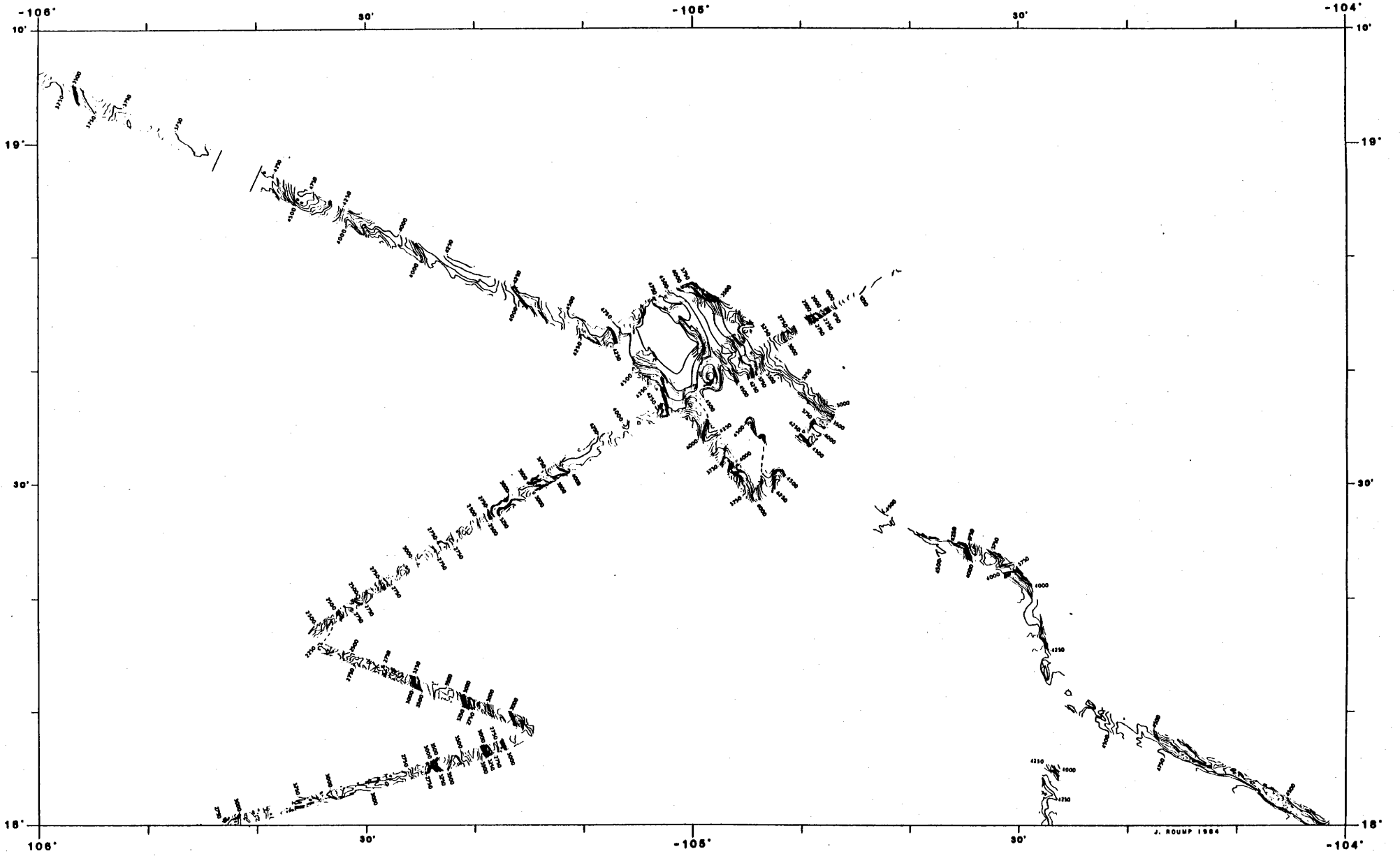


PLAN DE SUBDUCTION SOUS L'AMERIQUE CENTRALE : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES

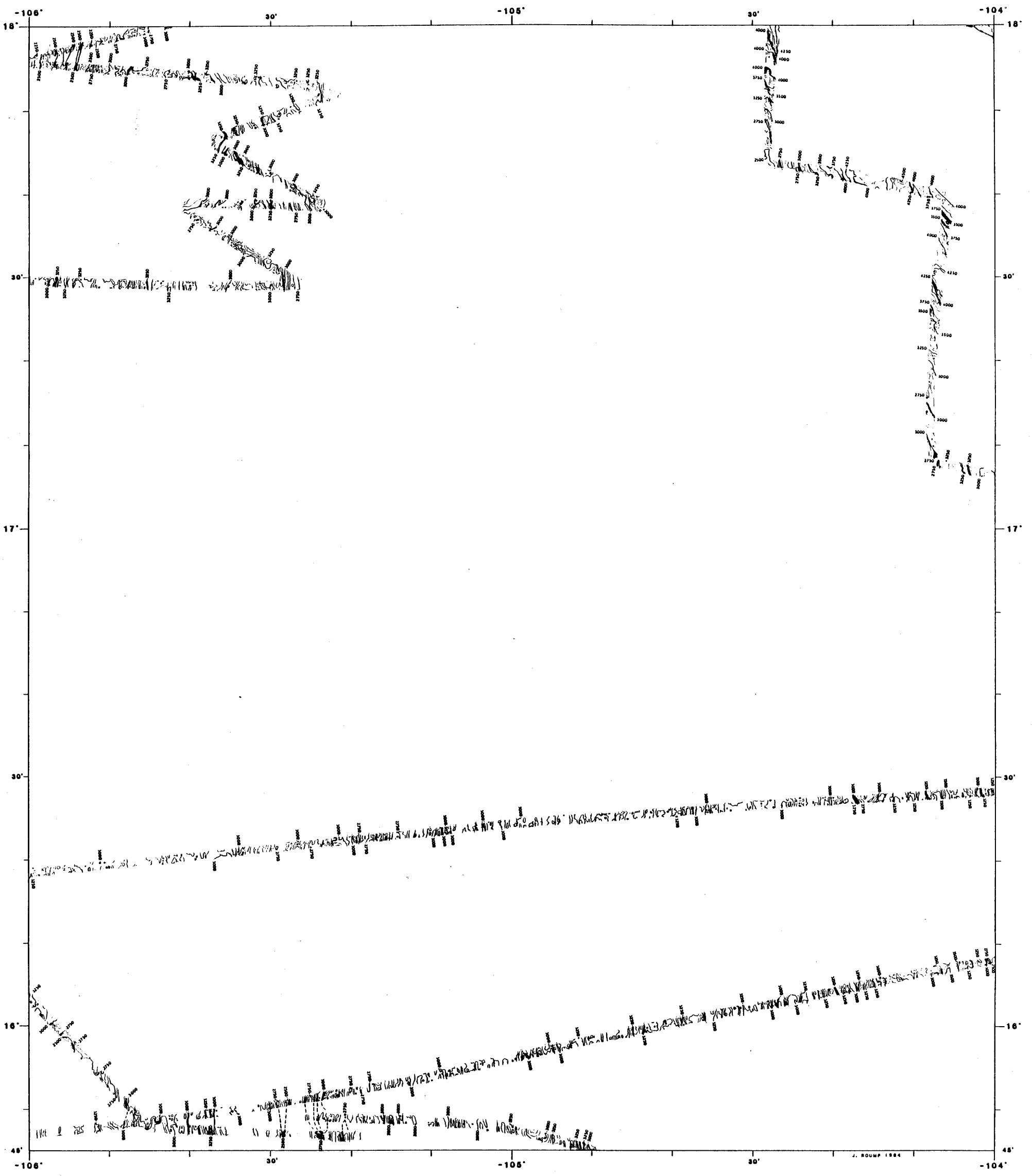


PLAN DE SUBDUCTION SOUS L'AMERIQUE CENTRALE : SERIE DE BLOCS-DIAGRAMMES

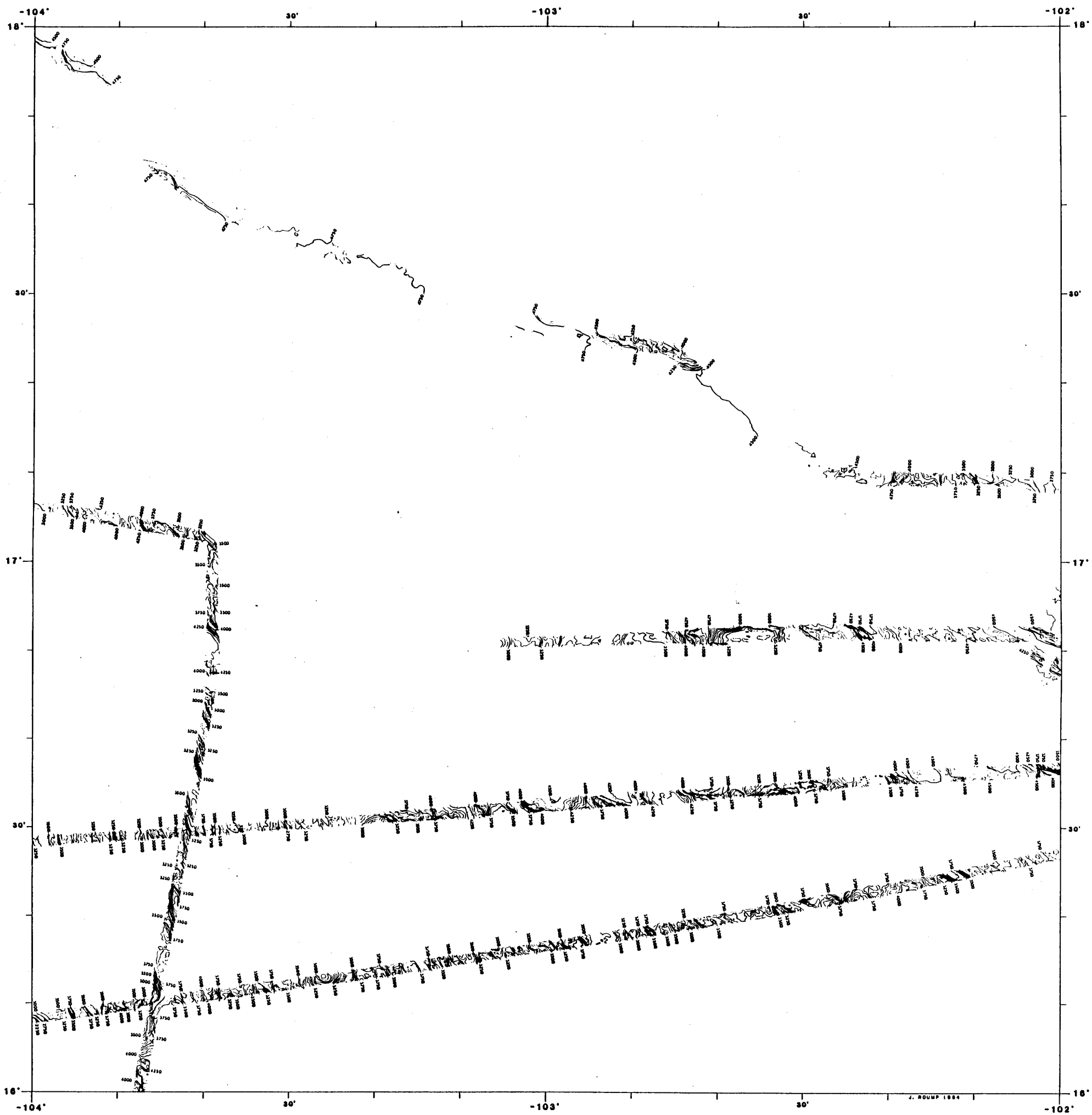


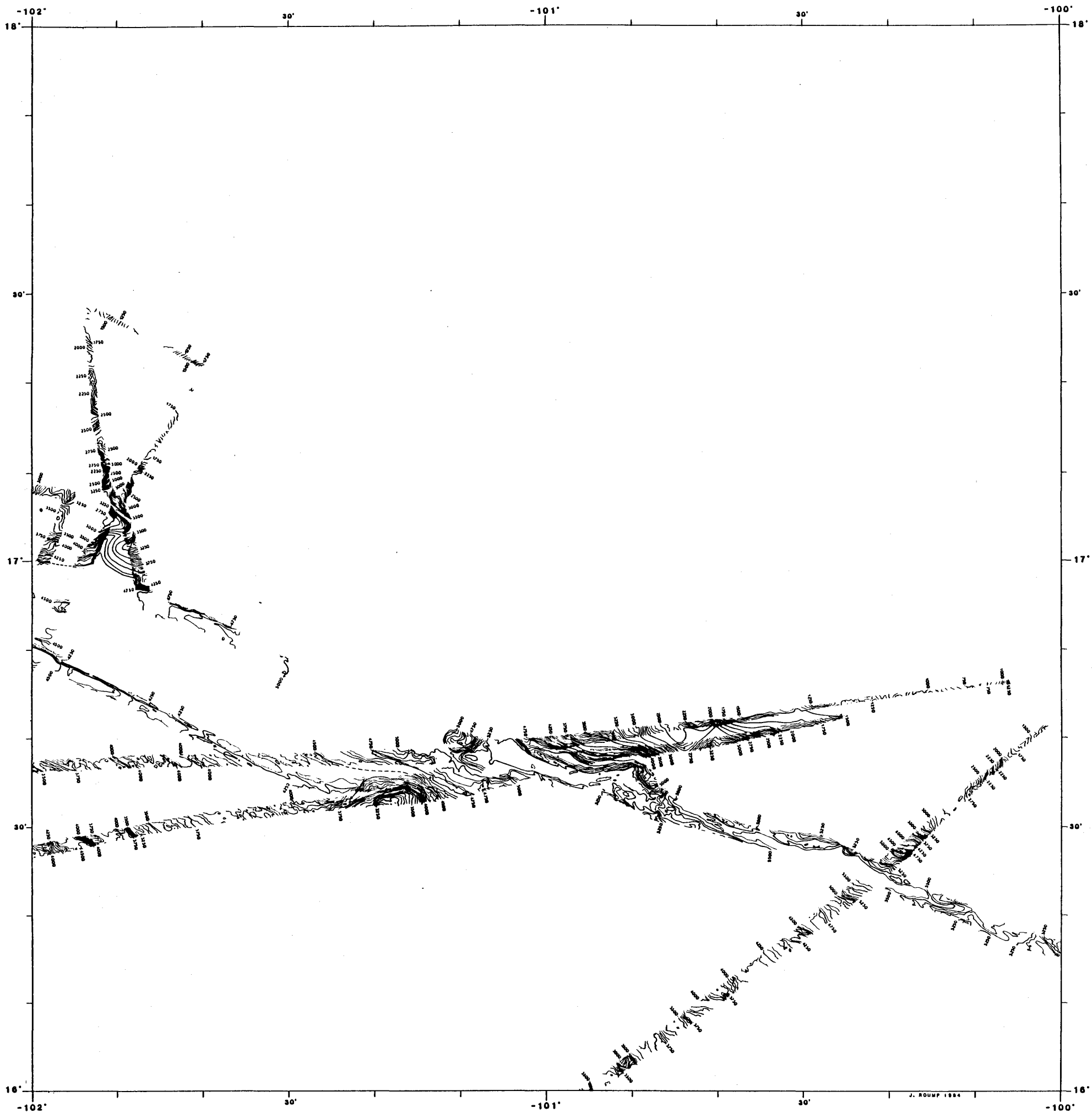


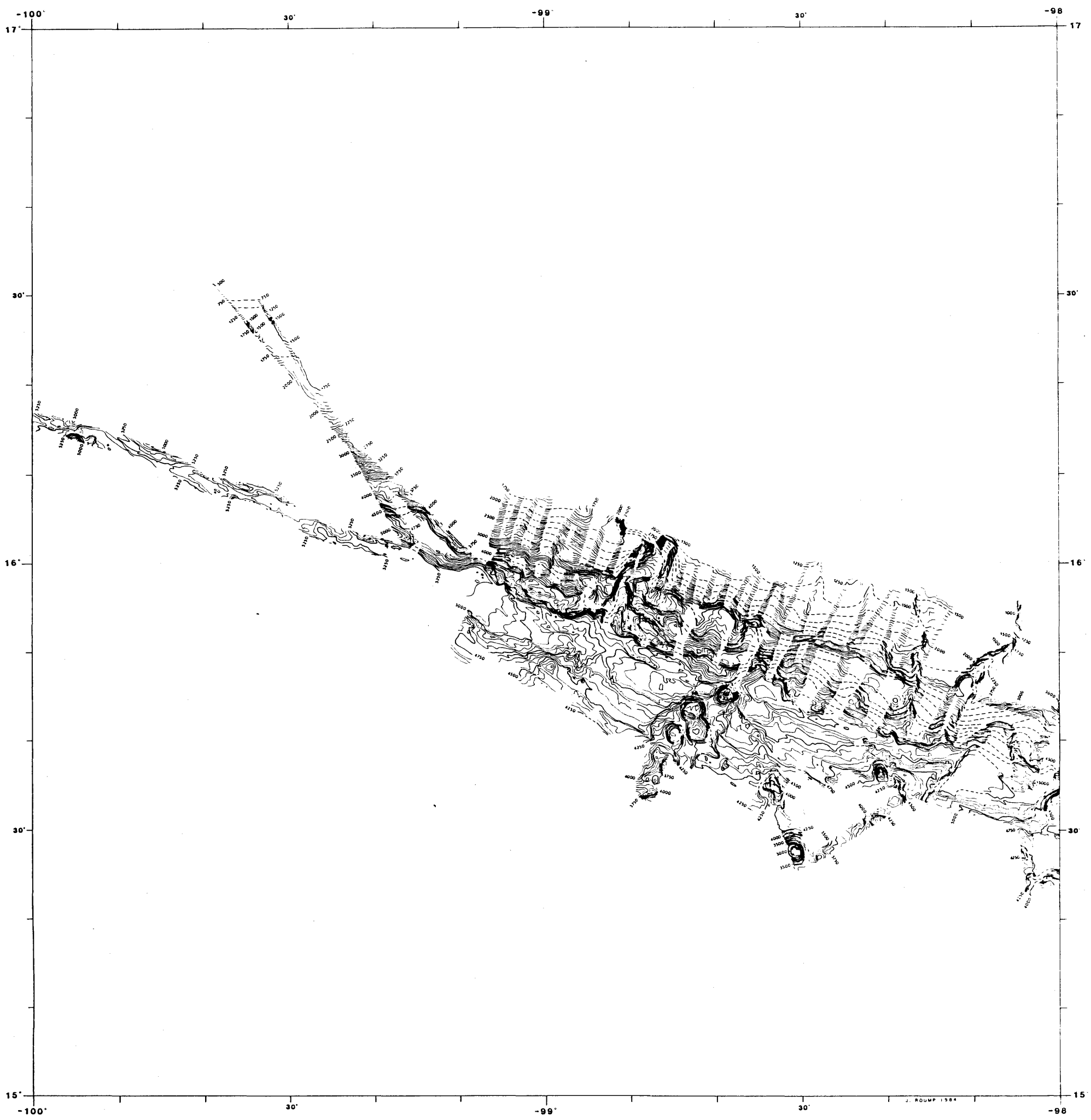
J. ROUMP 1984

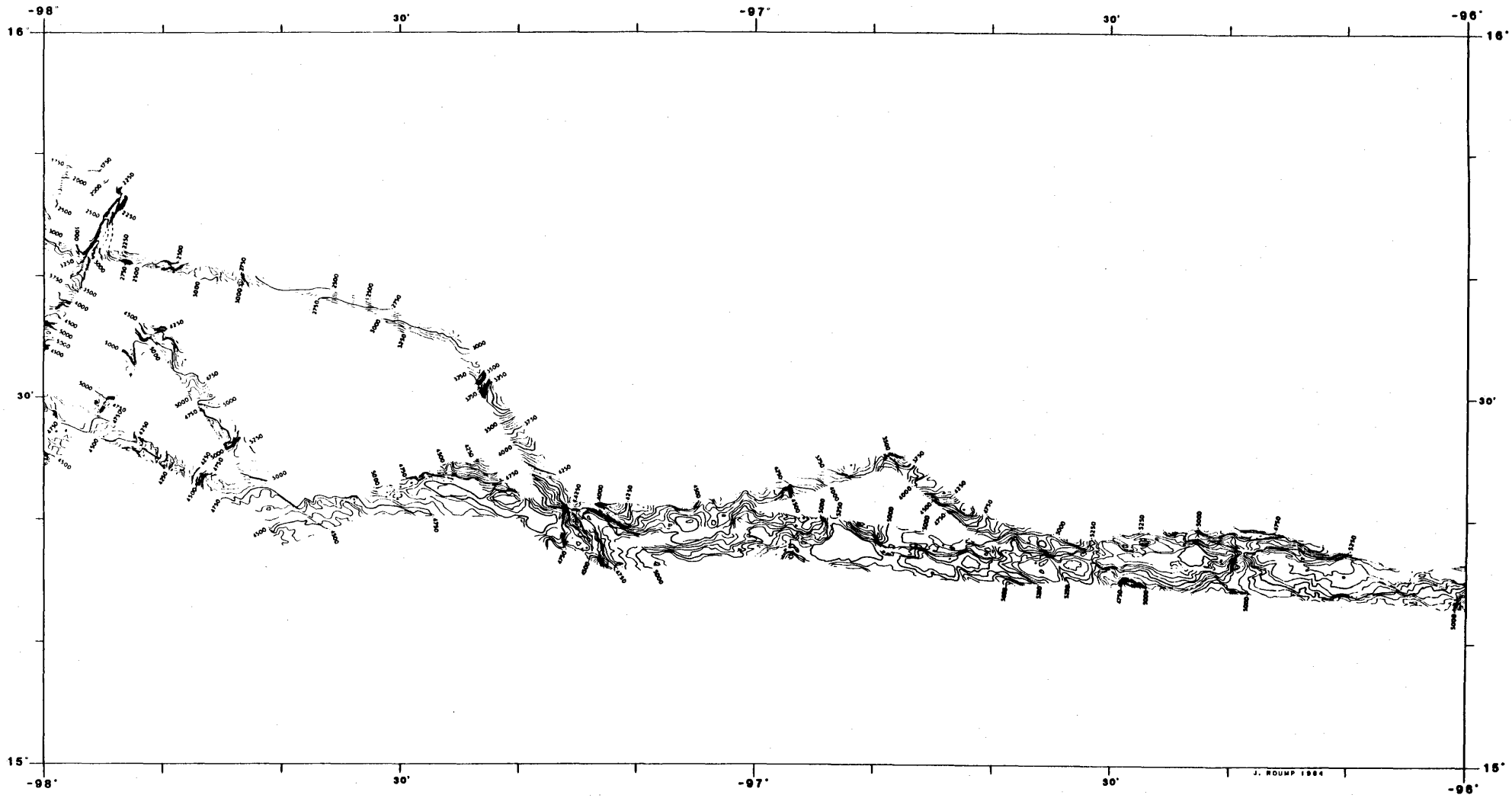


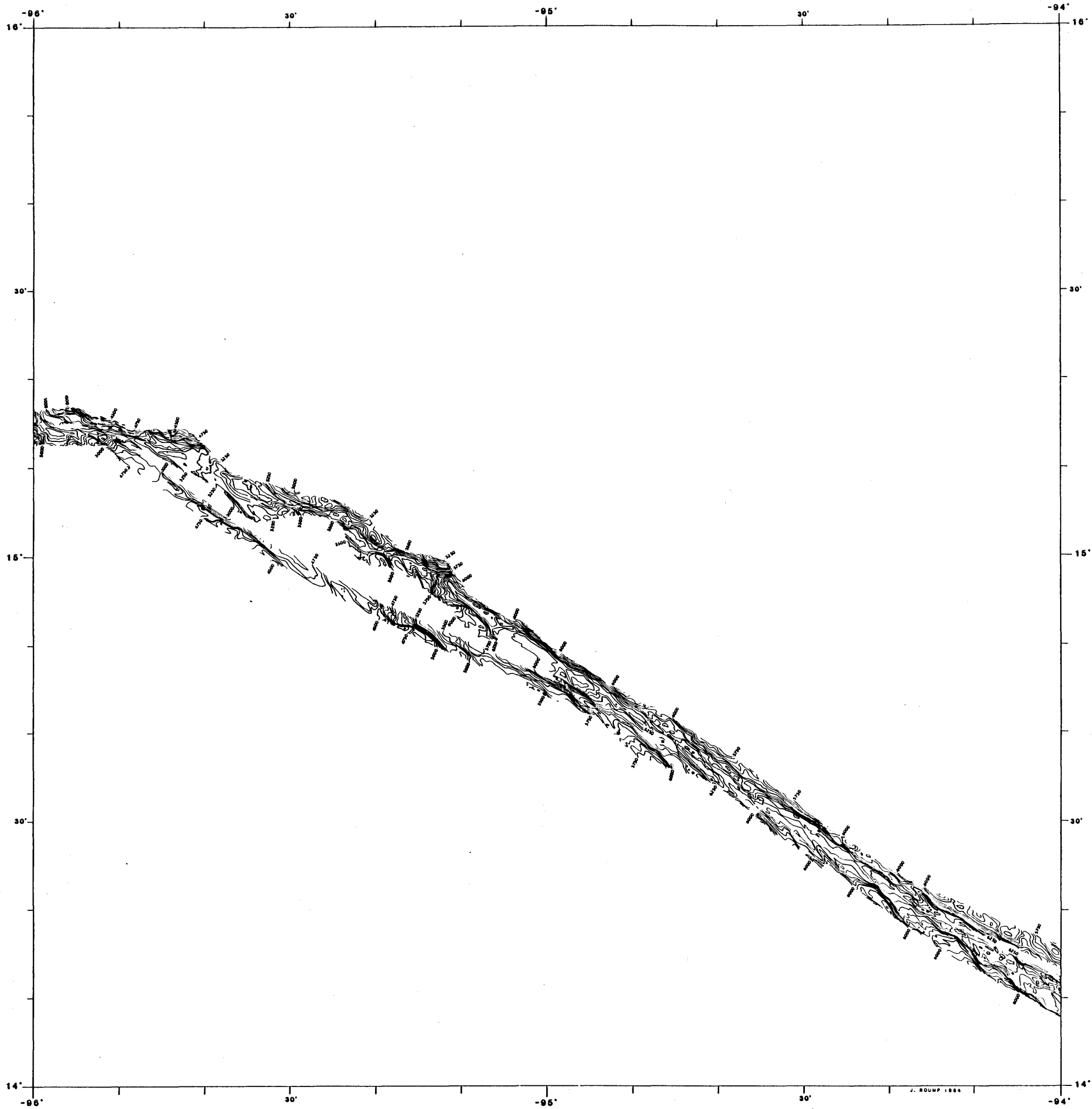


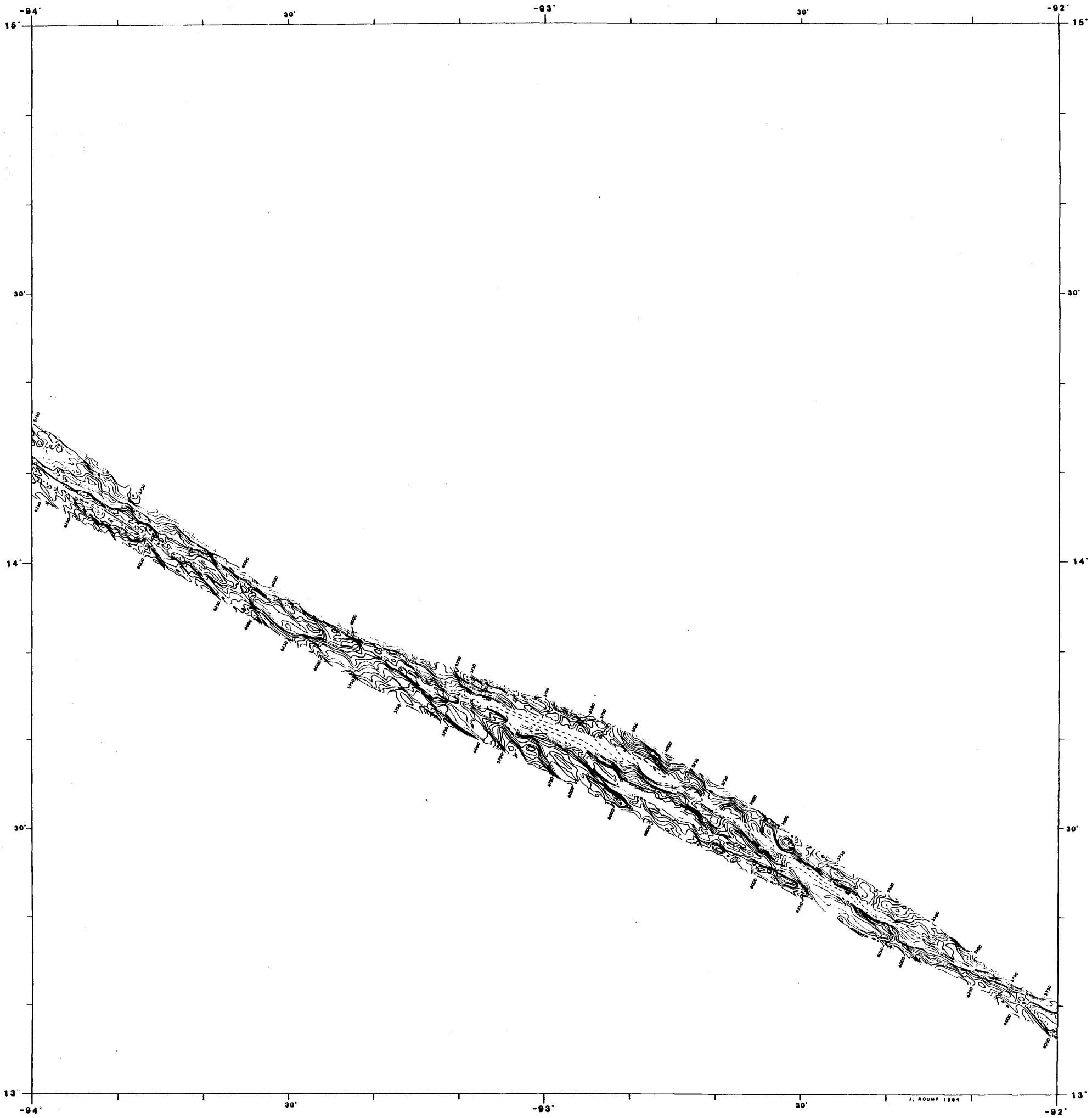


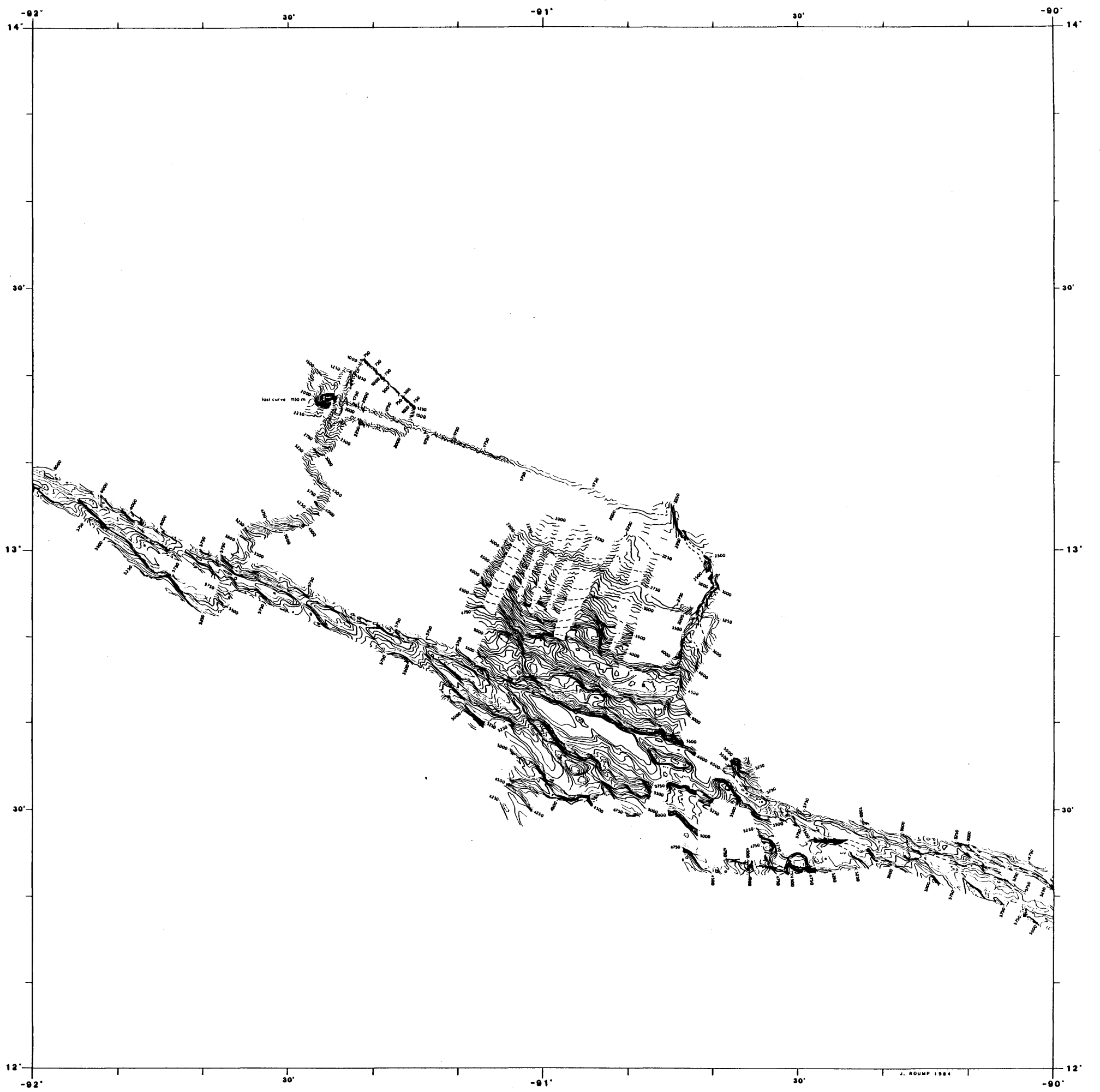


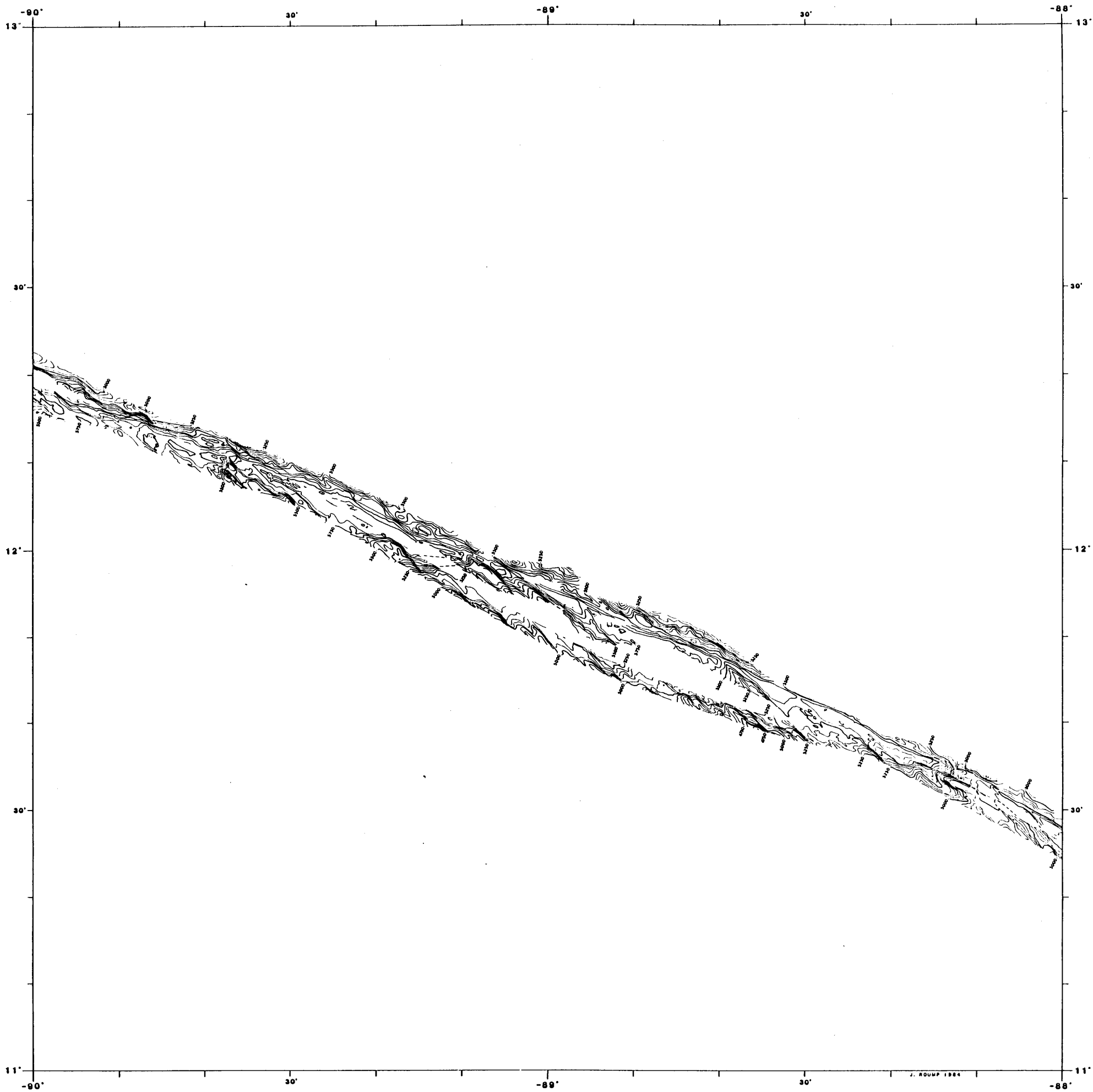




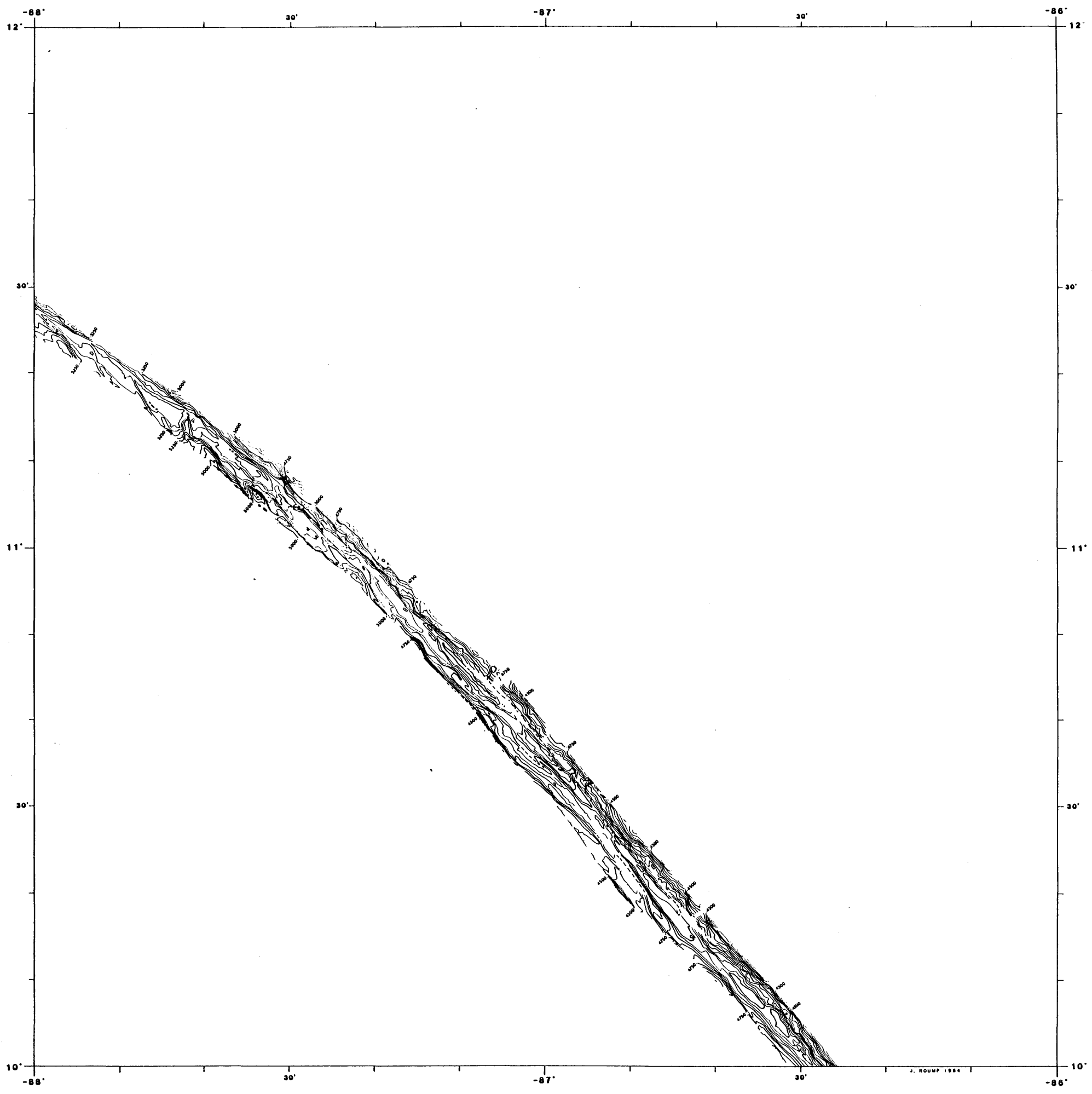


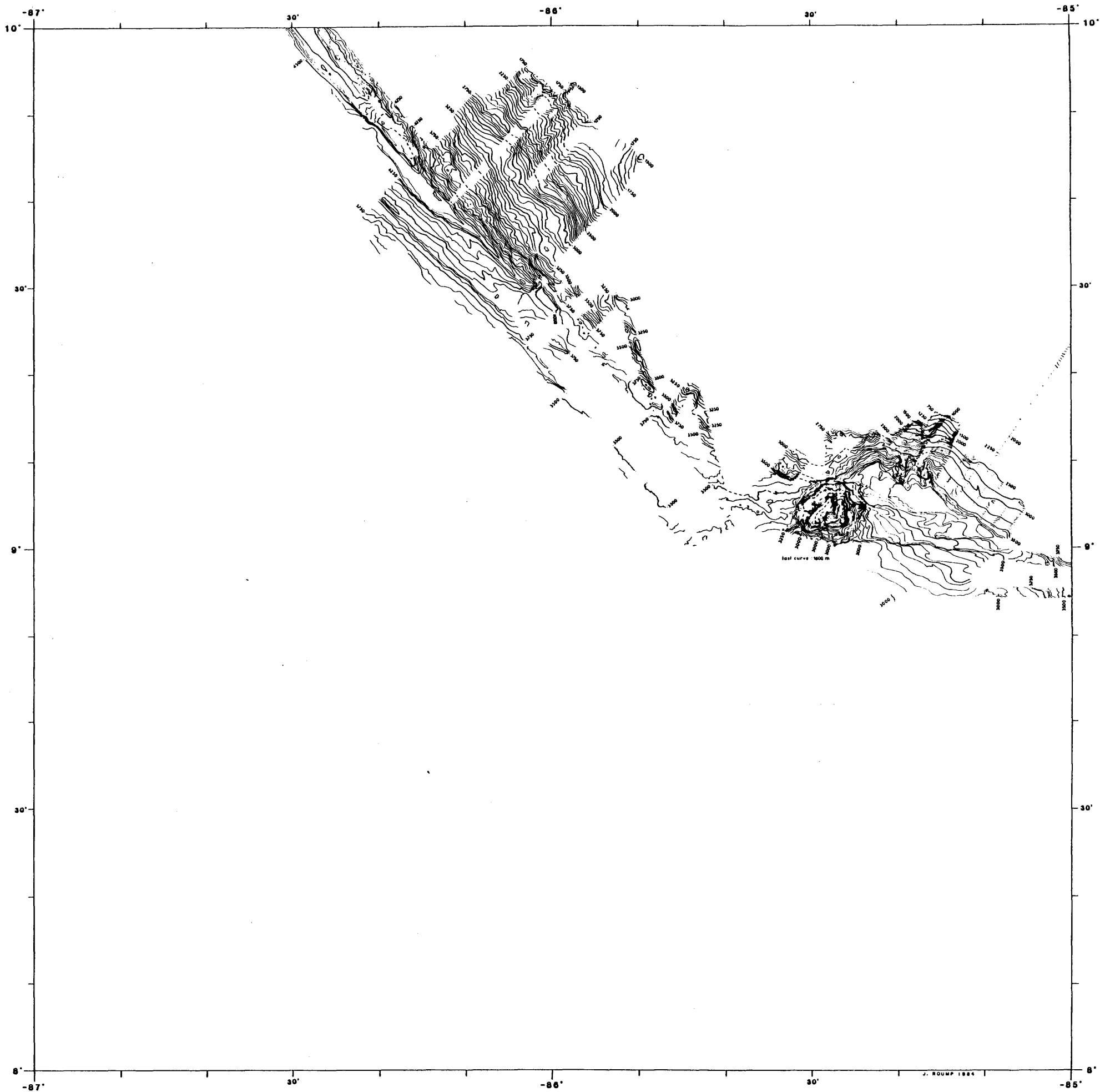


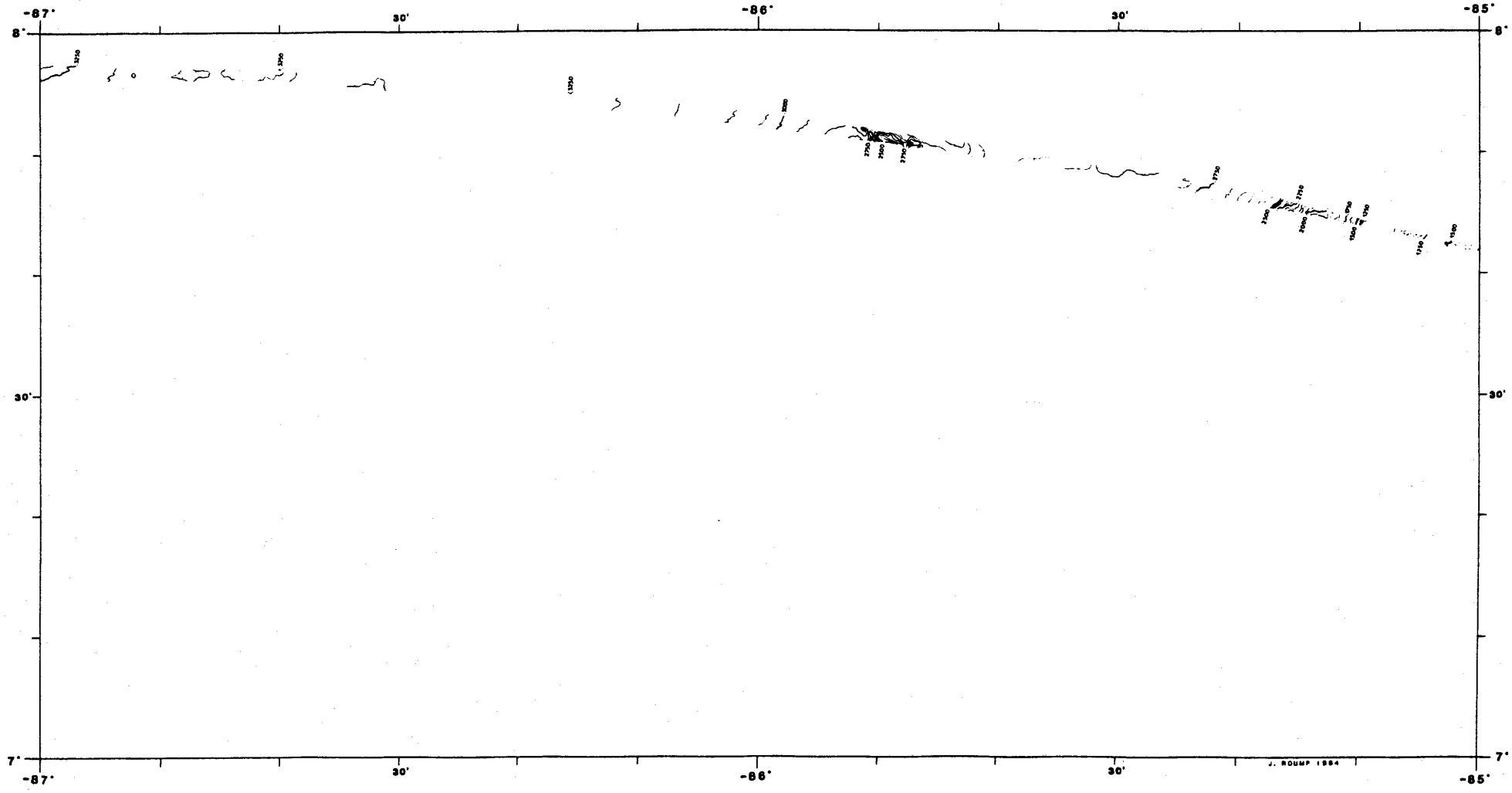


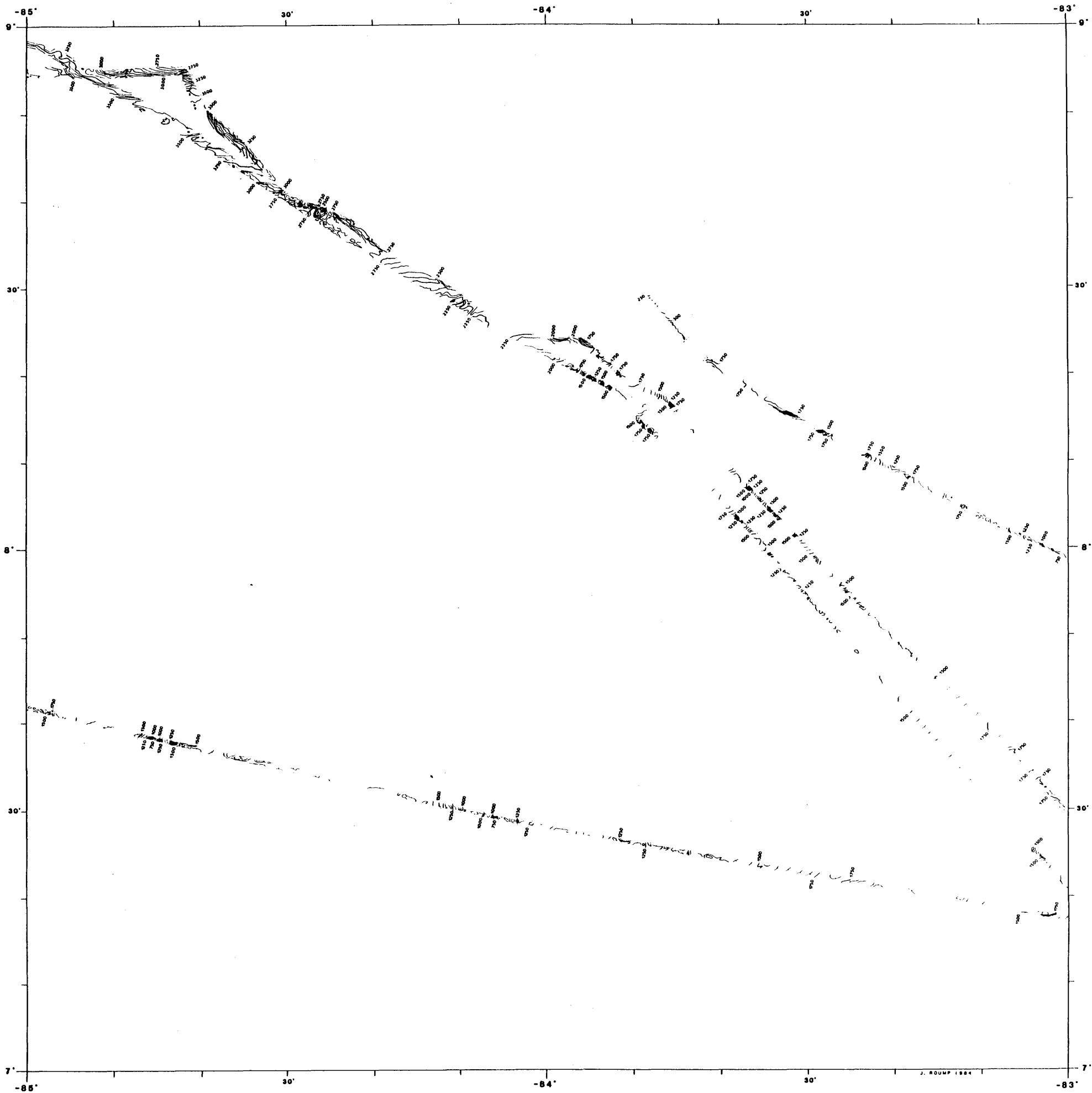


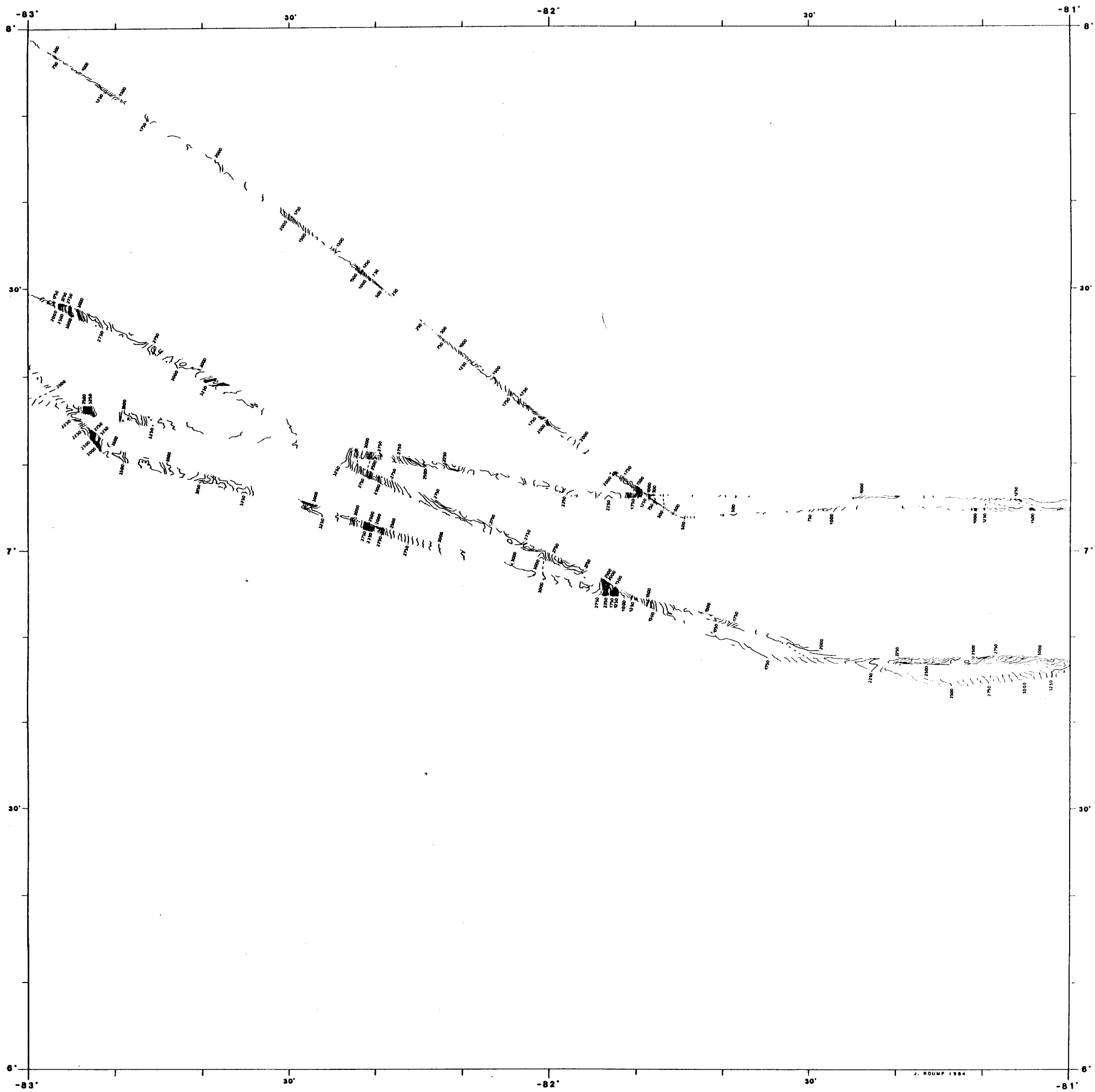


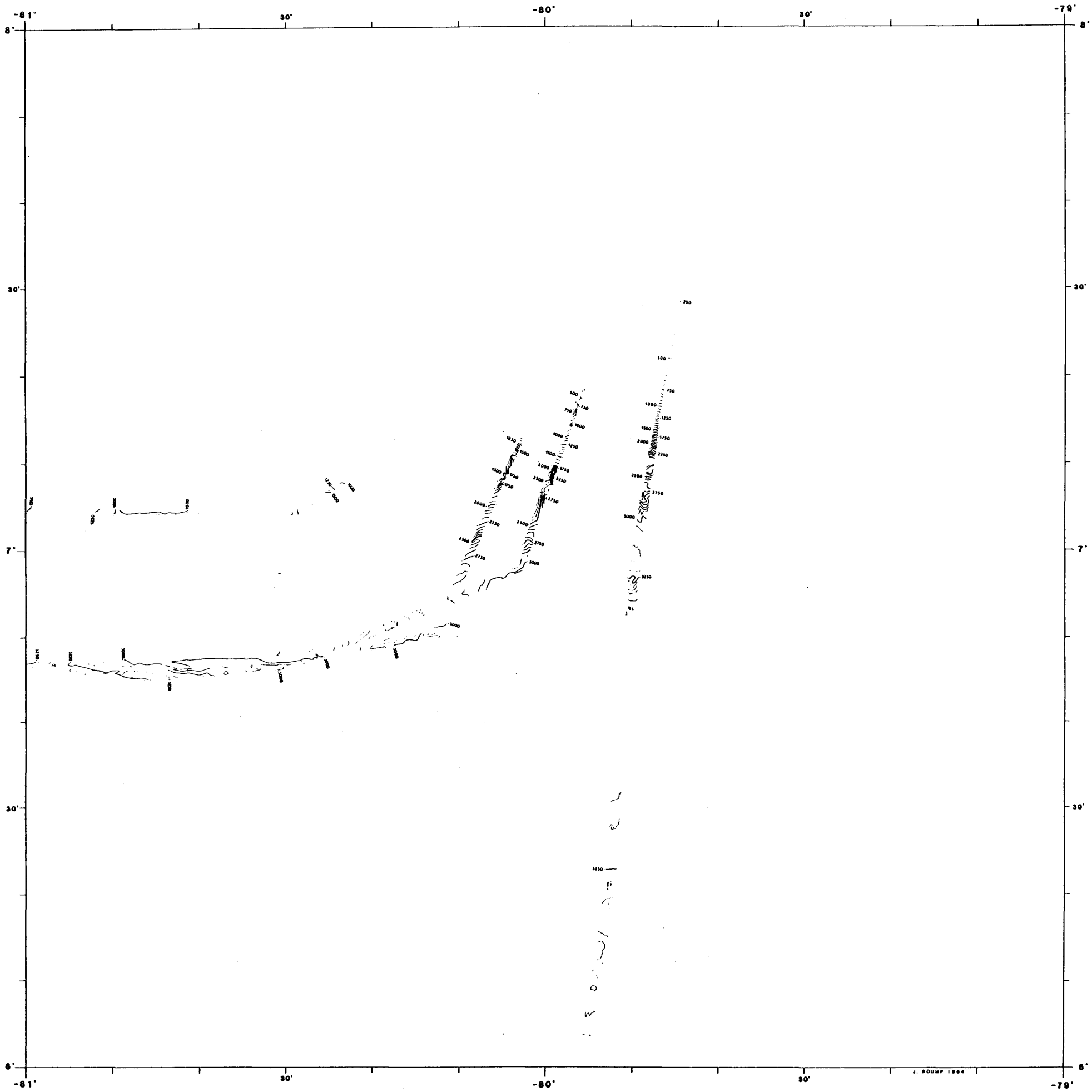












## RESUME

Ce travail a pour but l'étude de la subduction le long du Fossé d'Amérique Centrale à partir 1) d'un exemple de subduction de seamounts et 2) d'une étude régionale de l'ensemble du fossé.

