



HAL
open science

Etude sismotectonique détaillée de la subduction lithosphérique au sud Pérou.

François Grange

► **To cite this version:**

François Grange. Etude sismotectonique détaillée de la subduction lithosphérique au sud Pérou.. Géophysique [physics.geo-ph]. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1983. Français. NNT : . tel-00540332

HAL Id: tel-00540332

<https://theses.hal.science/tel-00540332>

Submitted on 26 Nov 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3^e CYCLE

Spécialité : PHYSIQUE

Mention : GÉOPHYSIQUE

par

François GRANGE

S U J E T

Etude sismotectonique détaillée de la subduction lithosphérique au Sud Pérou.

Soutenue le 9 Mars 1983 devant la Commission d'Examen

M. G. PERRIER	Président
M. D. HATZFELD	Rapporteur
M. F. MEGARD	
M. M. SEBRIER	Examineurs
M. M. VIALON	

RESUME

Deux campagnes d'enregistrements sismiques à l'aide d'un réseau local temporaire de stations sismologiques portables ont été réalisées au Sud Pérou en 1980 et 1981. L'objectif était de préciser, grâce aux données d'un réseau local, les problèmes mal résolus par celles du réseau mondial permanent WWSSN.

La région d'étude est un cas typique de subduction d'une plaque océanique sous une plaque continentale, associée à une chaîne de type Cordillère. L'étude de la sismicité d'une telle zone active d'affrontement de plaques lithosphériques fournit une approche physique pour répondre à certaines questions fondamentales : la localisation des séismes renseigne sur l'étendue et la géométrie des zones qui sont le siège de déformations cassantes ; l'étude des mécanismes à la source vient compléter ce schéma spatial en précisant l'état des contraintes au sein de ces mêmes zones.

En simulant les cas réels avec des données synthétiques, nous étudions, dans de nombreux cas de figure, le comportement des programmes de localisation des séismes.

L'interprétation sismotectonique qui suit permet de mettre en évidence et de préciser des particularités locales. L'accent est mis sur l'activité sismique superficielle intracontinentale, en relation avec les observations géologiques, mais aussi sur la zone sismique de Wadati-Benioff qui montre, entre 100 et 200 km de profondeur, de fortes variations de pendage.

MOTS-CLES

Sismologie ; Subduction ; Lithosphère ; Tectonique.

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3^e CYCLE

Spécialité : PHYSIQUE

Mention : GÉOPHYSIQUE

par

François GRANGE

S U J E T

Etude sismotectonique détaillée de la subduction lithosphérique au Sud Pérou.

Soutenue le 9 Mars 1983 devant la Commission d'Examen

M. G. PERRIER	Président
M. D. HATZFELD	Rapporteur
M. F. MEGARD	
M. M. SEBRIER	Examineurs
M. M. VIALON	

Je souhaite dédier cette thèse à:

Arlette GRANGE, mère

Séverine GRANGE, fille

Françoise GRANGE, épouse

Betty, Ginette, amies
de longue date.

Chacune, à sa manière, y a contribué.

Oh ! Lord ! Help me this Day to keep my
big mouth SHUT !

(Bistrot de la place, LARUNS, Pyrénées 1980)

PREAMBULE

Il me faut être bref car, bien sûr, je suis pressé.... Mais l'on me pardonnera sans peine, je pense.

Merci, Monsieur Perrier: vous m'avez accueilli au Laboratoire, pourtant vous mesuriez mieux que moi-même les problèmes que j'allais rencontrer. Merci pour votre confiance.

Merci, Monsieur Denis Hatzfeld: la rumeur veut que nous nous affrontions vigoureusement; je suis heureux de pouvoir dire bien haut, toute pudeur jetée, que j'ai eu grand plaisir à travailler à tes côtés.

Merci, Monsieur Vialon: maintes soirées vos bons conseils et votre humour m'ont aidé.

Merci, François Mégard, merci Michel Sébrier, d'avoir accepté de vous intéresser à ce travail.

Merci au chercheurétudianttechnisecrétaire de tous les jours, pour tous les jours de simple sympathie.

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I - CONTEXTE GEODYNAMIQUE ET TRAVAUX ANTERIEURS

- 1 - Les principaux caractères de la chaîne andine.
- 2 - Les observations géophysiques.
- 3 - Pour résumer...

CHAPITRE II - ACQUISITION ET MISE EN FORME DES DONNEES

- 1 - Les campagnes d'enregistrements.
- 2 - Les instruments.
- 3 - Le dépouillement.
- 4 - Estimation des erreurs de lecture.

CHAPITRE III- LA LOCALISATION DES SEISMES

- 1 - Les programmes de localisation.
- 2 - Exploitation du programme HYPOINVERSE.
- 3 - Simulation des cas réels par des données synthétiques.
- 4 - Conclusions.

CHAPITRE IV - REPARTITION SPATIALE DE LA SISMICITE

- 1 - L'activité superficielle.
- 2 - La zone de Wadati-Benioff.
- 3 - En guise de transition.

CHAPITRE V - LES MECANISMES AU FOYER

- 1 - Introduction.
- 2 - L'activité superficielle.
- 3 - La zone de Wadati-Benioff.
- 4 - Résumé.

CHAPITRE VI - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- 1 - Sismicité crustale en arrière de la fosse.
- 2 - Sismicité intermédiaire de la zone de subduction.
- 3 - Perspectives.

I N T R O D U C T I O N

On peut distinguer trois types de zones actives d'affrontement de plaques lithosphériques suivant la nature -océanique ou continentale- de ces dernières.

Les systèmes d'arcs insulaires volcaniques, associés à un bassin interne, résultent de l'affrontement entre deux plaques océaniques: Aléoutiennes, Izu-Bonin, Mariannes, Nouvelles Hébrides. Cette situation est bien étudiée en particulier aux Nouvelles Hébrides, grâce à la mise en oeuvre de réseaux locaux.

Le système himalayen est un cas spectaculaire de collision active entre deux plaques continentales et fait également l'objet d'études locales.

Le troisième type enfin met en jeu une plaque océanique et une plaque continentale. Au Japon, en Indonésie, aux Kouriles, aux Philippines, on retrouve un arc volcanique, mais il est bâti sur un socle continental; il est en outre associé à l'ouverture, plus ou moins avancée, d'un bassin marginal où le matériel océanique apparaît (p.e. Mer du Japon, Mer de Chine). Dans ce même type, une autre situation se présente en Alaska et surtout le long de la marge péruano-chilienne: comme pour les arcs insulaires, elle se caractérise par la subduction de la plaque océanique, mais il n'y a pas de bassin marginal dans le continent chevauchant. En revanche, ce système est associé à une chaîne de type cordillère, forme typique d' "arc continental" sans bassin marginal.

L'étude de la sismicité d'une telle zone active fournit une approche physique pour répondre à certaines questions fondamentales: la localisation des séismes renseigne sur l'étendue et la géométrie des zones qui sont le siège de déformations cassantes; l'étude des mécanismes à la source vient compléter ce schéma spatial en précisant l'état des contraintes au sein de ces mêmes zones. Il est ainsi possible de proposer un modèle dynamique pour cette marge active, étape indispensable pour la compréhension du système.

Malgré l'intérêt particulier de ce dernier type de collision, les études fines in situ font encore défaut. A ce jour, seules les données fournies depuis 1962 par le réseau mondial WWSSN présentent une cohérence et un volume suffisants pour être exploitées. Nous ferons une synthèse des travaux réalisés sur cette base: ils montrent que ces données permettent de faire une bonne approche synthétique,

quoique relativement grossière, du problème posé en une région donnée. Toutefois, l'on atteint assez rapidement les limites de l'exploitation de ces données, avec les techniques mises en oeuvre (bulletins de localisations du Centre Séismologique International). Pour une étude de détail, les données télésismiques présentent une fiabilité insuffisante et leur exploitation impose un lissage excessif des particularités locales de la zone étudiée. Néanmoins, le "dégrossissage" réalisé grâce aux données télésismiques est très précieux mais il convient, sur cette base, de compléter l'étude par la mise en oeuvre de réseaux locaux de stations sismologiques.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre intervention au Sud Pérou: deux campagnes d'enregistrements sismiques utilisant un réseau local temporaire de stations sismologiques portables y ont été conduites en Juin-Juillet 1980 puis en Juin-Juillet 1981. Cette expérience a été réalisée en collaboration avec une équipe du M.I.T. (Cambridge, U.S.A.) et un soutien logistique de l'Institut Géophysique du Pérou (LIMA) et de l'observatoire de Characato (AREQUIPA).

C H A P I T R E I

CONTEXTE GEODYNAMIQUE ET TRAVAUX ANTERIEURS

1 - LES PRINCIPAUX CARACTERES DE LA CHAINE ANDINE.

- 1.1 - Généralités.
- 1.2 - Les Andes Centrales.
- 1.3 - Le style tectonique.
- 1.4 - La tectonique actuelle.

2 - LES OBSERVATIONS GEOPHYSIQUES.

- 2.1 - Le domaine continental.
- 2.2 - Le domaine océanique.
 - 2.2.1 - Mouvement relatif des plaques.
 - 2.2.2 - Linéations magnétiques.
 - 2.2.3 - Rides asismiques et zones de fracture.
 - 2.2.4 - Structures de la fosse et de la marge continentale.
- 2.3 - La sismicité.
 - 2.3.1 - Répartition spatiale de la sismicité.
 - 2.3.2 - Les mécanismes au foyer.

3 - POUR RESUMER.

- 3.1 - Premières conclusions.
- 3.2 - Objectifs.
 - 3.2.1 - Etude de la sismicité crustale.
 - 3.2.2 - Etude de la zone de Wadati-Benioff.
 - 3.2.3 - Etude des structures.

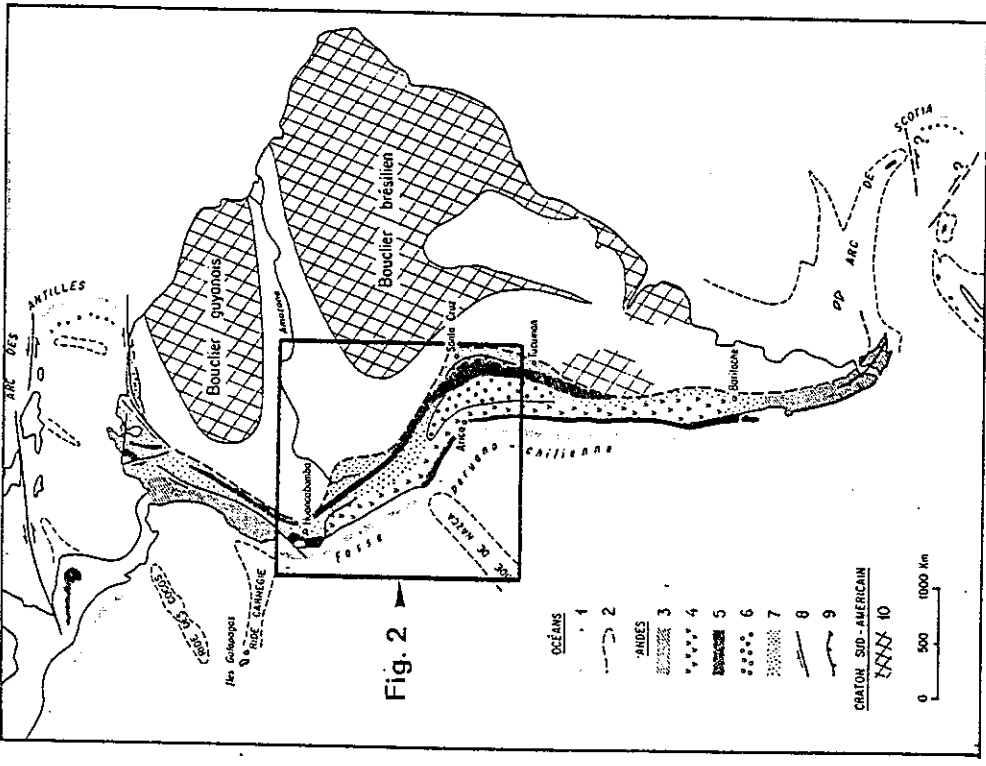


Figure 1.1 - Esquisse structurale des Andes.
 Océans: (1) fosses océaniques, (2) limites des rides océaniques ou du plateau continental.
 Andes: (3) secteurs dotés d'un magmatisme ophiolitique pré-orogénique, (4) secteurs dotés d'un magmatisme andésitique pré-orogénique, (5) zones d'affleurement du substratum précambrien et hercynien remanié dans la chaîne andine, (6) bassins tertiaires intra-montagneux subsidents, (7) autres secteurs de la chaîne, (8) décrochements, (9) chevauchements principaux.
 Craton sud-américain: (10) boucliers précambriens et, en blanc, ouverture des boucliers.
 (D'après Mégard, 1978)

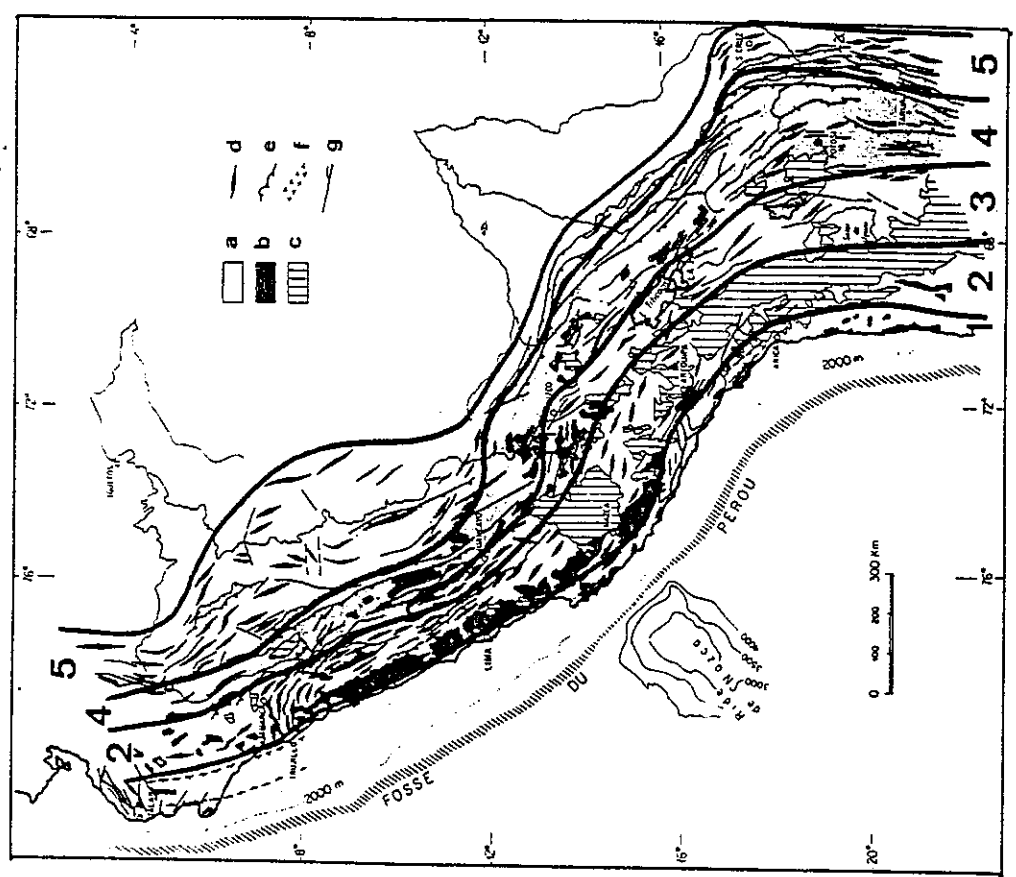


Figure 1.2 - Les structures andines au Pérou et en Bolivie.
 (a) substratum précambrien et paléozoïque, (b) massifs plutoniques andins, (c) ouverture volcanique non plissée, (d) axes des plis andins, (e) failles inverses et chevauchements, (f) grabens, (g) failles normales.
 Zonation structurale: (1) zone côtière, (2) Cordillère Occidentale, (3) zone inter-cordillère des Hauts Plateaux, (4) Cordillère Orientale, (5) zone subandine.
 (D'après Audebaud et al., 1973)

CONTEXTE GEODYNAMIQUE ET TRAVAUX ANTERIEURS

1-LES PRINCIPAUX CARACTERES DE LA CHAINE ANDINE.

1.1- Généralités.

La chaîne des Andes s'étire sur plus de 7000km le long de la côte pacifique du continent sud-américain, dont elle constitue une mince et haute bordure associée, sur environ 4000 km, à une fosse océanique profonde. La figure I.1 (Mégard, 1978) trace les grands traits structuraux de cette chaîne en la situant dans son contexte géologique.

Des discontinuités géologiques majeures conduisent à distinguer :

-les Andes Septentrionales (Equateur, Colombie) et les Andes Australes (Sud-Chili) caractérisées par la présence de matériel d'origine océanique (ophiolites) accolé au continent par suite d'une collision antérieure à l'orogène andin et dont les modalités sont mal connues; le magmatisme calcoalcalin (andésites) ne se met en place qu'à partir du Tertiaire;

-les Andes Centrales (Pérou, Nord-Chili, Bolivie) et Méridionales (Chili central, Argentine) dépourvues d'ophiolites mais caractérisées par la présence d'andésites pré-orogéniques; le magmatisme andésitique installe ensuite une énorme couverture tertiaire à actuelle; ce secteur représente un type actuel de chaîne bâtie sur une marge active avec subduction.

Une meilleure compréhension du rôle de la subduction, en liaison avec les observations de surface, est déterminante pour comprendre la genèse de ce type de chaîne. Notre étude sismotectonique se situe dans ce cadre et se réfère plus particulièrement aux Andes liminaires Centrales.

1.2 - Les Andes Centrales.

La Géologie nous apprend que la chaîne andine liminaire proprement dite s'est construite sur un substratum précambrien et hercynien typiquement continental: le socle sialique est présent partout.

Le cycle andin commence au Trias moyen (210Ma) par une longue phase de sédimentation qui s'étend

CONTEXTE GEODYNAMIQUE ET TRAVAUX ANTERIEURS

jusqu'au Crétacé Supérieur (80 Ma) et durant laquelle se dépose l'essentiel des sédiments marins andins. Cette sédimentation s'accompagne d'un fort magmatisme le long d'un arc volcanique à substratum sialique, témoin du fonctionnement de la subduction au moins depuis le Trias Supérieur (200 Ma). La figure I.3 donne une idée de la situation au Crétacé Moyen dans les Andes Centrales (reconstitution proposée par Mégard, 1978).

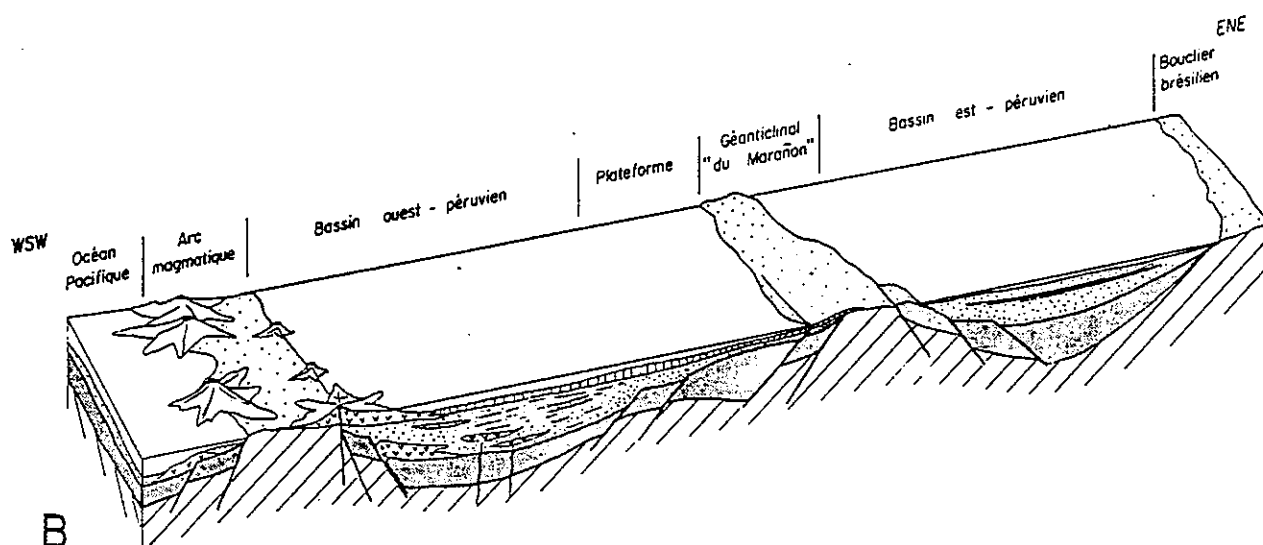


Figure I.3 - Dispositif paléogéographique au Crétacé Moyen pour les Andes Centrales. (D'après Mégard, 1978)

On connaît pour l'ensemble des Andes au moins cinq phases orogéniques compressives depuis le Jurassique supérieur (170 Ma). Toutefois elles ne sont pas toutes décelées partout et au niveau des Andes Centrales, la première phase majeure, associée à un événement sédimentaire bien daté (transition marin-continentale), est fin-Crétacé (80 Ma). Ces phases sont relativement courtes, modestes; elles sont séparées par des périodes de distension assorties de volcanisme andésitique. Un important magmatisme intrusif se met également en place, par épisodes, depuis le Crétacé Inférieur (100 Ma) jusqu'à l'Oligocène (32 Ma).

On met en évidence de nombreux mouvements verticaux: surrections, mais aussi subsidences; l'Altiplano, par exemple, est un grand sillon subsident tertiaire soulevé avec l'ensemble de la chaîne lors d'un bombement général qui fait suite aux phases compressives mio-pliocènes.

La Cordillère actuelle présente une zonation structurale parallèle à la fosse Pérou-Chili qui permet de distinguer, pour les Andes Centrales (les numéros renvoient à la figure I.2) :

- la zone côtière (1) : mince bourrelet côtier de 50 à 100 km de largeur formé au Sud de 13°30' S. d'affleurements de socle précambrien métamorphique.

- la Cordillère Occidentale (2) : séries sédimentaires céno-mésozoïques recoupées par un imposant batholite granitique crétacé et tertiaire (p.e. la Caldera) et un puissant volcanisme tertiaire à actuel. En particulier, une énorme couverture plio-quadernaire, ignimbritique et andésitique, constitue une caractéristique majeure de la géologie du Pérou au Sud de 13°S et se prolonge au Nord du Chili (27°S);

- la zone intercordillère des Hauts Plateaux (3) : bassins subsidés intramontagneux tertiaire avec des intercalations volcaniques côté Ouest. C'est surtout l'Altiplano sup-péruvien et bolivien qui s'étend de Cuzco jusqu'au NW de l'Argentine, remarquable par son étendue (sa largeur atteint 200 km), l'épaisseur des sédiments (jusqu'à 15000m) et son altitude (4000m). Cette zone se prolonge au Nord de Cuzco par les Hauts Plateaux du Pérou Central pour disparaître au Nord de 10°30'S;

- La Cordillère Orientale (4) : grand anticlinorium faillé où affleure largement un socle "souple" (par rapport à la rigidité du socle précambrien de la Cordillère Occidentale) résultant d'une évolution hercynienne. Elle subit entre 12°S et 13°S une forte déflexion qui modifie son orientation générale puis élargit la chaîne vers le Sud, en même temps que commence l'Altiplano stricto sensu.

- la zone subandine (5) : vaste zone de terrains sédimentaires plissés lors de la seule phase pliocène et recoupés par des failles inverses assez raides plongeant en direction W ou SW, mais pouvant se coucher en profondeur pour se raccorder à un décollement de la couverture sédimentaire sur le craton..

1.3 - Le style tectonique

Dans l'ensemble, le style de la déformation est simple: le plissement est modéré, il y a peu de grandes nappes, peu de grands chevauchements; il n'y a donc pas de grande tectonique tangentielle. En revanche, la schistosité est subverticale, les failles inverses sont très raides,

CONTEXTE GEODYNAMIQUE ET TRAVAUX ANTERIEURS

enfin il n'y a pas de sutures ophiolitiques. Tous ces éléments font que la chaîne andine diffère très nettement des chaînes de collision, associées à un stade final de la subduction (Audebaud et al., 1973; Mégard, 1978).

Nous avons une chaîne de marge, mais qui présente certaines caractéristiques tectoniques des chaînes intracontinentales (p.e. Haut Atlas), en particulier pour la Cordillère Orientale. Quelques secteurs s'écartent localement de ce schéma simple et témoignent d'une très inégale répartition de la déformation. Globalement, celle-ci conduit à un raccourcissement crustal de l'ordre de 100 km (Mégard 1978) au niveau du Pérou Central.

On retrouve sur la bordure ouest de la zone subandine, certains traits des "thrust and fold belts" (Dickinson, 1977; Coney, 1973) observés en arrière de l'arc volcanique, dans la Cordillère nord-américaine par exemple (Burchfield et Davis, 1976): il y aurait un décollement de la couverture sur le craton, lequel est sous-charnié sous la chaîne. Du reste, cette zone concentre, comme on le verra, la plus grande partie de l'activité sismique superficielle intracontinentale.

1.4 - La tectonique actuelle

De récentes études de néotectonique au Sud du Pérou montrent que la tectonique au quaternaire et actuelle y est à dominante extensive; sur une transversale Mollendo-Altiplano, la Cordillère Occidentale et l'Altiplano lui-même montrent des déformations en extension et dans une direction N-S (Mercier, 1981; Sébrier et al., 1980; Sébrier, 1978, 1981; Lavenu, 1978; Lavenu et Soulas, 1974; Lavenu, 1982; Mégard, 1978).

On observe également (Dalmayrac, 1974) des failles normales actives dans la Cordillère Blanche (Cordillère Occidentale au Nord de 10°S) témoins d'une extension perpendiculaire à la chaîne, dans un contexte général requérant un raccourcissement crustal (Audebaud et al., 1973; Mégard, 1978; Marocco, 1978; Mégard et Philip, 1976).

Il existe toutefois quelques déformations actuelles en compression, par exemple dans le bassin de Huancayo (séisme de Paríahuanca, 1979; Deza, 1971; Dollfus et Mégard, 1968; Philip et Mégard, 1977).

Ces observations encore très éparses montrent les difficultés que l'on rencontre pour relier entre elles

les déformations de surface: il est nécessaire, à ce stade, de compléter ces travaux par l'étude des mécanismes au foyer des séismes de la croûte en arrière de la zone de subduction.

2 - LES OBSERVATIONS GEOPHYSIQUES

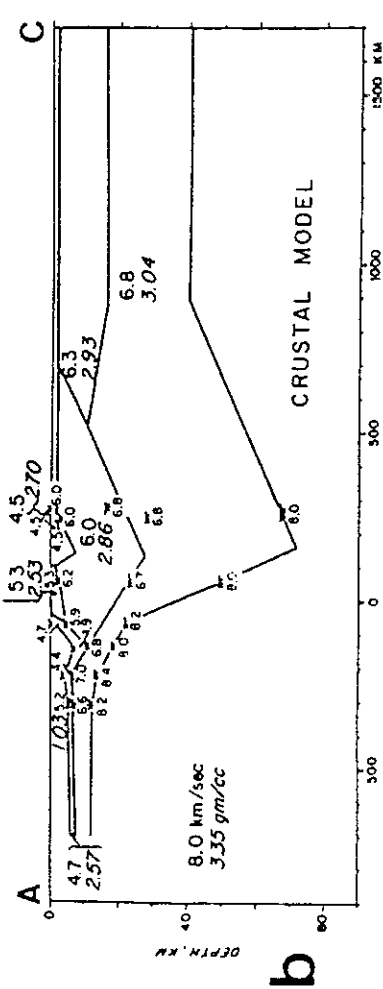
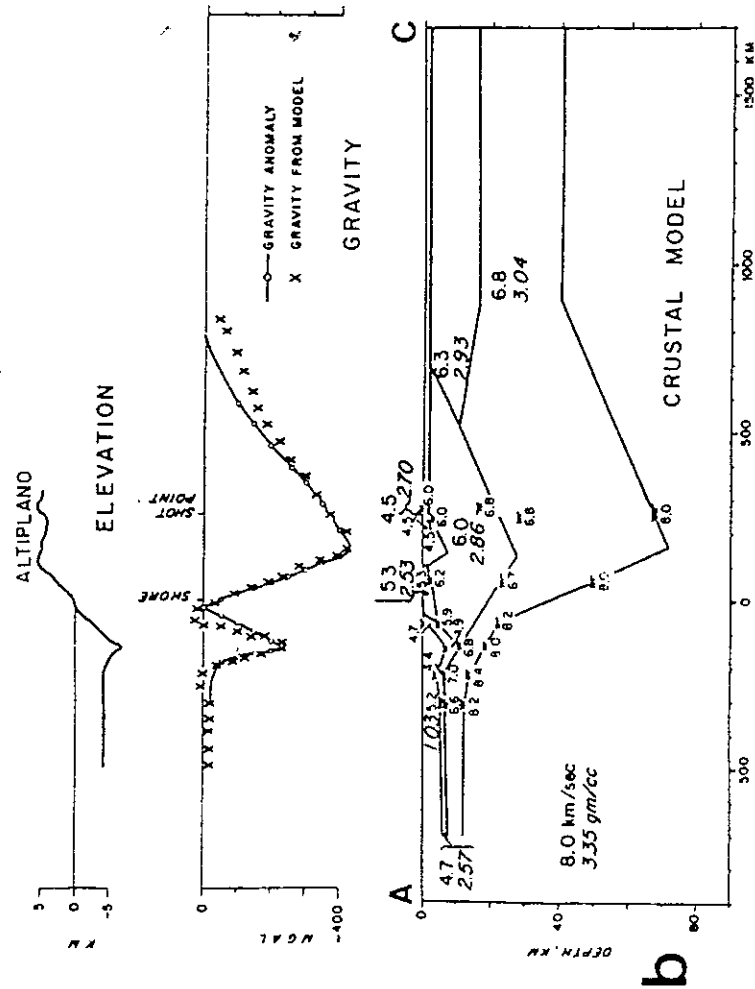
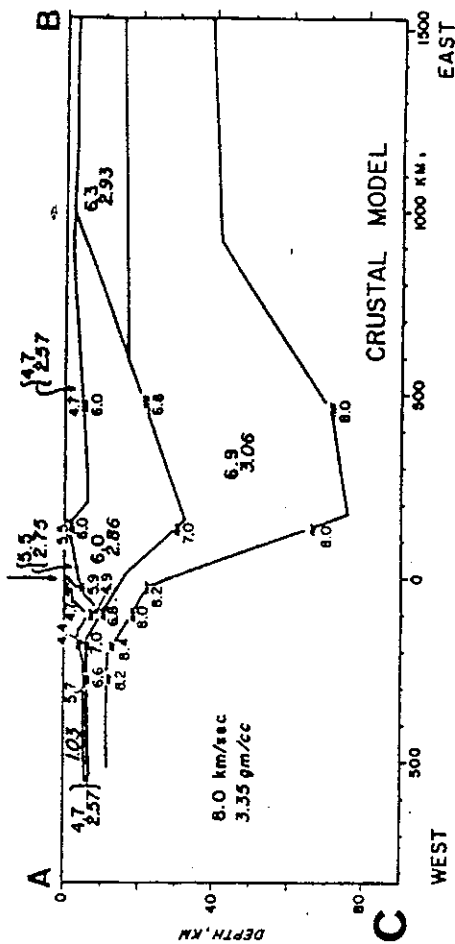
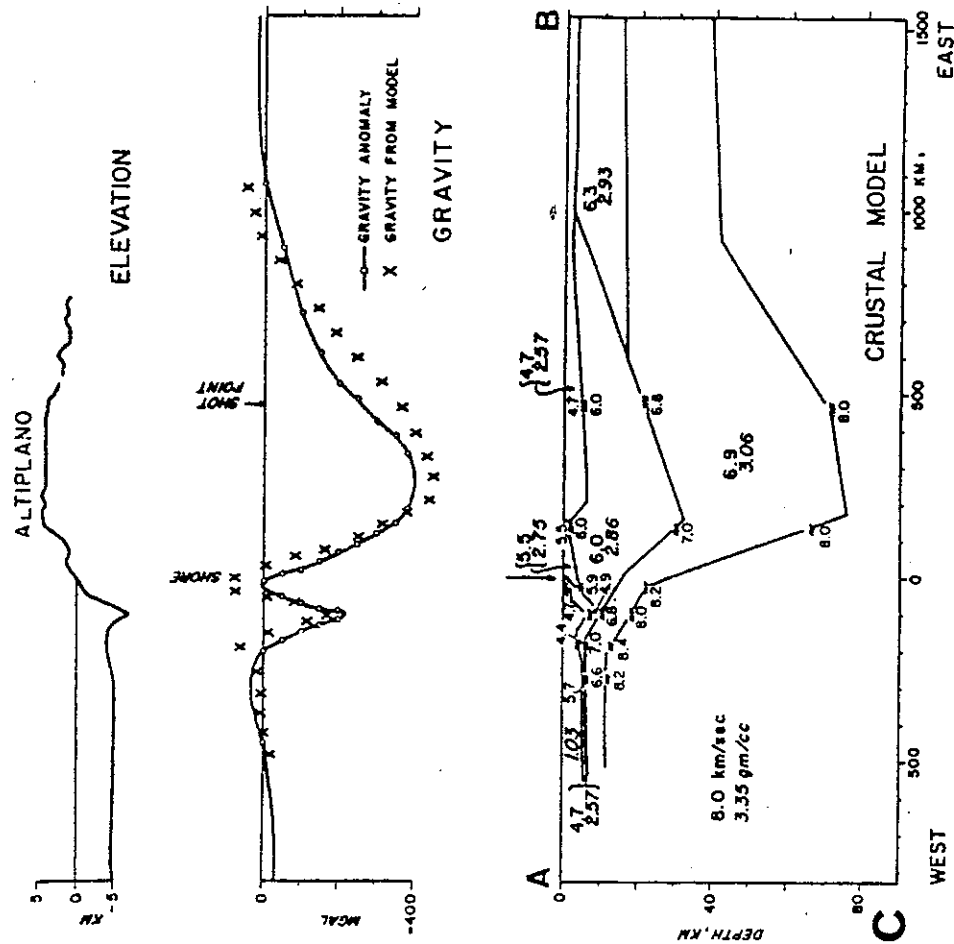
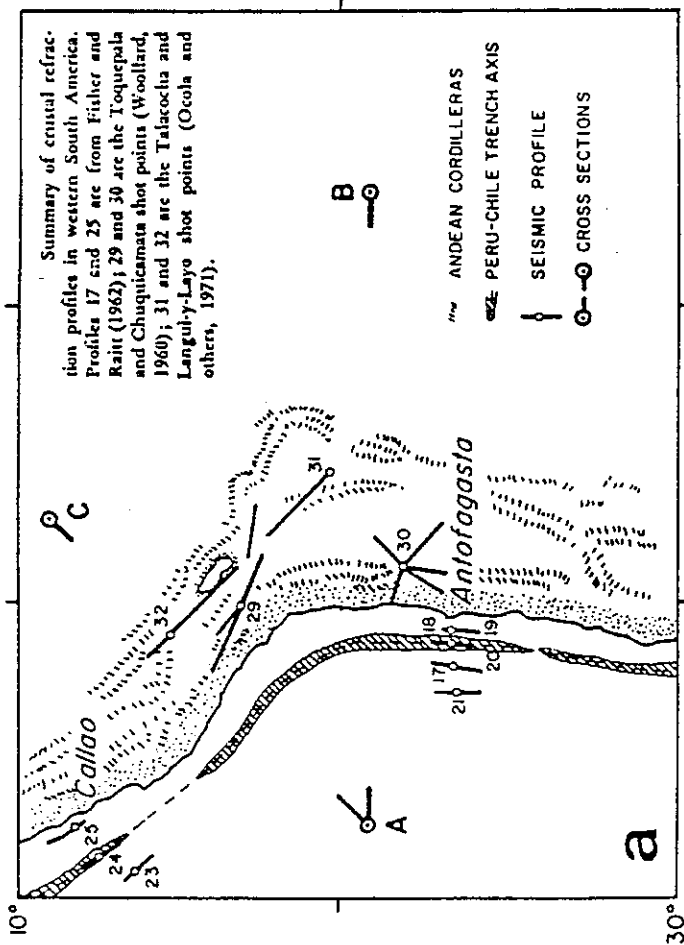
2.1 - Le domaine continental

Plusieurs techniques ont été mises en oeuvre pour étudier la structure de la croûte continentale et du manteau supérieur au Pérou:

- sismique réfraction (Ocola et al., 1971; Ocola et Meyer, 1972);
- gravimétrie (Hayes, 1966, Ocola et Meyer, 1973);
- dispersion des ondes de surface (James, 1971);
- conductivité électrique (Schmucker et al., 1966; Schmucker, 1969).

Ocola et Meyer (1973) proposent une synthèse, sur deux transversales Sud-Pérou et Nord-Chili (figure I.4). Toutes les expériences de sismique réfraction mettent en évidence une discontinuité entre une croûte supérieure (5.9 à 6.2 km/s pour la vitesse des ondes P) et une croûte inférieure (6.6 à 7.0 km/s). La profondeur du Moho et la structure du manteau supérieur sont mieux fixées par la dispersion des ondes de surface (James, 1971): figure I.5.