1 - Le levé 'Costa Rica I' a été réalisé essentiellement à partir des données de la campagne ARIADNE3 du Thomas Washington. La carte bathymétrique Seabeam montre la subduction de deux seamounts (le tiers de l'un apparaissant encore, et l'autre commençant à peine à disparaître), et une différence d'orientation dans la structuration de la plaque océanique de chaque côté de ces seamounts (E-W au SE, NW-SE au NW). Les profils de sismique réflexion ont permis d'étudier la subduction des seamounts et son effet sur la marge continentale, et de confirmer la différence entre les deux portions de croûte océanique situées de part et d'autre des seamounts : au NW les sédiments de la série inférieure sont sensiblement moins épais que ceux situés au SE.

2 - Les données Seabeam enregistrées sur le Jean Charcot (campagnes TOULAC3 et PANAC) et le Thomas Washington (campagne ARIADNE3) tout le long de l'axe du Fossé d'Amérique Centrale depuis le Sud de Panama jusqu'au large de Manzanillo (Mexique) ont servi à la compilation de cartes bathymétriques d'une précision jamais atteinte. Leur étude a permis en outre d'établir un profil du fond du fossé montrant plusieurs zones différenciant par la morphologie liée à la sédimentation, la densité des zones de fracture et la profondeur. Ces cartes ont aussi montré qu'il existe le long du Fossé d'Amérique Centrale deux grandes régions ayant des structures océaniques de directions différentes : au SE du levé 'Costa Rica I' les rides E-W appartiennent au système d'accrétion Cocos-Nazca, au NW de ce levé, les rides d'orientation moyenne N135°E, perpendiculaires à la Zone de Fracture Tehuantepec, ont été créées à une ancienne ride d'accrétion, car recoupées par les rides de direction N-S associées à la Dorsale Est-Pacifique actuelle. La localisation des points de rupture le long du Fossé d'Amérique Centrale a permis d'individualiser 4 arcs de cercles le long de son tracé, et un 5e arc a pu être dessiné au large du Panama. Le