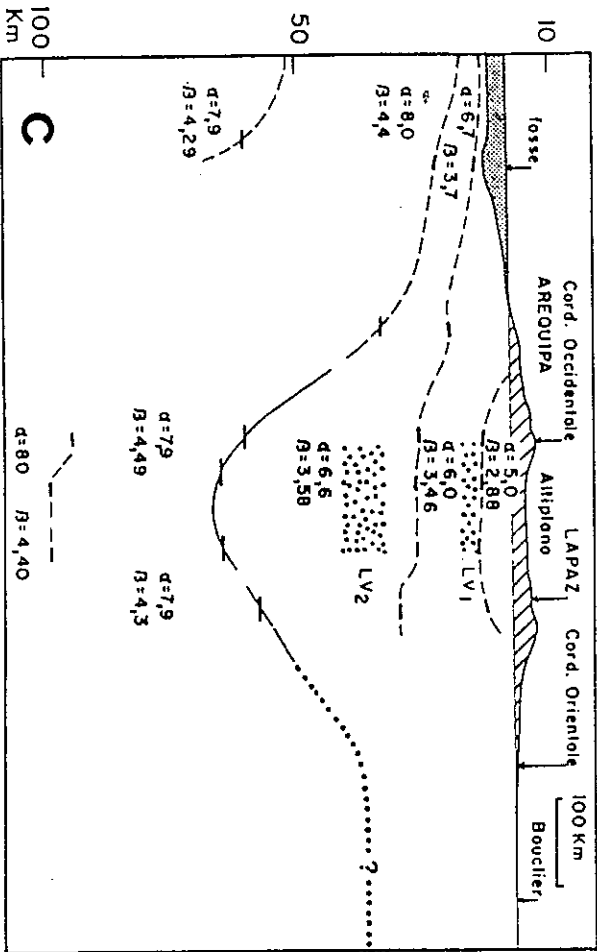
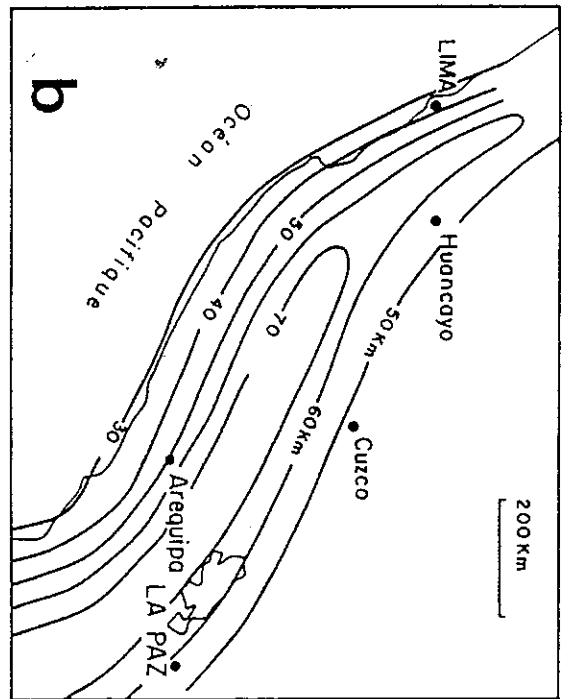
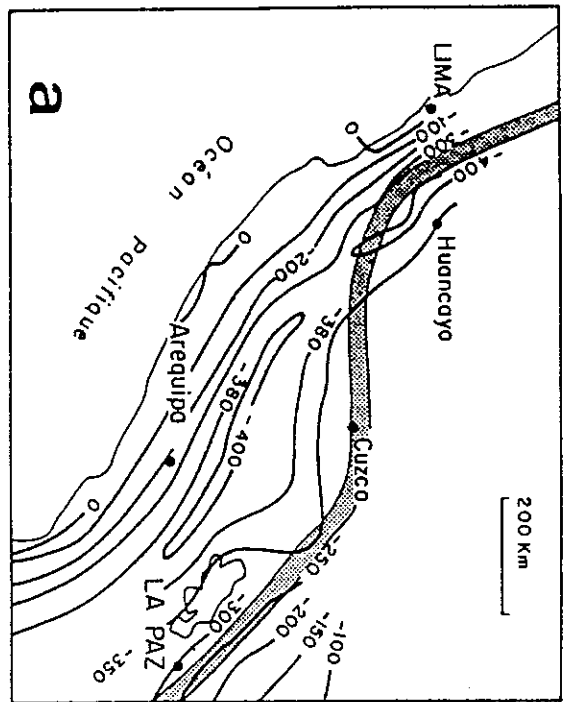
La principale caractéristique de la structure de la lithosphère continentale est la très grande profondeur atteinte par le Moho conduisant à de fortes et rapides variations de l'épaisseur de la croûte. Celle-ci varie de 35km environ à la côte (Luetgert et Meyer, 1981) à plus de 70km sous la Cordillère Occidentale et l'Altiplano. Selon James (1971), la croûte s'amincit ensuite d'une manière moins rapide vers le craton brésilien (50 km sous la Cordillère Orientale); Ocola et Meyer (1972) proposent en outre de placer deux couches crustales à moindre vitesse, qui seraient associées à des zones de fusion crustale (figure I.5c). Cette interprétation se base essentiellement sur des "arrivées tardives" et reste encore hypothétique. Elle est cependant cohérente avec les anomalies de conductivité électrique (Schmucker 1969) dans la croûte et le manteau supérieur, mais les corrélations de ces éléments dans l'espace ne sont pas clairement établies.



Figures 1.4 - Structures de la croûte au Pérou Sud et au Chili : sismique réfraction et gravimétrie.

- a- Localisation des tirs exploités et des sections A-C (Pérou Sud) et A-B (Chili Nord).
- b- Structure proposée pour le Pérou Sud.
- c- Structure proposée pour le Chili Nord.

(D'après Ocola et Meyer, 1973)



Figures I.5 - Structures de la crôte et du manteau supérieur au Pérou Sud et en Bolivie.

a - Anomalies de Bouguer (mgal) sans correction topographique (James, 1971; Deza, 1969) et anomalies de conductivité électrique, en grisé (Schmucker, 1969).

b - Cartes des isobathes du Moho (James, 1971).

c - Structures proposées par James (1971) pour le Pérou Sud et la Bolivie.

LV1 et LV2: couches à faible vitesse placées par Ocola et Meyer (1972).

CONTEXTE GEODYNAMIQUE ET TRAVAUX ANTERIEURS

Il faut noter pour conclure que les résultats de James (1971) sont les seules données disponibles à ce jour pour fixer la profondeur du Moho: les expériences de sismique réfraction n'ont pas permis de détecter d'une manière formelle ce réfracteur en raison surtout (Ocola et Meyer, 1972, 1973), d'une très forte atténuation crustale sous l'Altiplano sud-péruvien et bolivien.

2.2 - Le domaine océanique

La plaque Nazca est limitée (figure I.6) par la fosse Pérou-Chili à l'Est et trois zones actives d'expansion: le rift des Galapagos au Nord, la dorsale Est-Pacifique à l'Ouest et la dorsale du Chili au Sud.

Un grand projet de recherches (IDOE Nazca Plate Project) a permis de rassembler depuis 1971 nombre d'observations nouvelles dont nous retiendrons les plus susceptibles d'avoir des conséquences au niveau de la subduction.

2.2.1 - Mouvements relatifs des plaques

La direction moyenne de convergence des plaques au niveau de la fosse est approximativement Est-Ouest. Plus précisément, les résultats de Minster et al. (1978) permettent de calculer le vecteur déplacement relatif dans notre région d'étude: la plaque Nazca plonge dans une direction d'azimut $N78^{\circ}E$ avec une vitesse relative de 10 cm par an. Du fait de l'orientation de la fosse du Pérou dans cette région, on constate une forte obliquité de la direction de subduction par rapport à cette dernière; la composante parallèle à la fosse y est égale à la composante perpendiculaire (7 cm/an environ dans les deux directions).

2.2.2 - Linéations magnétiques

La distribution des linéations des anomalies magnétiques ainsi que la bathymétrie ont mis en évidence une importante réorientation des centres d'expansion océanique (Herron, 1972; Handschumacher, 1976; Mammerickx et al., 1980; Rea, 1981) entre 25 et 10 Ma B.P.: les rides de Galapagos, Mendoza, Roggeveen, Selkirk (figure I.6) étaient des zones actives d'expansion limitant à l'Ouest la paléo-plaque Farallon. Ce sont aujourd'hui des dorsales fossiles non actives, de nouveaux centres d'expansion se formant pour constituer l'actuelle dorsale Est-Pacifique. Ainsi le matériel océanique plongeant aujourd'hui sous la plaque sud-américaine a été émis au niveau de ces dorsales fossiles. L'âge de la lithosphère subduite au niveau de la

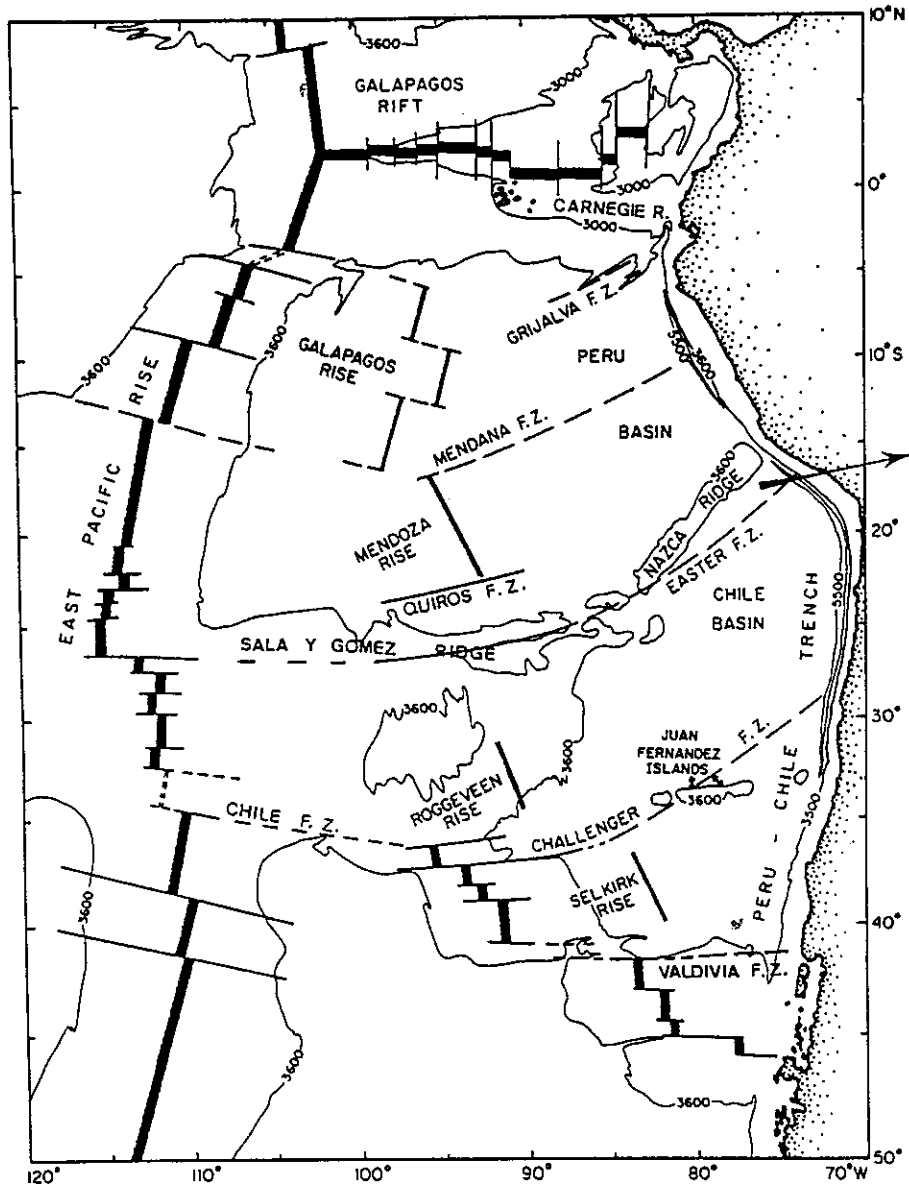


Figure I.6 - La plaque Nazca.

F.Z. : Zones de fracture.



Centres d'expansion actifs (dorsales).

Centres d'expansion fossiles.

La flèche indique la direction de convergence des plaques Nazca et Amérique du Sud au niveau de notre région d'étude, selon Minster et al. (1978).

(D'après Mammerickx et al., 1980)

CONTEXTE GEODYNAMIQUE ET TRAVAUX ANTERIEURS

fosse varie entre 33 Ma (Pérou Nord, Chili Central) et 55 Ma (Pérou Sud, Chili Nord).

2.2.3 - Rides asismiques et zones de fracture.

Nous devons noter quelques structures importantes portées par la plaque Nazca et engagées parfois dans le processus de subduction: des rides asismiques (Nazca, Juan Fernandez, Sala y Gomez), chaînes volcaniques non actives, et des zones de fracture (Mendana, Easter, Challenger, Quiros, Chile, Valdivia), traces fossiles d'anciennes failles transformantes (figure I.6).

On pense que les rides asismiques contribuent à la formation des zones de subduction à faible pendage sous le Pérou Central (ride de Nazca) et sous le Chili Central (ride de Juan Fernandez), du fait de leur relative légèreté. La ride de Nazca, par exemple, est une chaîne atteignant 1500 m d'altitude pratiquement compensée isostatiquement par une racine crustale dépassant 15 km de profondeur (Couch et Whitsett, 1981: Figure I.7).

L'origine de la ride de Nazca est associée (Handschumacher et al., 1981) au "point chaud" localisé près de l'île de Pâques (Morgan, 1971). Celui-ci aurait formé également l'alignement de l'archipel des Tuamotu, sur la plaque Pacifique. La ride de Sala y Gomez a dans ce modèle la même origine, mais sa formation est postérieure à la grande réorganisation miocène de la dorsale du Pacifique Est: cela explique le changement de direction entre les rides de Nazca et de Sala y Gomez. La figure I.8 montre la reconstruction proposée par Pilger et Handschumacher (1981).

Les zones de fracture limitent des secteurs de lithosphère océanique d'âges différents, en relation avec les taux d'expansion aux différents segments correspondants de la dorsale active. Les zones de fracture atteignant la fosse Pérou-Chili ont conservé la direction d'expansion SW-NE antérieure à la réorganisation de la plaque Farallon.

Wortel et Vlaar (1978) insistent sur le rôle important que doit jouer dans le processus de subduction l'âge de la lithosphère océanique subduite (voir aussi Molnar et Atwater, 1978): une lithosphère plus ancienne est plus froide, plus dense et plus épaisse, donc plus facilement entraînée sous l'effet de la gravité dans une zone de subduction. Selon ces auteurs, la différence d'âge associée à la zone de fracture de Pâques (Easter F.Z., figure I.6), jointe au fort changement de direction de la fosse au Sud Pérou, contribue à une très nette variation de pendage de la zone de subduction à ce niveau (§ 2.3.1).

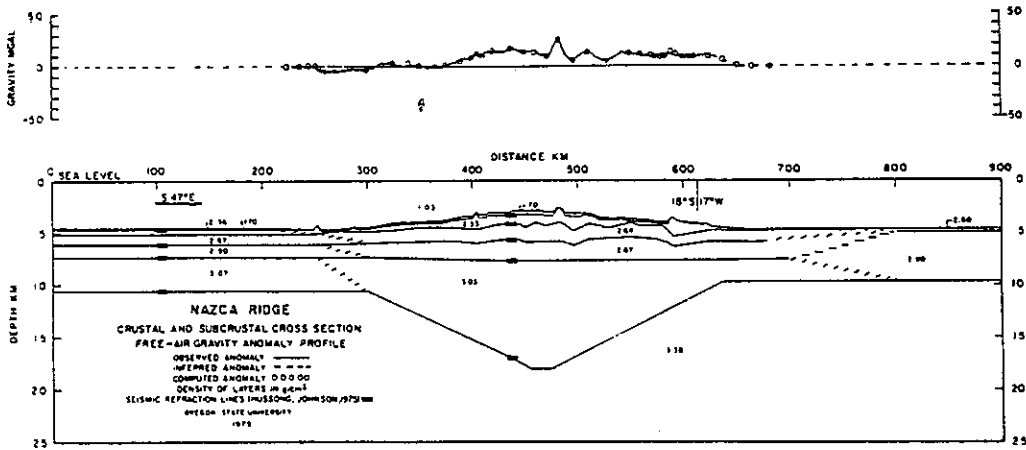


Figure I.7 - Coupe transversale de la ride de Nazca.
(D'après Couch et Whitsett, 1981)

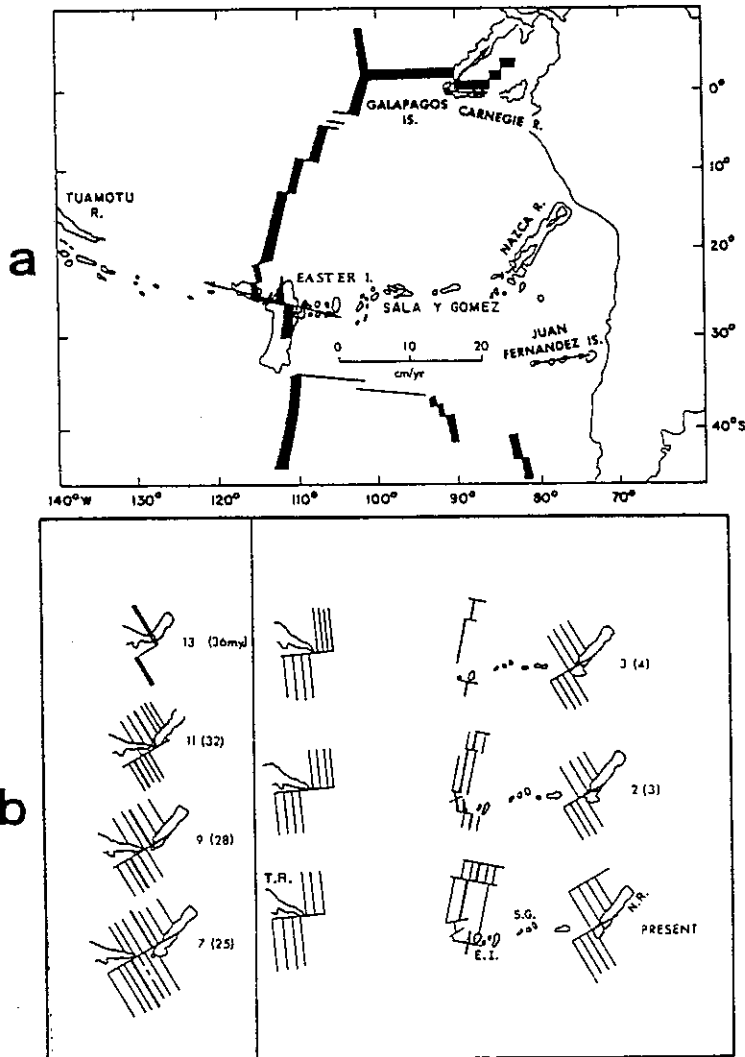


Figure I.8

Origine de la ride de Nazca,
selon Handschumacher et al. (1981).

- a) Situation géographique des rides asismiques.
- b) Modèle de Pilger et Handschumacher (1981) associant la formation des rides océaniques au point chaud de l'île de Pâques.

CONTEXTE GEODYNAMIQUE ET TRAVAUX ANTERIEURS

2.2.4 - Structures de la fosse et de la marge continentale.

Le dépouillement des nombreux profils sismiques réalisés par IDOE Nazca Plate Project et des données gravimétriques a permis de préciser nos connaissances sur les structures "off shore" et les relier aux observations faites sur le continent (§ 2.1).

Ces travaux apportent des informations complémentaires pour déterminer le processus majeur de subduction au niveau de la marge continentale. La figure I.9 illustre les deux cas extrêmes envisagés (Coulbourn, 1981): 1) accrétion des sédiments formant un prisme d'accrétion surajouté à la marge continentale ou 2) érosion tectonique de la marge où les sédiments et des fragments de croûte continentale érodés sont emportés par la subduction.

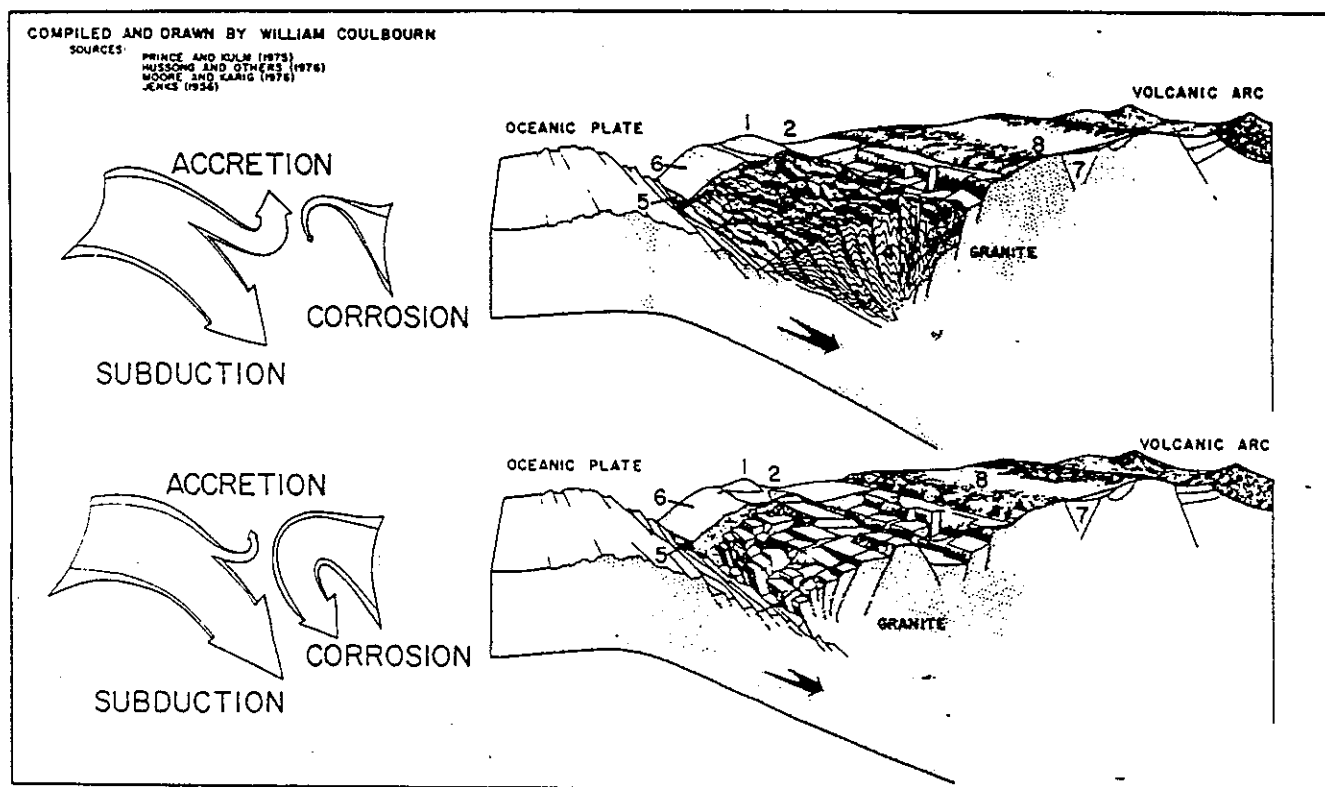


Figure 17. Accretionary and erosional end members for convergent continental margins. Arrows indicate relative amounts of material subducted, accreted, or corroded (that is, tectonically eroded). Key: 1, structural high; 2, forearc basin; 3, block-faulted continental rock; 4, accretionary prism; 5, trench-axis turbidites; 6, deformed and dewatered hemipelagic sediments of the continental margin; 7, Mesozoic sediment; 8, coastal batholith.

Figure I.9 - Les deux situations extrêmes envisageables au niveau d'une marge continentale active.

- a - Accrétion sur la marge;
- b - Erosion tectonique de la marge.

(D'après Coulbourn, 1981)

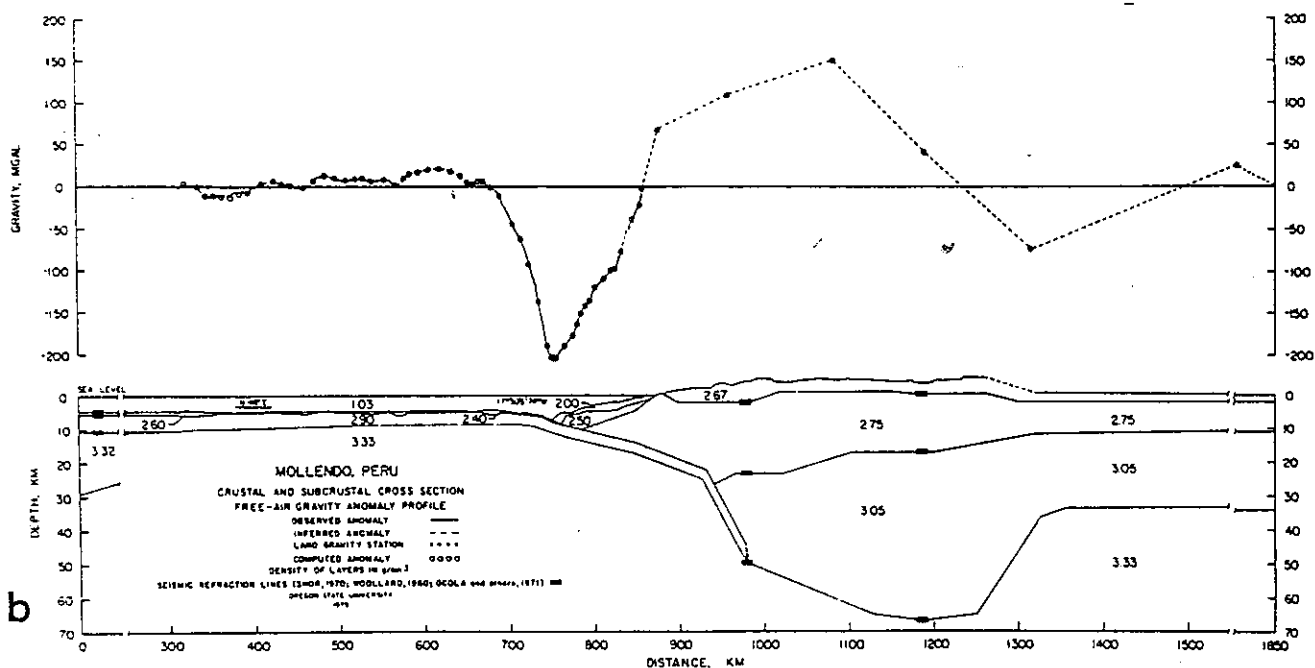
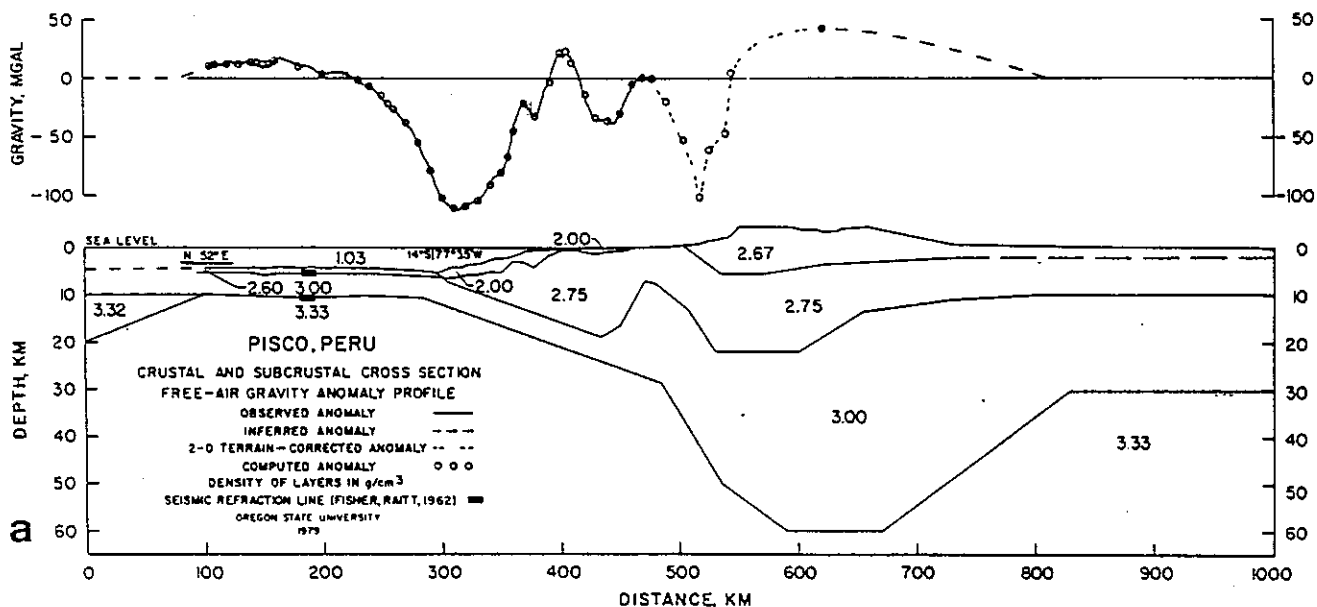


Figure I.10 - Structures de la croûte au Sud Pérou: données océaniques et données continentales.

a) Transversale PISCO (14° S): Azimut $N 52^{\circ}$ E.

b) Transversale MOLLENDO (17° S): Azimut $N 46^{\circ}$ E.

Dilatation d'échelle verticale: 4:1

(D'après Couch et al., 1981)

CONTEXTE GEODYNAMIQUE ET TRAVAUX ANTERIEURS

Une synthèse proposée par Couch et al. (1981) sur six sections entre 9°S et 38°S de latitude montre en particulier que le matériel sédimentaire couvre sur la marge continentale une superficie variant très peu le long de celle-ci (300 à 500 km²) et réduite à 30 % de celle fournie par un calcul dans le modèle d'accrétion (1200 km²). En outre, le socle continental cristallin est toujours présent à plus de 50 km au large de la côte; ce dernier enfin affleure largement sur la côte en particulier au Sud Pérou (Massif d'Arequipa). La figure I.10 montre les coupes proposées par Couch et al. (1981) sur deux transversales voisines de notre région d'étude en liaison avec les données continentales. Notons qu'elles permettent de mieux définir les structures de la zone côtière (comparer les figures I.10a et I.4b).

Il semble donc que le processus d'érosion tectonique au niveau de la marge continentale ait dominé, au moins par épisodes, au cours du temps. Cette hypothèse est cohérente avec les observations de James (1981) mettant en évidence un enrichissement des magmas andins en éléments traces d'origine sialique nécessitant selon lui un apport extérieur de matériel crustal. Ce même processus peut également expliquer le remarquable épaississement de la croûte inférieure, lequel serait ainsi réalisé par la base. Pour expliquer certaines particularités géologiques, Rutland (1971) avait déjà émis cette hypothèse d'érosion du continent sur sa marge, au niveau du Chili Nord, en associant la subduction d'un morceau du bord du continent à chaque phase compressive orogénique.

2.3 - La sismicité.

2.3.1 - Répartition spatiale de la sismicité.

Plusieurs auteurs ont exploité les localisations faites par les Centres Sismologiques à partir des données du réseau mondial (WWSSN).

Barazangi et Isacks (1976), par un choix sévère d'évènements bien localisés, confirment le modèle de Isacks et Molnar (1971), repris par Stauder (1973, 1975), d'une lithosphère océanique segmentée en cours de subduction, les segments présentant des angles de plongement différents (figure I.11).

Ce modèle a été contesté par Snoke et des chercheurs du groupe Carnegie (Sacks, James, Okada); ces auteurs se basent sur l'étude de phases converties (ScS en P) sur la limite supérieure de la lithosphère plongeante

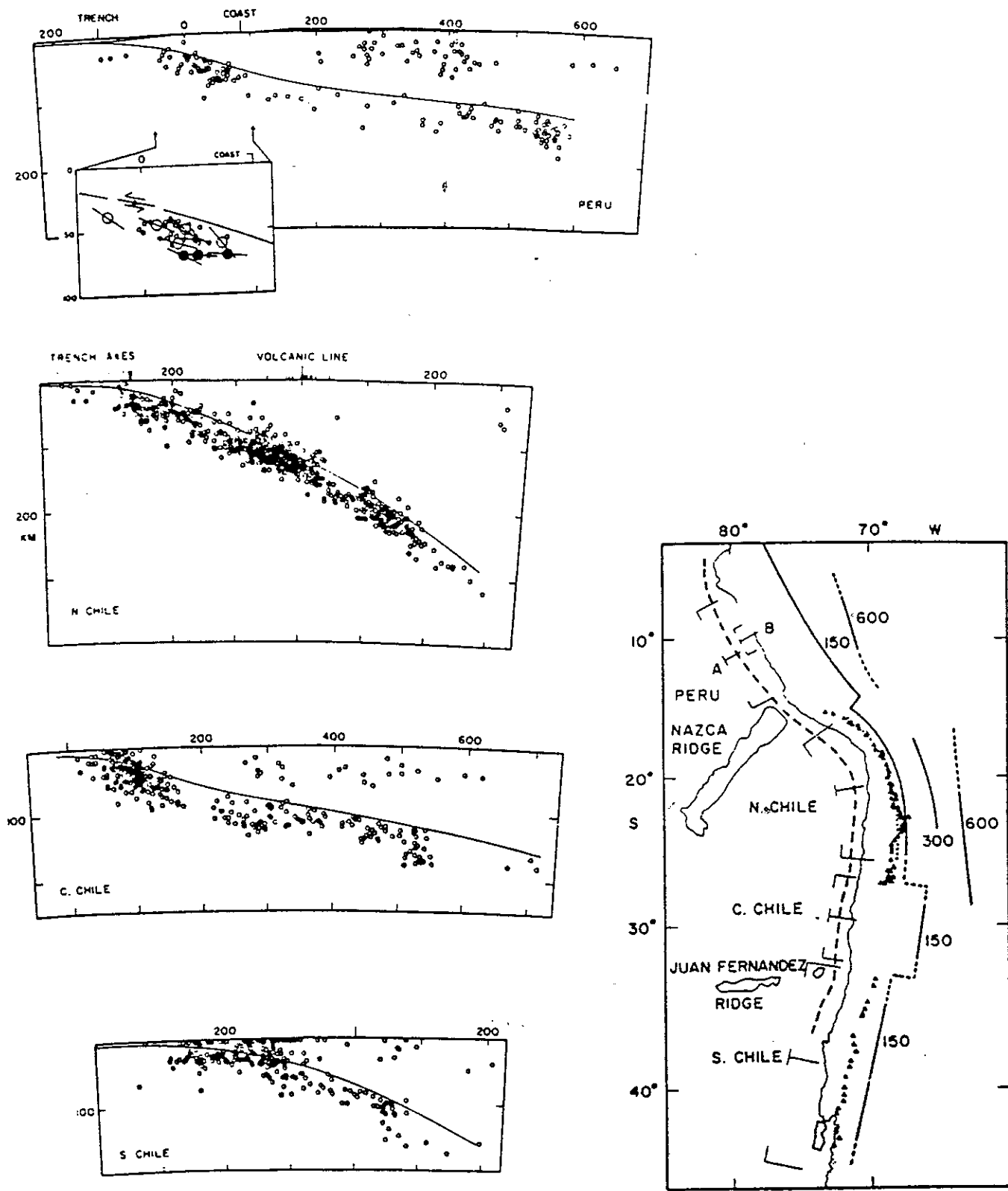


Figure I.11 - Segmentation de la plaque Nazca en cours de subduction, telle que l'indique la géométrie de la zone de Wadati-Benioff.

Noter la corrélation entre les segments présentant le plus fort pendage et la distribution des volcans récents (triangles sur la carte).

Les contours sur la carte indiquent les profondeurs (en km) de la zone sismique et correspondent aux tracés lissant le sommet de la zone sur les coupes.

(D'après Isacks et Barazangi, 1976)

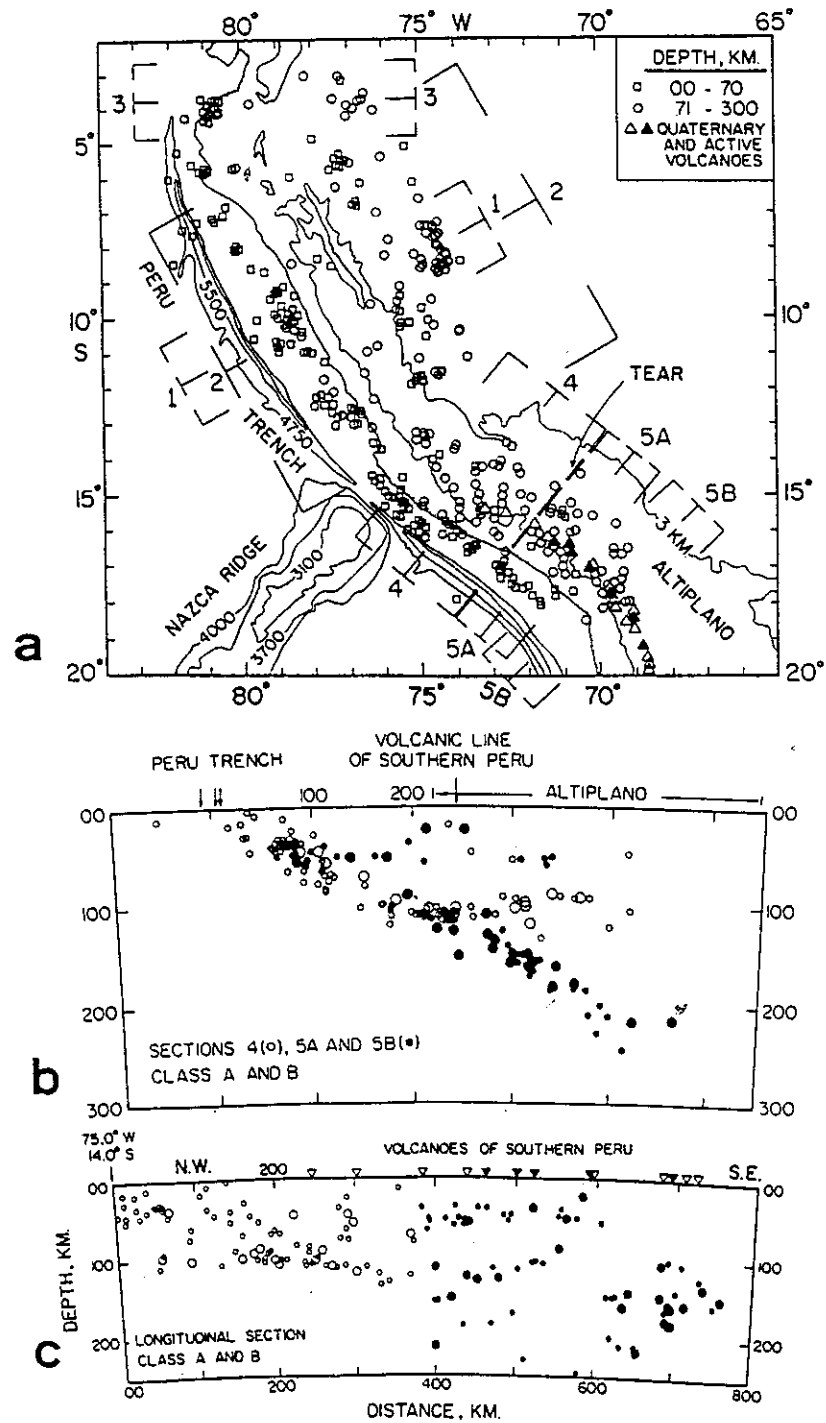


Figure I.12 - Sélection des séismes du Pérou les mieux localisés et déchirure de la plaque plongeante au Sud (TEAR). Données du réseau mondial WWSSN (Isacks et Barazangi, 1976; Barazangi et Isacks, 1979).

Les points noirs dans les coupes b et c distinguent les séismes du SE de la déchirure (carte a) de ceux du NW .

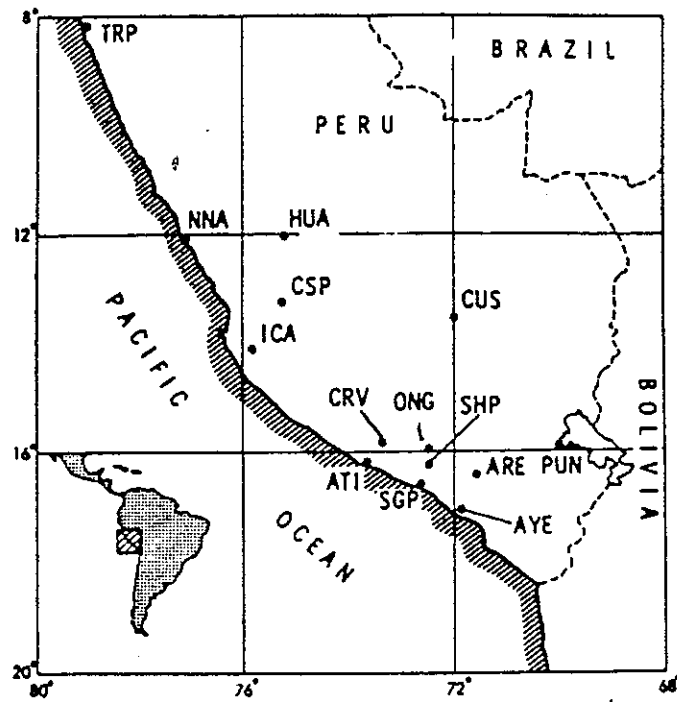
(Snoko et al., 1977; James, 1978; Snoko et al., 1979) ainsi que sur la distribution, en profondeur du facteur de qualité (Sacks et Okada, 1974). Ils proposent un modèle de subduction uniforme avec un pendage normal de 30° environ le long de la marge. Cela conduit à postuler: 1) une activité intermédiaire (100 à 150 km de profondeur) au sein d'une lithosphère continentale très épaisse (200 à 300 km) au Pérou Central et 2) une zone asismique dans la plaque plongeante au dessous de 100 km.

Barazangi et Isacks (1979) confortent leurs conclusions en classant les événements retenus suivant la qualité de leur localisation. Plus particulièrement, ils mettent en évidence au Sud Pérou une déchirure nette ("major tear") de la plaque Nazca sous le continent sud-américain: la zone sismique plonge d'un angle très faible (10° à 15°) au NW de celle-ci et montre un pendage "normal" (30°) au SE (figure I.12).