calcul montre qu'il existe une relation linéaire entre le rayon des cercles et la profondeur moyenne des segments du fossé, sauf dans un cas, juste au NW de la Zone de Fracture de Tehuantepec. L'étude du fond de fossé a été complétée par celle de la localisation de la sismicité avec la cartographie de la magnitude et le dessin de coupes de séismes. La carte montre une bande de magnitude importante entre 85 et 180 km de l'axe du fossé ainsi qu'une variation de largeur de la région sismique au NE du fossé ; la région de la plaque océanique située juste au Nord de la Zone de Fracture Tehuantepec possède une sismicité intraplaque à la différence des autres régions situées au large du fossé. Le plan de subduction révélé par les coupes et blocs-diagrammes est formé de plusieurs 'cuillères' correspondant exactement aux arcs de cercles du fond du fossé, à l'exception de la région au Nord de la Zone de Fracture Tehuantepec où une partie du plan de subduction a une profondeur nettement plus faible que de part et d'autre. Le volcanisme lié à la subduction est divisé en deux arcs : au Mexique l'axe s'éloigne du fossé de la région de Manzanillo jusqu'au Golfe du Mexique, à la base de la presqu'île du Yucatan, où il s'arrête à la verticale de la partie subduite de la Zone de Fracture Tehuantepec ; le volcanisme ne reprend ensuite qu'au SE du système transformant Polochic-Motagua, parallèlement au fossé jusqu'au Costa Rica. L'absence de volcanisme entre la partie subduite de la Zone de Fracture Tehuantepec et les failles Polochic-Motagua, associée à l'absence de différences avec les coupes de séismes situées juste au Sud révèle une région probablement en compression.

## ABSTRACT

The purpose of this work is to study the subduction processes along the Middle America Trench from 1) an example of seamount subduction, and 2) a regional study of the whole trench.

1 - The study of the 'Costa Rica I' survey has been conducted essentially with data recorded during the ARIADNE3 expedition on the Thomas Washington. The