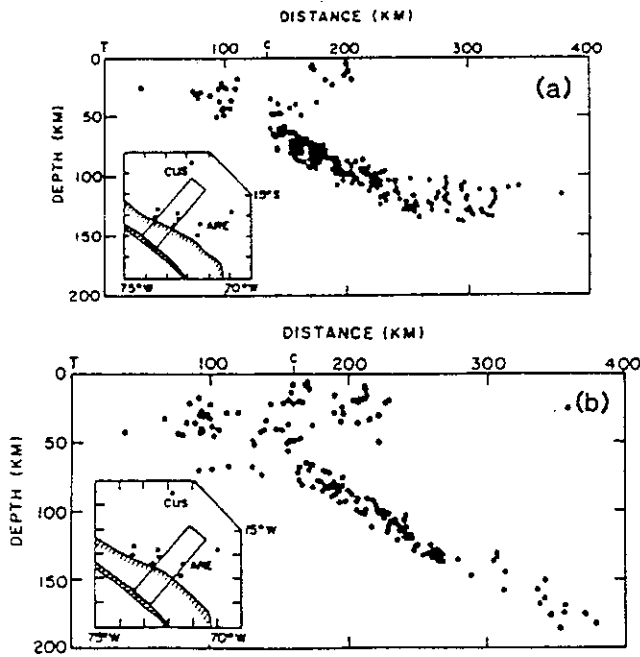
Il importe de pouvoir trancher en détaillant aussi précisément que possible la géométrie de la zone de Benioff. En effet, plusieurs travaux tentent de corréliser avec cette dernière des observations de surface: métallogénèse (Sillitoe et al., 1972), pétrogénèse (Lefèvre, 1973; James, 1978, 1981; Amossé et Audebaud, 1978; Audebaud, 1973), tectonique (Mégard et Philip, 1976).

Il faut à ce stade exploiter les données d'un réseau local. Ainsi Hasegawa et Sacks (1981) révisent le modèle de Snoko et al. en s'appuyant sur les données d'un réseau local de 9 stations mis en oeuvre en 1965 par l'Observatoire de Characato (AREQUIPA) (Figure I.13a). Les événements ont été relocalisés en évaluant des corrections source-stations. La figure I.13b montre les coupes obtenues. Ces auteurs proposent un compromis en adoptant pour la zone controversée un modèle de subduction uniforme (angle de plongement de 30°) jusqu'à 100 km de profondeur. La zone de Benioff devient ensuite subhorizontale au niveau du Pérou Central (figure I.13c). La déchirure mise en évidence par Barazangi et Isacks est alors interprétée comme une torsion rapide de la plaque à ce niveau.

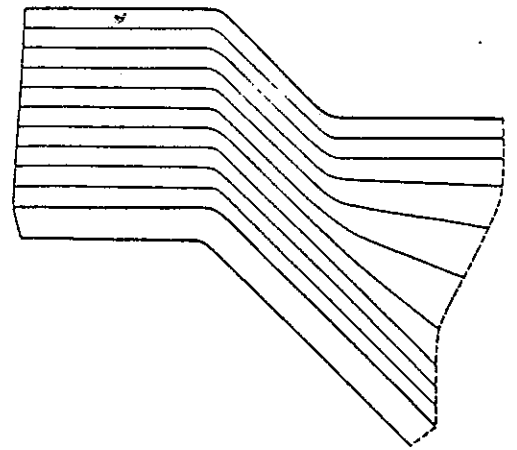
Sous une profondeur variant de 150 km environ au Pérou Central à 300 km environ au Chili, l'activité intermédiaire disparaît pratiquement; entre 500 et 600 km de profondeur sous cette lacune de sismicité, l'activité profonde est concentrée en deux bandes principales remarquablement linéaires (carte de la figure I.11). De fait, Wortel et Vlaar (1978) observent que l'activité profonde doit se manifester lors de la subduction d'éléments de lithosphère océanique d'âge au moins égal à 70 Ma à leur



a) Réseau d'Arequipa (1965).



b) Coupes transversales de sismicité.



c) Modèle de subduction proposé.

Figure I.13 - Etude de la zone de subduction au Sud Pérou avec le réseau d'Arequipa (Hasegawa et Sacks, 1981).

arrivée à la fosse: seules les zones précitées remplissent selon ces auteurs les conditions requises.

La question de la continuité de la lithosphère océanique au niveau de la lacune de sismicité est encore controversée (Isacks et Barazangi, 1973; Snoke et al., 1974; Stauder, 1975; Wortel et Vlaar, 1978). Ainsi Wortel et Vlaar (1978) estiment comme Stauder (1975) que la partie Nord de la sismicité profonde (section "PERU" de la figure I.11) peut être associée à un morceau isolé de lithosphère qui se serait détaché lors d'une étape antérieure de la subduction.

2.3.2 - Les mécanismes au foyer.

Après l'étude générale faite par Isacks et Molnar (1971), concernant surtout la zone de Benioff, Stauder (1973, 1975) présente une nouvelle synthèse des mécanismes au foyer de séismes du Pérou et du Chili, pour une période s'étendant de 1962 à 1973. Les solutions focales sont déterminées avec les ondes de volume (premier mouvement des ondes P et direction de polarisation des ondes S) à partir des enregistrements longue période du réseau mondial. Les localisations retenues sont celles du Centre Sismologique International.

a) Mécanismes de la zone de subduction.

J'ai réuni en figure I.14 l'ensemble des solutions focales individuelles obtenues pour des séismes intermédiaires et profonds par divers auteurs (Ochoa et Stauder, 1963; Isacks et Molnar, 1971; Stauder, 1973, 1975).

Nous observons avant tout la très inégale répartition des informations disponibles, en relation d'ailleurs avec la sismicité elle-même: nombreuses et assez cohérentes au SE de notre zone d'étude, elles deviennent très éparées au NW, où la subduction dessine une zone quasi-horizontale.

Dans l'ensemble, les mécanismes révèlent une extension le long de la direction de plongement de la zone sismique jusqu'à 150 à 250 km de profondeur puis, au dessous de la lacune de sismicité, une compression parallèle à la direction de plongement de la zone entre 500 et 600 km de profondeur. On retrouve le modèle de subduction basé sur l'entraînement par gravité de la plaque subduite, laquelle rencontre en profondeur la résistance de la mésosphère (Isacks et Molnar, 1971).

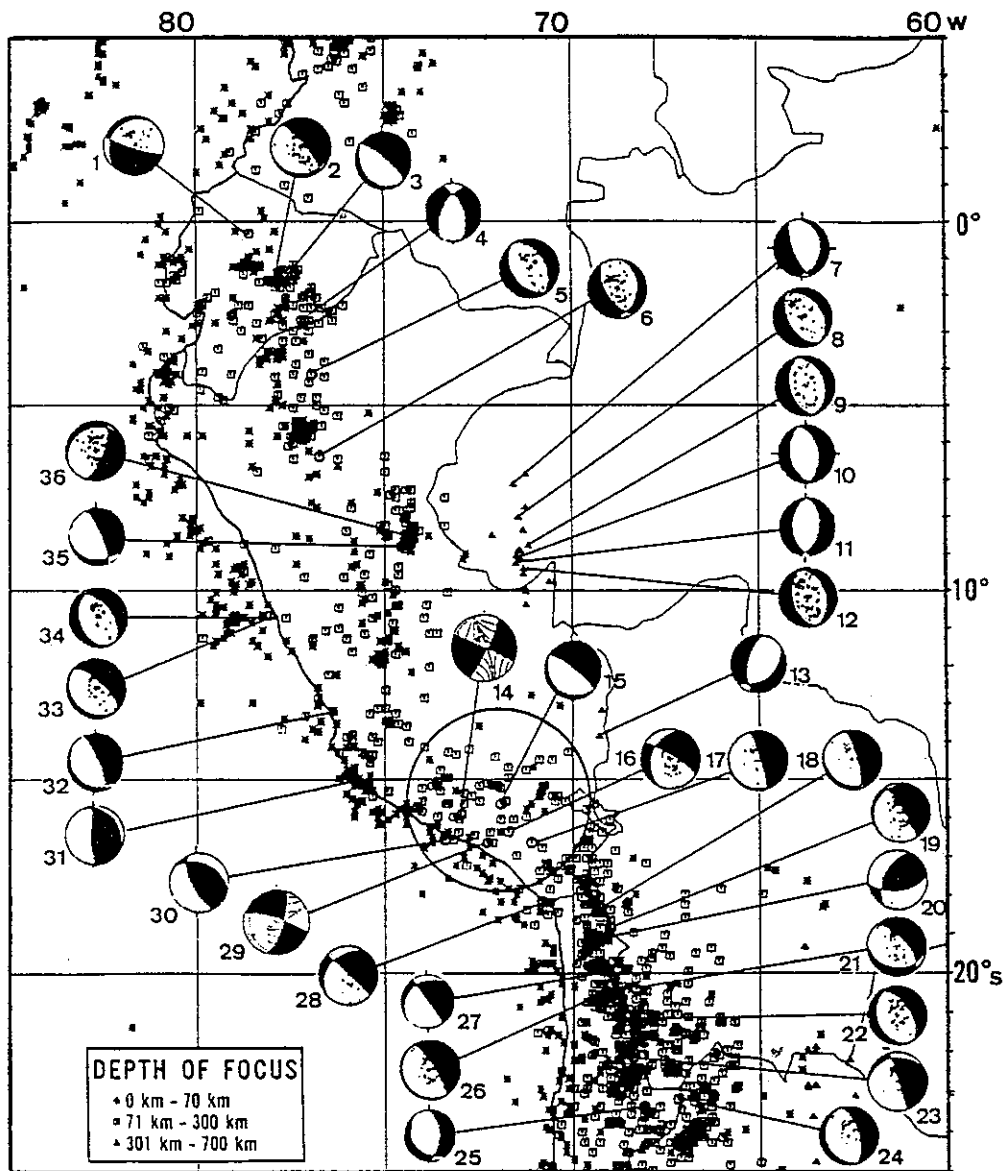


Figure I.14 - Solutions focales individuelles pour les séismes intermédiaires et profonds. Données du réseau mondial WWSSN.

Les aires noires correspondent aux quadrants de premiers mouvements en compression (i.e. extension à la source). Projection équatoriale de l'hémisphère inférieur.

Notre région d'étude est délimitée par le grand cercle (Sud Pérou).

Carte de sismicité: NEIC 3014, U.S. Department of Commerce (1961 à 1968).

Solutions focales: Ochoa et Stauder (1963); Isacks et Molnar (1971); Stauder (1973, 1975).

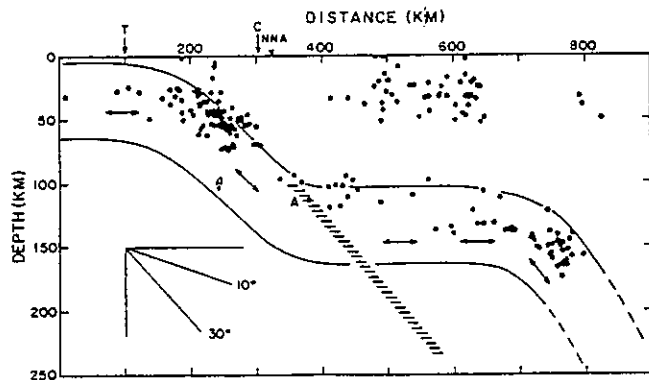


Figure I.15 - Modèle proposé par Hasegawa et Sacks (1981) pour la zone de subduction au niveau du Pérou Central (section 2 sur la carte de la figure I.12a).

Synthèse réalisée à partir de Stauder (1975), Snoke et al. (1977, 1979) et Hasegawa et Sacks (1981). La zone hachurée montre le pendage du plan de conversion des phases ScS en P (Snoke et al., 1979).

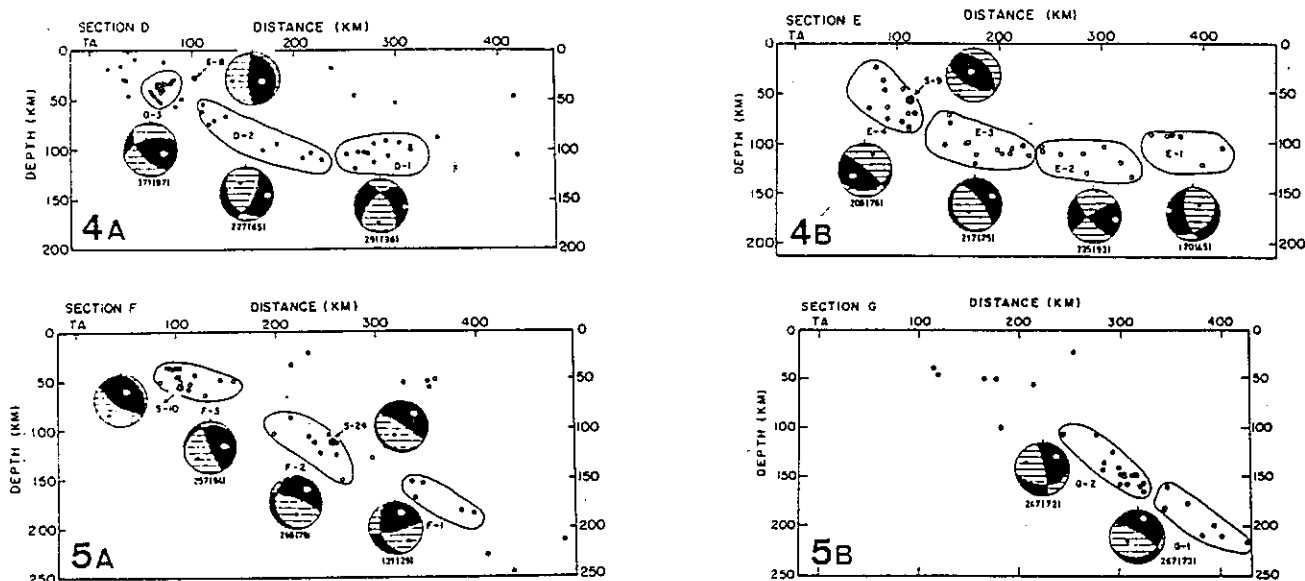


Figure I.16 - Mécanismes composites pour des séismes intermédiaires au Sud Pérou. Données du réseau mondial WWSSN (Hasegawa et Sacks, 1981).

Les numéros des coupes présentées (4A, 4B, 5A, 5B) renvoient aux sections localisées sur la carte de la figure I.12a.

Les solutions focales composites sont des projections sur un plan horizontal de l'hémisphère inférieur. Les aires noires correspondent aux quadrants de compressions (point blanc: axe T; point noir: axe P).

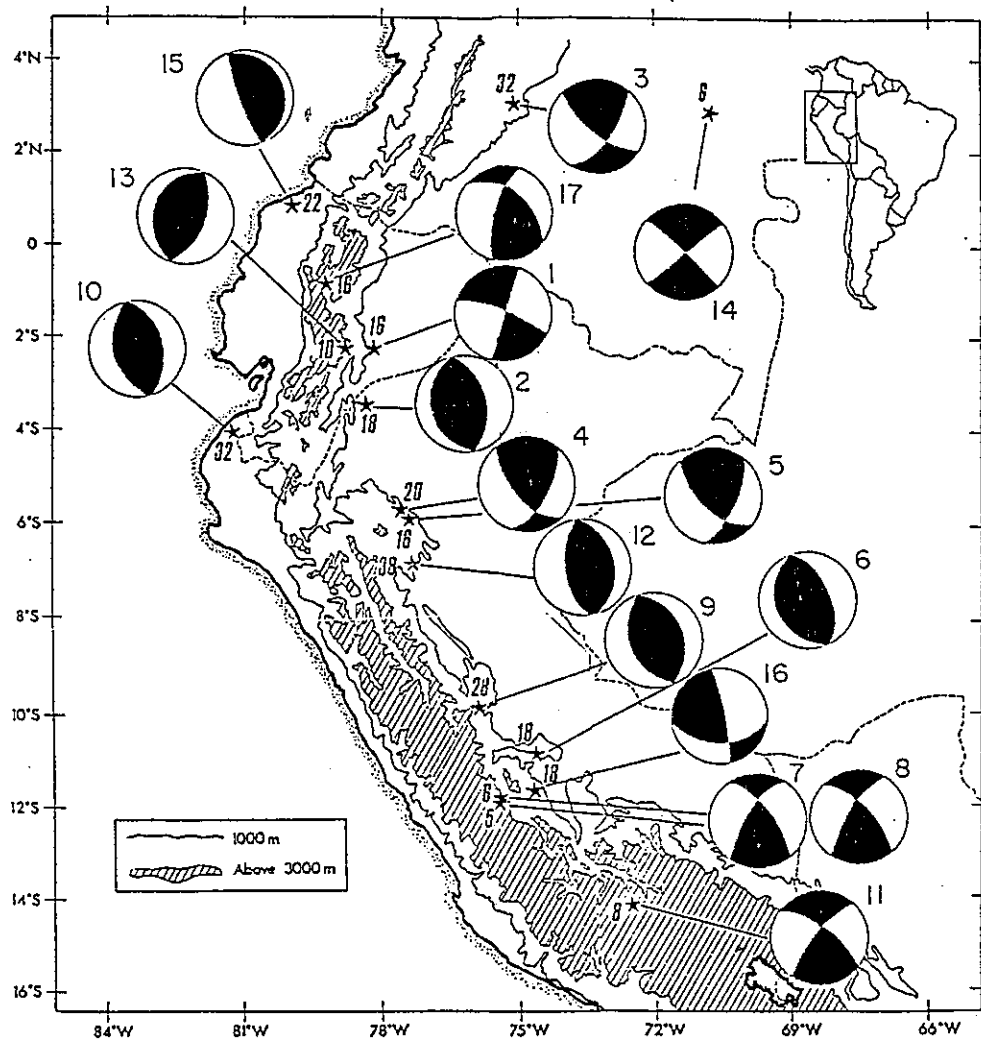


Figure I.17 - Solutions focales individuelles obtenues pour des séismes crustaux intracontinentaux (Suarez et al., 1982).

Révision de solutions individuelles de Stauder (1975) et Grange (1980) et nouvelles solutions: comparaison de trains d'ondes synthétiques avec les enregistrements LP du WWSSN (Suarez et al., 1982).

Projections  quiar ales de l'hémisphère inférieur. Les aires noires sont les quadrants de compressions (extension à la source).

Nous pourrions admettre que ce modèle (bidimensionnel) constitue le contexte dynamique régional de notre étude; les effets latéraux d'origines diverses (courbures de la fosse, ruptures ou torsions de la plaque subduite, hétérogénéités de masses,...) vont se superposer à ce modèle et pourront susciter une approche tridimensionnelle du problème, si les observations le permettent. Ainsi la solution 20 (figure I.14) indique une compression latérale au sein de la plaque: un tel effet peut être provoqué par la forte courbure de la fosse à ce niveau; la solution 1 marque probablement un effet de la transition limitant au Nord le segment péruvien subhorizontal de la zone sismique.

Les observations relatives à notre région d'étude (localisée sur la figure I.14 par un cercle) montrent une grande dispersion (solutions 14 à 17, 29, 30). Le séisme profond 13 indique lui-même, par rapport au groupe 7-12 très cohérent, une réorientation de la plaque subduite (Stauder, 1975). Il n'est pas surprenant d'observer ces anomalies à un endroit où la sismicité révèle une discontinuité majeure dans la géométrie de la zone de subduction, mais un plus grand nombre de solutions focales est nécessaire pour proposer une explication.

La très nette diminution de la sismicité intermédiaire au niveau du Pérou Central conduit à rendre très incertaine notre connaissance de l'état des contraintes dans la zone de subduction au NW de notre région d'étude. Hasegawa et Sacks (1981) ont tenté de combler cette lacune par une approche statistique, en réalisant des mécanismes composites. Ils réunissent ainsi des observations cohérentes avec les conclusions de Stauder (1975) pour le Pérou Central (section 2 figure I.12a): les axes d'extension suivent, dans des directions parallèles au plongement de la plaque, la géométrie de cette dernière (figure I.15).

La figure I.16 montre leurs résultats pour le Pérou Sud (sections 4 et 5 figure I.12a) où les solutions individuelles font défaut. Sans accorder une confiance démesurée aux mécanismes eux-mêmes, nous retiendrons ces informations qui constituent, pour le moins, une bonne compilation d'un grand nombre de données. Nous pouvons noter, à l'endroit même de la transition, des anomalies par rapport au schéma simple d'extension (composites D-1, E-2, F-1, figure I.16).

b) Les séismes superficiels intracontinentaux.

Les séismes intracontinentaux de la croûte présentent un intérêt tout particulier pour notre étude car

CONTEXTE GEODYNAMIQUE ET TRAVAUX ANTERIEURS

ils sont directement associés à l'état des contraintes dans la lithosphère en arrière de la fosse. Toutes les observations de Stauder (1975) révèlent un régime de compression horizontale approximativement E-W et concernent pour la plupart, le domaine subandin.

Toutefois, l'incertitude sur les localisations faites par les centres internationaux affecte tout particulièrement la profondeur des séismes superficiels. De plus, la couverture azimutale est souvent très lacunaire et les mécanismes obtenus sont alors peu contraints. Suarez et al. (1982) ont entrepris de revoir et de compléter le catalogue de Stauder des séismes superficiels. Ils procèdent par comparaison de train d'ondes P synthétiques avec les enregistrements longue période du WWSSN, pour diverses profondeurs et solutions focales. Cette approche a été utilisée par ailleurs (Chinn et al. 1982, Malgrange et Madariaga, 1980; Jordan et al., 1982) et permet d'obtenir des résultats bien mieux contraints.

La figure I.16 rassemble les séismes ainsi traités pour les Andes Centrales. La plupart des séismes étudiés sont relatifs à la transition entre la Cordillère Orientale et la zone subandine: ils indiquent une compression générale E-W provoquant des failles inverses assez raides plongeant vers l'Ouest. Leurs profondeurs (16 à 38 km) montrent que la déformation cassante s'exerce pour l'essentiel dans le socle. Suarez et al. (1982) ne reportent que 3 séismes intracontinentaux dans les hauts reliefs des Andes Centrales péruviennes. Ils présentent des mécanismes de coulissage avec un axe de compression E-W.

Il reste à relier ces données aux observations de surface qui indiquent le plus souvent une extension. Par exemple Dalmayrac et Molnar (1981) interprètent l'existence de failles normales parallèles à la chaîne, affectant les hauts reliefs (Cordillère Blanche) comme les effets du bombement et de l'épaississement de la croûte résultant eux-mêmes du raccourcissement crustal important de cette région.

3 - POUR RESUMER...

3.1 - Premières conclusions

Parmi les points les plus significatifs de la marge andine, nous retiendrons essentiellement:

- La segmentation de la plaque Nazca au cours de sa subduction, bien corrélée avec la répartition du volcanisme quaternaire et actuel: celui-ci est pratiquement absent dans les régions où le pendage de la zone sismique est faible.

- La présence d'une transition majeure dans la géométrie de la zone de Benioff au niveau du Sud Pérou.

- La complexité de la répartition des déformations cassantes au sein de la croûte en arrière de la fosse: il semble qu'à une géométrie de subduction subhorizontale soit corrélée une ambiance générale compressive de direction E-W; elle se manifeste surtout par des séismes à la limite du subandin et la Cordillère Occidentale, mais aussi vers la côte. Au Pérou Sud, la tectonique actuelle montre un contexte général en extension suivant une direction N-S, au dessus d'une zone de subduction "normale". Corrélativement, l'activité sismique en zone subandine se réduit considérablement et l'Altiplano prend place.

A ce niveau de détail, on constate que les données du réseau mondial font défaut pour préciser l'état des contraintes et en particulier au Sud du Pérou. On notera de même que l'on ne dispose d'aucune solution focale associée à la transition majeure mise en évidence par Barazangi et Isacks (1979) et Hasegawa et Sacks (1981) dans la plaque plongeante.

3.2 - Objectifs

D'une manière générale, il s'agit de préciser, à l'aide des données sismiques d'un réseau local, les problèmes mal résolus par les seules données du réseau mondial.

3.2.1 - Etudes de la sismicité superficielle de la croûte continentale.

Les données disponibles concernent surtout la zone subandine et la région de Huancayo. Plus au Sud, la sismicité crustale n'est pas absente (Sacks et al., 1978, Hasegawa et Sacks, 1981), mais les observations sont très diffuses et on ne possède aucune solution focale pour ces

CONTEXTE GEODYNAMIQUE ET TRAVAUX ANTERIEURS

séismes.

Nous souhaitons déterminer avec précision les zones de la croûte sismiquement actives et tenter d'apporter une réponse aux questions suivantes: existe-t-il des failles majeures actives en arrière de la fosse ? Si oui, comment jouent-elles ? Peut-on les relier aux observations de surface ? Comment s'effectuent les transitions entre les failles inverses et normales observés, en surface comme en profondeur ?

3.2.2 - Etude de la zone de Wadati-Benioff.

Le premier objectif est de tracer avec la plus grande précision possible la configuration en profondeur de la zone sismique. Notre région d'investigation, au Sud du Pérou, chevauche la transition où la plaque voit son pendage varier très rapidement. Hasegawa et Sacks (1981) ont franchi un pas important dans cette voie; nous souhaitons affiner ces observations grâce à un nombre élevé d'évènements bien localisés, mais aussi grâce aux mécanismes focaux qui, le long d'une telle transition, doivent s'écarter du schéma général. Plus généralement, nous voulons étudier les variations du champ de contraintes dans la plaque plongeante en fonction de la profondeur. Nous souhaitons enfin avoir une idée précise de l'épaisseur de la zone de Benioff et déceler, éventuellement, l'existence d'un dédoublement en deux plans au sein de la plaque, tel qu'on l'observe dans d'autres zones de subduction (Aléoutiennes: Engdahl et Scholz, 1977 et Japon: Hasegawa et al., 1978).

3.3.3 - Etude des structures.

Grâce aux séismes intermédiaires, nous voulons parvenir à une meilleure connaissance de la structure au dessus de la zone de Benioff. En particulier l'étude détaillée des enregistrements magnétiques digitaux permettra de déterminer le facteur de qualité des structures traversées par les rais: il est important de connaître le comportement du manteau supérieur dans cette région où la subduction présente des caractères très particuliers.

C H A P I T R E . I I
A C Q U I S I T I O N ⁹ E T M I S E E N F O R M E
D E S D O N N E E S

1 - LES CAMPAGNES D'ENREGISTREMENTS.

1.1 - Campagne 1980.

1.2 - Campagne 1981.

2 - LES INSTRUMENTS.

3 - LE DEPOUILLEMENT.

4 - ESTIMATION DES ERREURS DE LECTURES.

4.1 - Les causes d'erreurs.

4.2 - En pratique...

4.3 - En conclusion.

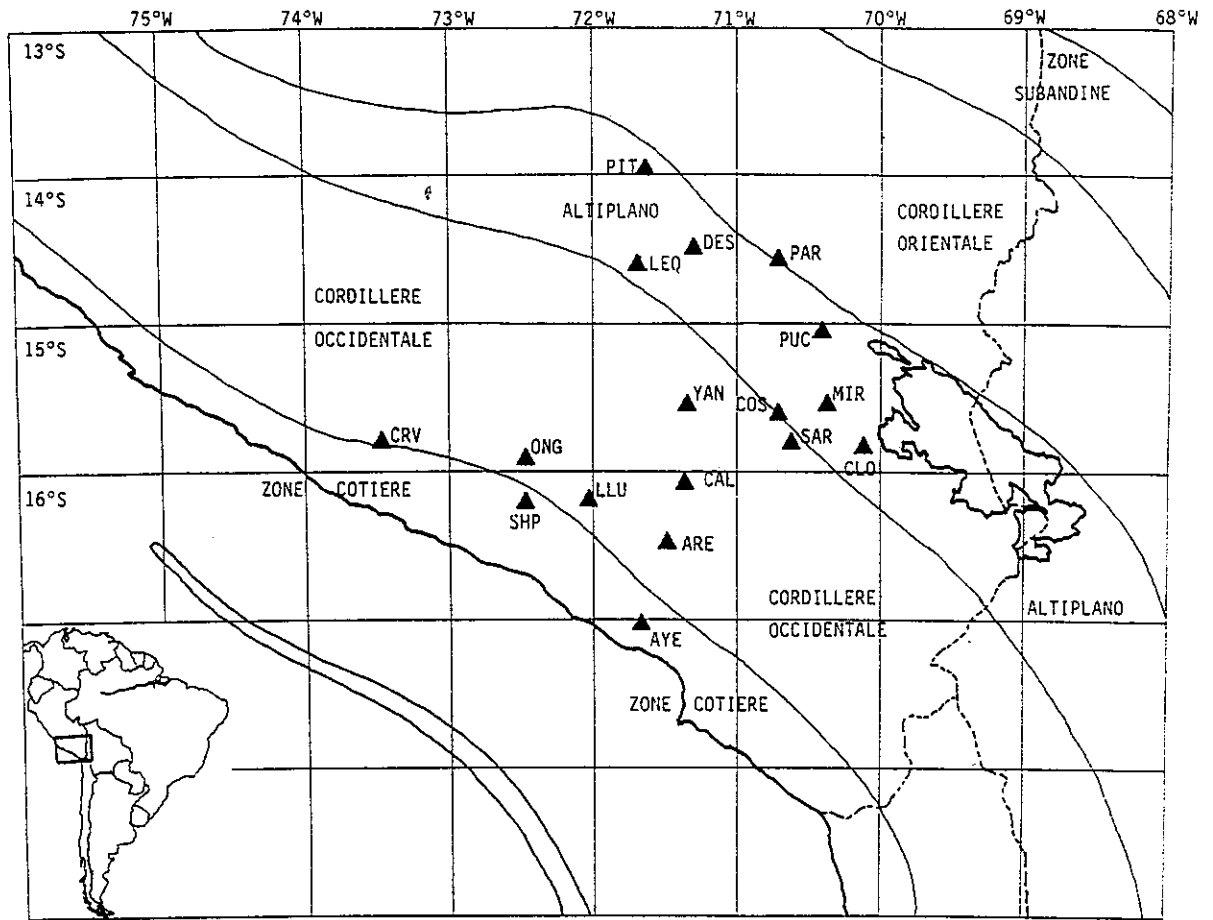


Figure II.1 - Réseau 1980.

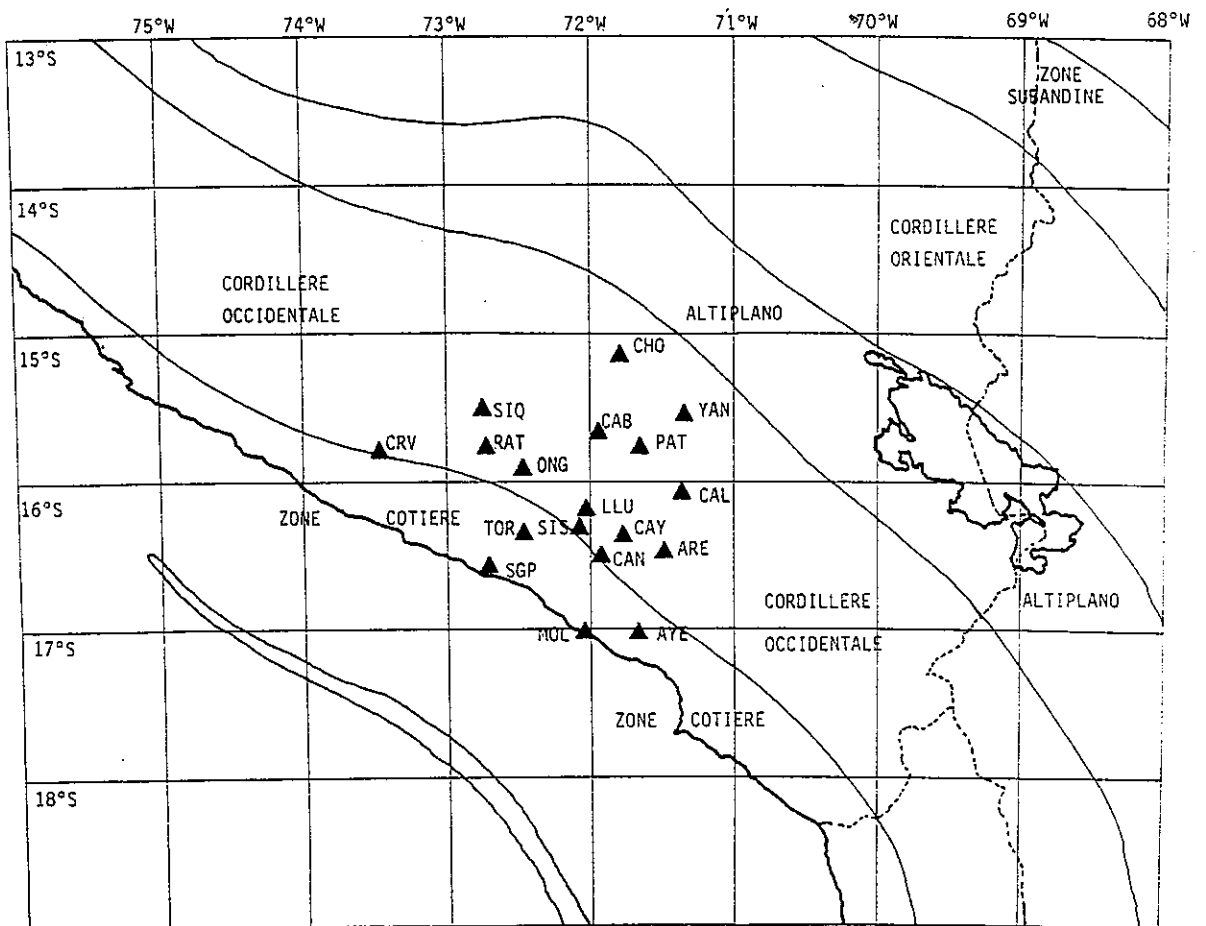


Figure II.2 - Réseau 1981.

ACQUISITION ET MISE EN FORME DES DONNEES

1 - LES CAMPAGNES D'ENREGISTREMENTS.

1.1 - Campagne 1980.

La campagne de 1980 a permis de mettre en oeuvre un réseau de 17 stations sur les sites suivants (carte figure II.1):

Station	Latitude S	Longitude W	Altitude
PIT	13° 56.90'	71° 38.14'	3900 m
DES	14° 28.83'	71° 18.30'	4300 m
LEQ	14° 35.61'	71° 41.69'	4560 m
PAR	14° 33.41'	70° 40.92'	4100 m
PUC	15° 02.23'	70° 24.71'	3925 m
MIR	15° 31.87'	70° 22.67'	3950 m
CLO	15° 49.00'	70° 07.42'	3975 m
SAR	15° 47.55'	70° 37.49'	4150 m
YAN	15° 32.09'	71° 21.03'	4050 m
CAL	16° 03.74'	71° 22.21'	3950 m
LLU	16° 10.65'	72° 02.11'	1800 m
SHP	16° 11.83'	72° 28.43'	471 m
CRV	15° 47.07'	73° 28.38'	1780 m
ARE	16° 27.73'	71° 29.48'	2452 m
AYE	17° 00.80'	71° 40.31'	240 m
ONG	15° 53.94'	72° 28.39'	880 m

Trois équipes de deux à trois personnes basées à AREQUIPA, JULIACA et SICUANI assuraient la maintenance de 13 stations portables en trois sous-réseaux de 4 à 5 stations. Deux stations du réseau local sud-péruvien (AYE, ONG) ont été remises en fonction par l'Observatoire de Characato (Université San Agustin, AREQUIPA), lequel se charge en outre du fonctionnement de la station WWSSN d'AREQUIPA (ARE). Enfin une station portable a été installée dans un site du réseau local (CRV) et laissée à la charge d'un opérateur local.

Ce réseau présente une grande extension géographique (300 km environ) et se trouve, de ce fait, relativement peu dense: 50 à 60 km de distance moyenne entre stations. Il est donc plutôt adapté à l'étude de la sismicité intermédiaire. Toutefois, dans l'idée d'enregistrer une activité propre à l'Altiplano, nous y avons installé un sous-réseau relativement dense.

ACQUISITION ET MISE EN FORME DES DONNEES

Le réseau 1980 souffre d'une importante lacune au NW: elle correspond au faite de la Cordillère Occidentale, d'accès extrêmement difficile par le Sud ; une quatrième base au Nord (p.e. ABANCAY) aurait été nécessaire pour y maintenir au moins deux stations supplémentaires.

Ce réseau a fonctionné pendant trois semaines. Une forte activité a été mise en évidence, mais très inégalement répartie. En particulier, l'activité superficielle dans l'Altiplano est très faible: en moyenne un ou deux événements par jour, le plus souvent trop petits pour être bien enregistrés. En outre, les événements plus forts et plus lointains y parviennent très atténués. Par contre, toutes les stations situées sur le versant pacifique de la Cordillère Occidentale enregistrent une très forte activité, aussi bien très proche que profonde (jusqu'à 100 événements par jour à LLU). La nature des affleurements peut pour une bonne part expliquer cette opposition, mais il est apparu clairement que la plus forte activité superficielle se manifeste dans cette zone, où elle se traduit par de très nombreux événements de faible magnitude.

1.2 - Campagne 1981.

Le réseau 1981 illustre la façon dont nous avons exploité les enseignements de la campagne 1980. Il met en oeuvre 18 stations aux sites suivants (carte figure II.2):

Station	Latitude S	Longitude W	Altitude
YAN	15° 32.09'	71° 21.03'	4050 m
CAL	16° 03.74'	71° 22.21'	3950 m
CHO	15° 08.00'	71° 47.71'	4500 m
PAT	15° 45.47'	71° 39.44'	4900 m
CAB	15° 39.62'	71° 56.66'	3770 m
LLU	16° 10.65'	72° 02.11'	1800 m
CRV	15° 47.07'	73° 28.38'	1780 m
ARE	16° 27.73'	71° 29.48'	2452 m
AYE	17° 00.80'	71° 40.31'	240 m
ONG	15° 53.94'	72° 28.39'	880 m
TOR	16° 20.46'	72° 28.25'	350 m
SIS	16° 18.13'	72° 04.85'	1475 m
CAY	16° 21.25'	71° 66.45'	1700 m
MOL	17° 00.52'	72° 02.88'	50 m
RAT	15° 45.33'	72° 43.62'	4000 m
SIQ	15° 29.89'	72° 45.06'	4550 m
CAN	16° 29.62'	71° 55.79'	1200 m
SGP	16° 33.87'	72° 42.75'	140 m

Le réseau est moins étendu (200 km environ) mais il est plus dense, en particulier autour de la station LLU. Il se prolonge en outre davantage vers le NW et vers la côte. Un certain nombre de contraintes, en particulier financières, nous ont amenés à établir une seule base, à AREQUIPA. Nous avons renoncé à toute étude de la sismicité propre à l'Altiplano.

Le réseau 1981 est bien clairement destiné à mieux enregistrer l'activité sismique superficielle telle qu'elle a été mise en évidence en 1980. Nos nouvelles stations du Nord (RAT, SIQ, CHO) doivent, dans une certaine mesure, contribuer à combler la lacune NW du réseau 1980. Par contre, l'impossibilité matérielle (véhicules, personnel) d'établir à nouveau des stations à l'Est (ex : PIT, PAR en 1980) constitue une sérieuse lacune pour les séismes intermédiaires. Nous avons effectué environ 40 jours d'enregistrements avec ce réseau.

2. LES INSTRUMENTS.

Les stations portables installées par nos soins sont des appareils analogiques SPRENGNETHER MEQ800 munis d'un capteur à composante verticale MARK PRODUCT L4C de période propre 1s. Ces instruments enregistrent en continu une trace hélicoïdale sur un tambour équipé de papier enduit de noir de fumée. Une base de temps, délivrée par une horloge interne à quartz, est enregistrée sur la trace par des "tops". Cette base de temps doit être calée par rapport au temps GMT enregistré sur chaque sismogramme sous la forme de signaux reçus par radio en ondes courtes (émetteurs 15 MHz WWV, USA ou LOL, Argentine).