Seabeam chart shows the subduction of two seamounts (one third of one is still visible, and the other one is beginning to disappear), and a trend difference in the oceanic plate structures on each side of these seamounts (E-W on the SE, NW-SE on the NW). The seismic reflection profiles allow the study of the effects of the subduction of the seamounts on the continental margin, and confirm the difference between the two portions of oceanic crust on each side of the volcanoes ; on the SE the lower sediment unit is noticeably thicker than on the NW.

2 - The Seabeam data recorded on the Jean Charcot (TOULAC3 and PANAC expeditions) and the Thomas Washington (ARIADNE3 expedition) all along the Middle America Trench axis from South of Panama to off Manzanillo (Mexico) have been used to draw highly precise charts. Among other things, a profile along the trench axis has been constructed from these data : it shows several zones differing in morphology related to sedimentation, fracture zones density and depth. These charts also show that two regions having oceanic structures of different orientation lie along the Middle America Trench : SE of the 'Costa Rica I' Survey the E-W ridges belong to the Cocos-Nazca spreading system, while NW of this survey ridges with N135°E mean direction, normal to Tehuantepec Fracture Zone, have been created at an old spreading center (oblique to the present East Pacific Rise structures). The mapping of break points along the Middle America Trench allowed us to distinguish 4 cusps along its axis, and a 5th one has been drawn South of Panama. Calculation shows that a linear relationship links the radius of the circles and the mean depth of the trench segments, except in one case, just NW of Tehuantepec Fracture Zone. The trench axis study has been completed by the study of the seismic location, with magnitude mapping and earthquakes cross-sections. The map shows a high magnitude strip at 85-180 km from the trench axis, and variations in the width of the seismic area NE of the trench ; the oceanic area just North of Tehuantepec Fracture Zone has an intraplate seismicity unknown elsewhere along the trench. The subduction plane revealed by the 3D representation is buckled, each buckle facing a trench axis cusp, except in the area North of the Tehuantepec Fracture Zone where a part of the subduction plane is much shallower than on either side. Volcanism related to subduction is divided into two arcs : in Mexico the axis stretches, with a growing distance from the trench, from Manzanillo area to the Gulf of Mexico, where it stops just above the subducted Tehuantepec Fracture Zone ; volcanism then reappears on the SE of the Polochic-Motagua transform faults, running parallel to the trench down to Costa Rica. The lack of active volcanoes between the subducted Tehuantepec Fracture Zone and the Polochic-Motagua faults, combined with a lack of differences between earthquakes cross-sections within the area and just South of it, indicates that the region is probably undertaking compressive stresses.