Sur trois sites, les appareils MEQ 800 ont été doublés par des appareils "digitaux" SPRENGNETHER DR 100. Ils enregistrent un signal numérisé sur une bande magnétique avec un dispositif à déclenchement asservi par le réglage préalable de seuils. L'intérêt de ce dispositif est de pouvoir enregistrer la totalité du signal sismique, avec en outre un capteur à trois composantes. Il devient possible de faire un traitement numérique du signal sismique (contenu spectral, étude de l'atténuation). En revanche, -c'est le revers de sa sophistication- ce matériel souffre encore de quelques inconvénients: sa fragilité, la faible densité d'information accessible. En fin de compte, il est apparu à la fois hasardeux et sans grand intérêt de l'utiliser sur des sites propres.

ACQUISITION ET MISE EN FORME DES DONNEES

Enfin, les stations analogiques du réseau local sont des instruments fixes DTM (Department of Terrestrial Magnetism, Carnegie Institution of Washington). La trace est inscrite à l'encre avec un trait relativement épais (0.4 - 0.5 mm) mais régulier. Le défilement se fait à la vitesse de 25 cm/mn, ce qui ramène la précision de lecture à un niveau comparable à celle des MEQ 800. Ici encore, un signal horaire GMT reçu par radio est enregistré sur chaque sismogramme pour caler la base de temps interne. Globalement, ces stations ont apporté des données de qualité très satisfaisante, malgré quelques doutes parfois sur les signaux radio.

Les difficultés logistiques rencontrées dans la maintenance quotidienne ou bi-quotidienne des stations sont nombreuses. Citons pour exemple les deux problèmes les plus lourds de conséquence sur l'acquisition des données.

-l'enregistrement des signaux horaires GMT par radio, absolument essentiel, s'avère souvent difficile et parfois impossible: la réception en ondes courtes est très sensible aux conditions atmosphériques, à l'heure de la journée, à la topographie du site. Il n'est pas rare d'être très longuement bloqué à une station, parfois même en vain, pour obtenir un signal radio sûr.

-certaines immobilisations des véhicules ont provoqué la perte d'enregistrements, les stations ne pouvant être changées.

3. LE DEPOUILLEMENT

J'ai dépouillé les 120 sismogrammes de la campagne 1980 à l'aide d'une loupe millimétrique permettant une lecture à 0,05 mm près. Le tri des événements se fait manuellement: j'ai ainsi retenu environ 250 événements enregistrés par quatre stations au moins.

Cette manière de procéder est longue et fastidieuse: elle nécessite de très nombreux retours sur chaque sismogramme pour repérer les événements à retenir; elle multiplie les causes d'erreurs en même temps que le nombre d'étapes manuelles (lectures, écriture des temps d'arrivée, saisie sur terminal). En revanche, elle permet de mieux individualiser les séismes retenus, ce qui est parfois utile, en particulier pour une détermination correcte de l'arrivée de l'onde S.

LE DEPOUILLEMENT

Pour les données de la campagne de 1981, qui a fourni 320 sismogrammes, nous avons préféré mettre en oeuvre une méthode de dépouillement automatisée utilisant une table à numériser. Voici le principe de la méthode:

-le sismogramme est initialisé sur la table par le pointé des "tops heures" délivrés par la base de temps interne;

-pour chaque évènement on effectue les pointés du top de la base de temps le plus proche de l'évènement, des débuts des ondes P, des ondes S (autant que possible) et de la fin du signal, quand il se fond dans le bruit.

-un programme est alors mis en oeuvre pour convertir les coordonnées de la table en temps réels (date, heure, minute, seconde et durée du signal) tout en effectuant les corrections horaires. La conversion repose sur une évaluation de la longueur de la minute telle qu'elle est enregistrée sur le sismogramme, ce qui nécessite quelques pointés préalables avec le curseur.

-le tout est enfin placé sur bande magnétique au format souhaité.

J'ai réalisé cette première étape de la mise en forme des données au Lincoln Laboratory de CAMBRIDGE (USA) qui a mis à ma disposition une table à numériser BENDIX et un ordinateur PDP 7. J'ai pu ainsi dépouiller en trois semaines 240 sismogrammes, donnant environ 20000 arrivées d'ondes P sur quelques 35 jours d'enregistrements.

Par la suite, à GRENOBLE, j'ai également effectué le tri des évènements d'une manière automatisée: l'ensemble des lectures étant classé par ordre chronologique, un programme groupe les lectures contenues dans une fourchette de temps préétablie, ne retient que les évènements enregistrés par trois stations au moins et range le tout en un format exploitable par les programmes de localisation.

Toutes les opérations manuelles se réduisent ainsi aux différents pointés avec le curseur de la table à numériser. L'exécution est rapide et sûre et tous les évènements peuvent être enregistrés. Le gain de temps est considérable, mais aussi la réduction des risques d'erreur. En outre, on obtient un catalogue très complet des évènements enregistrés.

Je n'ai pu appliquer ce mode dépouillement aux sismogrammes des deux stations de type DTM. Je les ai

ACQUISITION ET MISE EN FORME DES DONNEES

donc dépouillés à l'aide d'une règle GRAPHOPLEX permettant des mesures à 0,25 mm près. J'ai ensuite converti les distances obtenues en données réelles, correction horaire effectuée, à l'aide d'un calculateur de bureau HP-9845B.

Indépendamment des erreurs de pointés proprement dites, que j'étudierai plus loin, les erreurs inhérentes au procédé sont de deux types:

- possibilité de confusion entre des traces contigües du sismogramme, laquelle affecte le calcul de la minute ronde du temps d'arrivée. Ce cas se produit rarement (moins de 1 %) et seulement si l'enregistrement lui-même est de mauvaise qualité. Il faut néanmoins apporter le plus grand soin lors de l'initialisation du sismogramme sur la table.

- reconnaissance erronée de la phase S dans la coda des ondes P. Cette erreur est, par contre, assez fréquente (20 à 30 % des pointés des ondes S) car elle ne peut pas être corrélée avec le signal enregistré par d'autres stations. A cet égard, la lecture manuelle séisme par séisme permet une meilleure reconnaissance.

En tout état de cause, la lecture automatisée ne dispense pas du retour aux sismogrammes pour effectuer divers contrôles et compléments: une première série de localisations de tous les séismes ainsi dépouillés est faite avec un modèle de vitesse moyen et, systématiquement, avec un poids 1 pour les ondes P et 0,5 pour les ondes S. Elle permet de faire les premiers contrôles et, au besoin, de compléter le fichier:

- correction des arrivées présentant un gros résidu (en général, une mauvaise interprétation de la phase S);

- éliminations des événements trop lointains;

- lecture des sens de premier mouvement dans les cas jugés favorables (environ 15 %);

- rectification des poids affectés aux arrivées suivant leur qualité: impetus vs emersio, doutes sérieux sur la correction radio, etc. ;

C'est un assez long travail de routine au cours duquel presque tous les événements sont passés en revue, en revenant sur les sismogrammes. Je considère qu'il s'agit là d'une deuxième étape de mise en forme des données, indispensable si l'on souhaite que la quantité ne nuise pas à la qualité.

Enfin, j'ai ainsi retenu, pour les données 1981, 1237 événements estimés localisables, sans préjuger de tris plus sévères que je me propose de faire par la suite. J'ai utilisé pour ce faire le programme HYPO 71 (Lee et Lahr, 1975) avec le même modèle moyen, inspiré des études de structures évoquées précédemment.

Les figures II.3 et II.4 montrent la carte générale et les coupes de sismicité qui résultent de ces premières localisations. Les coupes se réfèrent, du Nord au Sud, aux secteurs délimités sur la carte de la figure II.3.

On constate dès à présent que la sismicité présente un certain nombre de caractéristiques bien nettes, que je me propose maintenant de préciser, en affinant la qualité des localisations. Ce travail commencera par un étude critique des outils dont je dispose, dans le but de les exploiter au mieux pour extraire le plus grand nombre possible d'événements bien localisés.

4. ESTIMATION DES ERREURS DE LECTURE

A l'issue de cette première étape du travail, il convient d'estimer les erreurs commises sur les données qu'elle fournit, à savoir les temps d'arrivées des ondes P et S aux stations. Il s'agit des erreurs de lectures stricto sensu, tout à fait indépendantes des erreurs qui s'introduisent par suite de la plus ou moins bonne modélisation du problème physique. Ces dernières seront étudiées séparément.

4.1 - Les causes d'erreurs

Il faut prendre en compte les facteurs suivants:

a) les erreurs à la lecture proprement dite, essentiellement liées au soin apporté par l'opérateur et à la finesse de la trace enregistrée. Les lectures à la loupe permettent de faire des mesures à 0,05 mm près sur les sismogrammes au noir de fumée dans des conditions normales. A 60 mm/mn, cela correspond à 0,05 s. Sur les sismogrammes DTM, les mesures ont été faites à 0,5 mm près, soit 0,02 s pour une vitesse de défilement de 25 cm/mn.

b) En fait l'exactitude de la conversion des distances mesurées en temps réels repose sur une bonne

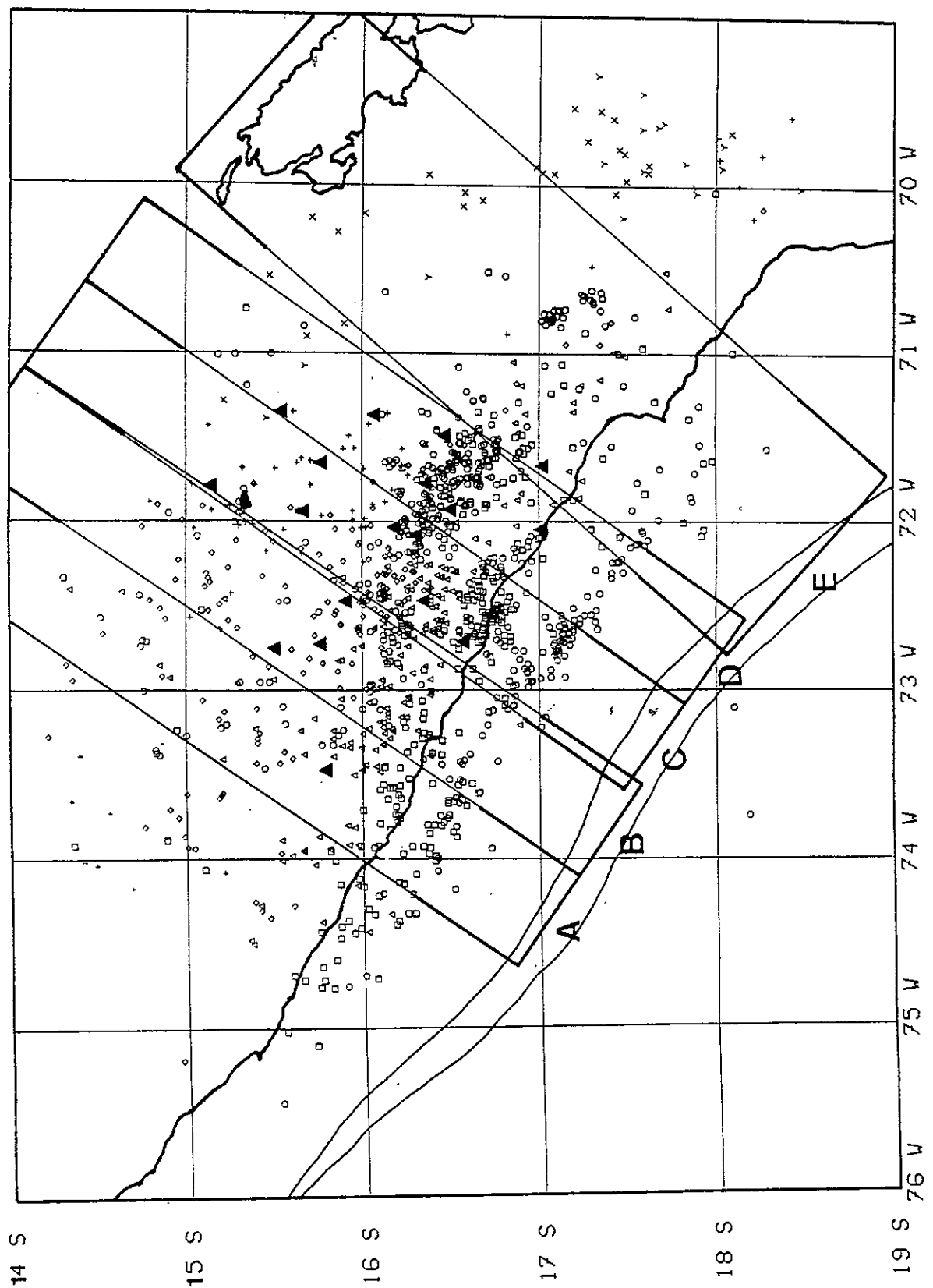
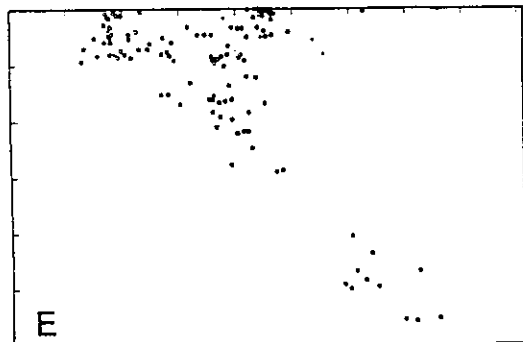
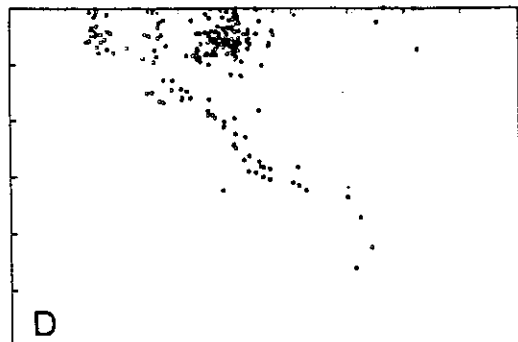
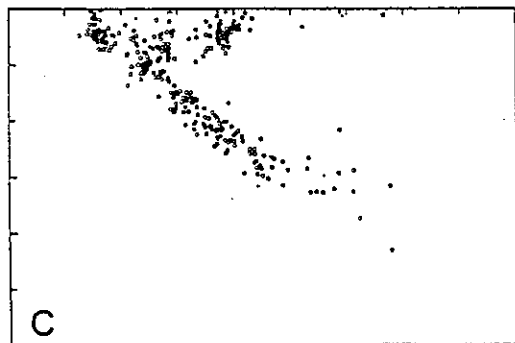
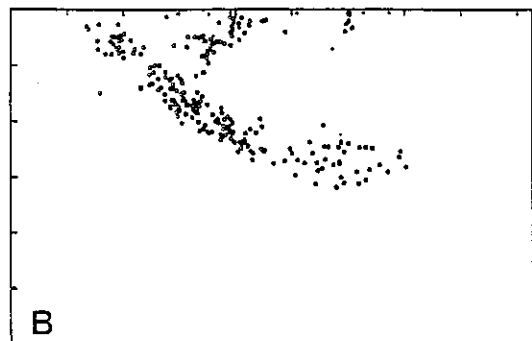
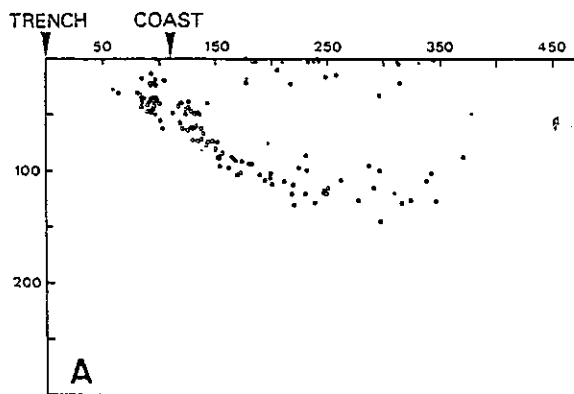
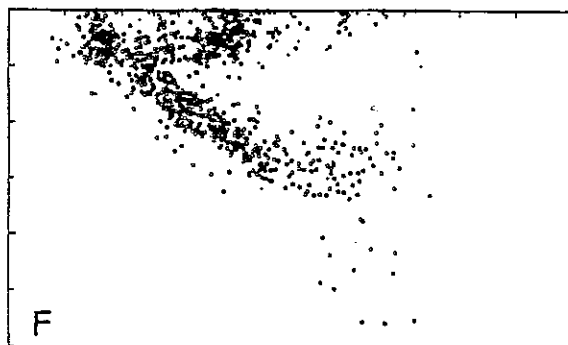


Figure II.3 - Carte générale de sismicité issue des premières localisations (1237 événements). Données de la campagne 1981.

Localisation des coupes de la figure II.4 .



W 50 S



N 50 W

S 50 E

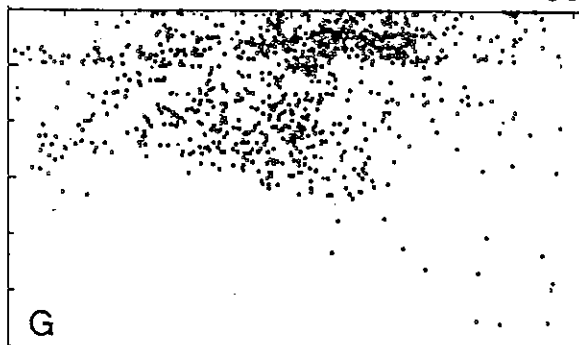


Figure II.4 - Coupes verticales de sismicité issues des premières localisations. Données de la campagne 1981.

A à E: coupes transversales partielles situées sur la carte de la figure II.3 .

F: coupe transversale de toute la sismicité.

G: coupe longitudinale de toute la sismicité (parallèle à la fosse).

ACQUISITION ET MISE EN FORME DES DONNEES

mesure de la longueur de la minute telle qu'elle est inscrite sur la trace par la base de temps interne. La contraction du papier du cours du temps, et surtout les possibles irrégularités de l'entraînement mécanique du tambour contribuent à perturber cette conversion.

c) Enfin, les dérives des horloges internes doivent être corrigées en se basant sur la référence GMT reçue par radio. Une interpolation est réalisée entre deux enregistrements GMT consécutifs (en général, tous les deux jours). Les horloges présentent selon le constructeur une dérive journalière de 0,04 s, mais on a constaté des écarts atteignant 0,1 s.

4.2 - En pratique...

Quelle que soit la méthode appliquée (manuelle ou automatisée), il importe donc d'estimer d'abord une longueur moyenne de la minute pour chaque sismogramme. Si une variation importante apparaît, il faut mesurer, pour chaque événement, la longueur de la minute correspondante. J'ai pratiqué cette correction quand la variation dépasse 0.2mm si seuls les signaux "minute" sont enregistrés et 0.5mm si on dispose en outre des signaux "10s". Pour les sismogrammes DTM, j'ai systématiquement utilisé pour la conversion une longueur de minute mesurée à chaque lecture d'évènement.

Dans le cas des lectures automatisées, j'ai utilisé un procédé simple pour estimer directement les erreurs commises en intégrant toutes les causes d'erreurs possibles, sauf la dérive d'horloge: sur chaque sismogramme, j'ai effectué des pointés pour des "séismes" fictifs en utilisant les signaux de la base de temps interne. J'ai ainsi réalisé une mesure des écarts de lecture, par rapport aux tops "30s", "1mn" et "2mn", selon les cas, ces tops étant traités comme des arrivées P ou S. Je calcule ensuite les moyennes et écarts-types de ce "bruit". La table A montre les résultats obtenus à partir d'environ 1000 lectures. On constate que, pour la plupart des stations le processus automatique de lecture introduit des erreurs dont l'écart-type reste inférieur à 0.1s. Notons en outre que ces estimations sont pessimistes, car elles sont relatives à des distances mesurées sur sismogrammes (30, 60 ou 120mm) supérieures aux distances le plus souvent lues en réalité (10 mm). Les stations CAN, MOL, CRV et TOR présentent des écarts supérieurs à la moyenne et les données correspondantes ont été traitées en conséquence (p.e. poids réduit, ou même corrections). De fait, ces stations ont connu quelques problèmes de fonctionnement.

ESTIMATION DES ERREURS DE LECTURE

Station	Moyenne	Ecart-type	Nombre
CAB	0.03	0.10	36
CAL	-0.01	0.05	68
CAN	0.02	0.11	56
CHO	0.00	0.09	86
CRV	0.01	0.11	134
MOL	-0.01	0.15	48
PAT	0.02	0.08	92
RAT	0.00	0.06	78
SGP	0.00	0.06	40
SIQ	0.03	0.09	40
SIS	-0.04	0.08	112
TOR	-0.06	0.11	76
YAN	0.01	0.06	88

Table II.A - Statistique sur les erreurs de lectures lors du dépouillement automatisé.

Pour réduire enfin les effets de la dérive d'horloge interne, on effectue pour chaque sismogramme une correction basée sur une mesure du décalage (volontaire) entre les signaux de la base de temps interne et les signaux GMT reçus par radio. Dans les conditions normales, le signal radio est enregistré au début et à la fin de chaque sismogramme. Ce décalage peut être mesuré à 0.05s près. Les corrections entre deux mesures sont calculées par interpolation linéaire. Celle-ci se justifie bien tant que la dérive se montre régulière. Les graphes de la figure II.5 permettent de se faire une idée de cette régularité. On constate que les cas défavorables de dérive brusque ou trop importante, sont exceptionnels (SIQ). Par contre, quelques cas (la station CRV, les stations GEOTECH) sont réellement douteux. Dès lors, j'accorde un poids réduit (ou nul) aux données correspondantes ou, quand cela est possible, j'exploite les intervalles Ts-Tp.

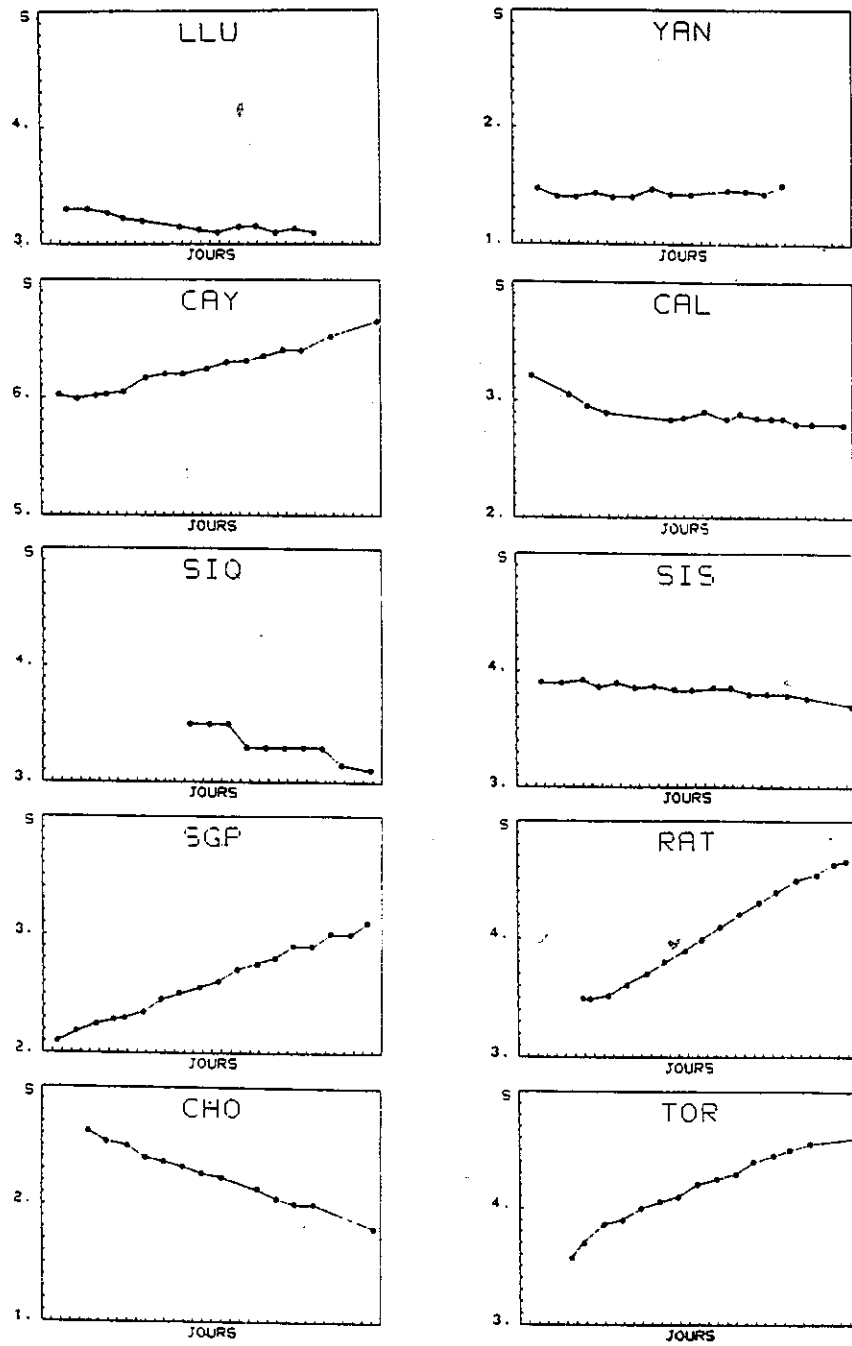


Figure II.5 - Dérive des horloges internes.

ESTIMATION DES ERREURS DE LECTURE

On peut estimer que, dans la majorité des cas, l'erreur due à cette correction horaire est majorée par 0.05s.

4.3 - En conclusion

Il ressort de ces observations que la lecture des temps d'arrivées des phases nettes se fait avec des erreurs présentant un écart-type que l'on estimera à 0.15s. La lecture des phase S est rendue moins sûre à cause de la coda des ondes P et l'incertitude peut dépasser 1 s. Un écart-type de 0.8s semble une estimation raisonnable. Du reste, toutes les lectures peu nettes sont affectées d'un poids réduit, en général 0.5s.

Les lectures à la table à numériser peuvent donc être faites avec une précision au moins égale à celle obtenue par lecture manuelle; les plus importantes causes d'erreur due à l'automatisation des lectures se réduisent aux interprétations erronées des phases S dans le signal.

C H A P I T R E I I I

L O C A L I S A T I O N D E S S E I S M E S

1 - LES PROGRAMMES DE LOCALISATION.

- 1.1 - Leur principe.
- 1.2 - Leur mise en oeuvre.

2 - EXPLOITATION DU PROGRAMME HYPOINVERSE.

- 2.1 - Correction d'altitude et intervalles (S-P).
- 2.2 - Essais de localisation en deux dimensions.
- 2.3 - Tests en 2D des corrections source-stations.

3 - SIMULATION DES CAS REELS PAR DES DONNEES SYNTHETIQUES.

- 3.1 - Les idées générales.
- 3.2 - Mise en oeuvre.
- 3.3 - Présentation des résultats.

4 - CONCLUSIONS.

- 4.1 - Les erreurs statistiques ERH et ERZ.
- 4.2 - Influence de la géométrie du réseau.
- 4.3 - Estimation des erreurs.
- 4.4 - Application aux cas réels.

LOCALISATION DES SEISMES

1 - LES PROGRAMMES DE LOCALISATION.

J'ai utilisé le programme HYP071 (Lee et Lahr, 1974) pour toutes les localisations préliminaires destinées à réaliser les premiers tris des données.

Pour les localisations définitives et tous les tests relatifs à la qualité des localisations, j'ai utilisé le programme HYPOINVERSE (Klein, 1978).

1.1 - Leur principe.

Ces programmes sont tous deux basés sur la méthode de Geiger (1912): un processus itératif déplace l'hypocentre calculé de façon à minimiser les écarts entre les temps d'arrivée observés et les temps calculés (résidus). Ils ne diffèrent que par la procédure utilisée pour résoudre le système linéaire mis en jeu pour calculer les ajustements de l'hypocentre.

1.2 - Leur mise en oeuvre.

Les données à fournir sont, dans les deux cas:

- les temps d'arrivées des ondes P, éventuellement des ondes S, avec leurs poids;
- les coordonnées des stations;
- un modèle de vitesses et une valeur du rapport V_p/V_s des vitesses des ondes P et S.

HYP071 impose l'utilisation d'un modèle en couches planes, d'épaisseurs et de vitesses constantes. Le rapport V_p/V_s reste constant pour toutes les couches.

HYPOINVERSE procède de même, mais permet en outre l'utilisation simultanée de plusieurs modèles de vitesses: un modèle donné étant affecté à une station donnée, tous les temps de parcours et leurs dérivées seront calculés pour ce modèle entre l'hypocentre calculé et cette station. Il est ainsi possible de définir des sous-réseaux et simuler plus ou moins grossièrement une discontinuité verticale connue (par exemple, une faille coupant le réseau). Je tenterai d'utiliser cette facilité pour tenir compte, dans une certaine mesure, des grandes variations de l'épaisseur de la croûte au Pérou.

LOCALISATION DES SEISMES

2. EXPLOITATION DU PROGRAMME HYPOINVERSE

J'ai adapté aux usages du laboratoire une version BASIC de HYPOINVERSE rédigée par F. FISCHER pour le calculateur de bureau HP-9845B. J'ai effectué sur ce programme quelques modifications et compléments. En particulier, j'ai introduit une correction automatique de l'altitude des stations: songeons que, au Pérou, les différences d'altitude entre stations atteignent 4900 m. J'ai également introduit la possibilité d'utiliser les intervalles S-P (différences entre les temps d'arrivée des ondes P et des ondes S) dans les localisations, ce qui se montrera utile quand les signaux horaires reçus par radio sont douteux ou absents. Enfin, j'ai ajouté un sous-programme simple traçant, au besoin, les sphères focales avec les sens de premier mouvement.

J'ai testé le bon fonctionnement de ces modifications à l'aide de données synthétiques. Le programme de tracé de rais PROMOS (WILL, 1976) mis en place sur le calculateur HP-9845B par F. THOUVENOT m'a permis de calculer des temps de parcours exacts pour des séismes fictifs. C'est un programme de tracé de rais à deux dimensions, mais il offre la possibilité, entre autres, d'introduire des couches d'épaisseur variable avec des interfaces non plans.

2.1 - Correction d'altitude et intervalles S-P.

La correction d'altitude procède comme suit : sur un modèle de base limité à un niveau de référence (typiquement, le niveau de la mer), on "ajoute" sous chaque station une couche dont on peut fixer au préalable l'épaisseur (altitude de la station) et la vitesse de propagation des ondes sismiques (lithologie de surface). En pratique, les profondeurs sont toutes ramenées au niveau de référence et les temps de parcours dans la première couche sont calculés sous forme de délais qui sont retranchés aux temps observés. Notons que ces délais sont recalculés à chaque itération en tenant compte de la position relative foyer-station, d'une part, de l'angle d'incidence du rai, d'autre part. La détermination des délais correctifs est ainsi progressive et automatique.

La figure III.1 montre un exemple de structure choisie pour le calcul des temps de parcours par le programme de tracé de rai. Seule la première couche est d'épaisseur variable (0 à 5000 m) pour simuler les différences d'altitude, le modèle de base sous le niveau 0 m

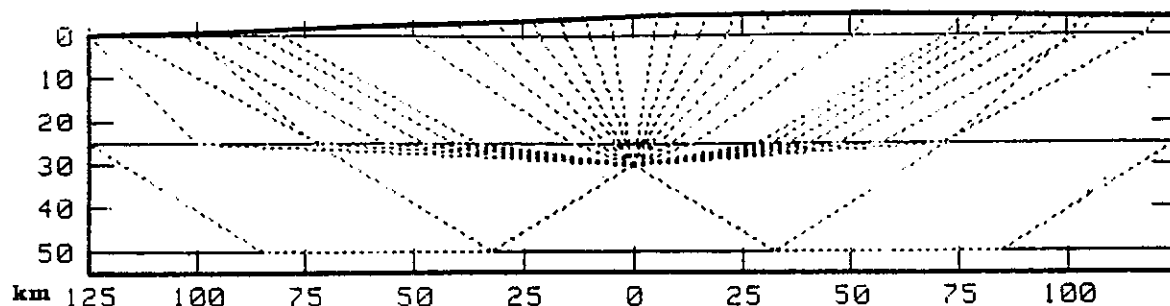


Figure III.1 - Exemple de tracé de rais en 2D.

étant constitué de couches planes. On peut dans ces conditions construire un réseau fictif tridimensionnel centré sur l'épicentre en reportant, suivant différents azimuts les distances épacentrales fournies par le programme. Les localisations ultérieures peuvent alors se faire en trois dimensions.

Je relocalise donc avec HYPOINVERSE quelques séismes fictifs de diverses profondeurs typiques avec et sans correction d'altitude. Tout en testant le bon fonctionnement de cette correction, j'évalue ainsi l'effet de la couche de surface sur les localisations, aucune autre perturbation ne venant affecter les modèles exacts.

Les résultats indiquant les écarts observés sont rassemblés dans la table III.A.

A titre d'illustration, la table III.B est une sortie imprimée du programme HYPOINVERSE pour une localisation mettant en oeuvre conjointement la correction d'altitude et l'utilisation des intervalles S-P. Ce dernier cas simule les situations où les temps de parcours T_p et T_s sont perturbés par un même écart (inconnu) en raison par exemple d'un mauvais calage horaire du sismogramme. Le programme prend alors en compte le temps $(T_s - T_p)$.

LOCALISATION DES SEISMES

PROFONDEUR	CORR.	Dt(s)	Dh(km)	Dz(km)	%	RMS(s)
5 km	(oui	0.0	0.1	-0.1	1	0.02
	(non	0.4	1.4	3.8	76	0.13
10 km	(oui	0.0	0.0	0.0	0	0.01
	(non	0.3	1.7	4.1	41	0.10
20 km	(oui	0.0	0.0	0.0	0	0.01
	(non	0.5	1.8	2.8	14	0.15
45 km	(oui	0.1	0.5	0.3	1	0.03
	(non	0.5	3.4	4.3	9	0.17
70 km	(oui	0.0	0.1	0.0	0	0.01
	(non	0.3	2.4	7.0	10	0.11
100 km	(oui	0.0	0.1	0.1	0	0.01
	(non	0.2	3.5	6.6	7	0.09
150 km	(oui	0.0	0.1	0.0	0	0.01
	(non	0.0	4.3	7.4	5	0.12
200 km	(oui	0.0	0.1	0.0	0	0.01
	(non	0.2	4.7	8.6	4	0.14
250 km	(oui	0.0	0.1	0.1	0	0.00
	(non	0.1	7.1	7.4	3	0.13

Table III.A - Effets des corrections d'altitudes.
Dt, Dh, Dz: Ecart sur le temps origine, l'épicentre et la profondeur.
%: Erreur relative sur la profondeur.
RMS: Moyenne quadratique pondérée des résidus.

STATIONS
CENTER: 6 0.00 6 0.00 DLYAZ= 999.00 DLYND=100.00

I	STN	LAT(S)	LOX(W)	PD1	SD1	PD2	SD2	FMC	XMC	WM	CAL	PER	T	ELEV	BRAPTH
1	AAA	7 28.98	5 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	11	0.0	1.0	1	0000	4.5
2	BBB	6 29.31	5 51.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	11	0.0	1.0	1	0220	4.5
3	CCC	5 31.73	5 55.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	11	0.0	1.0	1	2060	4.5
4	DDD	5 0.00	5 29.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	11	0.0	1.0	1	3660	4.5
5	EEE	4 59.33	5 1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	11	0.0	1.0	1	4940	4.5
6	FFF	4 37.36	5 13.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	11	0.0	1.0	1	4760	4.5
7	GGG	4 .17	5 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	11	0.0	1.0	1	4450	4.5
8	HHH	3 48.23	4 18.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	11	0.0	1.0	1	4230	4.5
9	III	4 11.26	3 35.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	11	0.0	1.0	1	4100	4.5
10	JJJ	5 0.00	4 15.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	11	0.0	1.0	1	2930	4.5
11	KKK	5 43.79	3 43.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	11	0.0	1.0	1	0940	4.5
12	LLL	6 46.34	3 58.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	11	0.0	1.0	1	0000	4.5

Le modèle 1 est utilisé pour toutes les stations.

CRUST MODEL:

LAYER	VEL	DEPTH	THICK	VEL	DEPTH	THICK	VEL	DEPTH	THICK
1	6.00	0.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	6.00	25.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	6.20	50.00	999.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

STATIONS	P-PHASES	S-PHASES	DUREES	MODELES	ALTITUDES			
AAA	. . 0	41.22	71.31	. 2	0.	1	4.5	0
BBB	. . 2	38.17	55.65	. 1	0.	1	4.5	220
CCC	. . 0	25.78	44.60	. 2	0.	1	4.5	2060
DDD	. . 0	22.06	38.16	. 2	0.	1	4.5	3660
EEE	. . 2	31.14	46.37	. 1	0.	1	4.5	4940
FFF	. . 0	22.00	36.20	. 2	0.	1	4.5	4760
GGG	. . 2	21.75	48.55	. 1	0.	1	4.5	4450
HHH	. . 0	29.33	58.75	. 2	0.	1	4.5	4230
III	. . 0	31.09	55.17	. 2	0.	1	4.5	4100
JJJ	. . 0	23.47	48.60	. 2	0.	1	4.5	2930
KKK	. . 2	34.48	56.01	. 1	0.	1	4.5	940
LLL	. . 0	35.92	62.14	. 2	0.	1	4.5	0

Stations utilisées pour tester (S-P)

Vp/Vs=1.73 Profondeur d'essai: 140 km

Correction d'altitude avec une première couche de vitesse 4.5 km/s (ondes P).

1 JAN 82, 1: 1 EVENT NO. 1

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT N	LOX E	DEPTH	RMS	ERM	ERZ	GAP	XMAG	FMAG
82-	1-	1	1	.11	5 .02	4 59.92	149.25	.04	1.75	3.18	32	

RMSHT	DMIN	ITR	HFM	NHR	HWS	RENK
.04	2.6	16	12	20	8	

STA	DIST	AZM	AN	P/S	W	SEC+CCOR	(TOBS	-TCAL	-DLY	=RES)	WT	XMG	FMG	R	INFO
EEE	2.6	119	178	.P.	9	31.14	0.00	31.03	19.94	1.10	9.99	0.00			0.000
				S-P	1	46.37	0.00	15.43	14.56	.00	.07	1.04			.057
FFF	40.5	150	160	.P.	22.00	0.00	21.97	20.92	1.00	-.03	1.38				.167
				.S	2	38.20	0.00	38.09	36.19	1.86	.03	.69			.200
DDD	53.9	91	150	.P.	22.06	0.00	21.95	21.15	.03	-.03	1.38				.164
				.S	2	38.16	0.00	38.05	36.59	1.44	.02	.69			.220
JJJ	82.8	269	140	.P.	23.47	0.00	23.36	22.70	.68	-.02	1.38				.175
				.S	2	48.60	0.00	48.49	39.27	1.17	.04	.69			.294
GGG	110.9	100	140	.P.	9	21.75	0.00	21.64	24.62	1.05	-4.04	0.00			0.000
				S-P	1	48.55	0.00	10.00	17.97	.77	.06	1.04			.173
CCC	117.7	60	138	.P.	25.78	0.00	25.67	25.22	.49	-.04	1.38				.276
				.S	2	44.60	0.00	44.49	43.63	.05	.01	.69			.195
HHH	153.5	209	130	.P.	29.33	0.00	29.22	28.23	1.03	-.05	1.38				.286
				.S	2	58.75	0.00	58.64	48.84	1.79	.01	.69			.146
KKK	162.1	301	120	.P.	9	34.48	0.00	34.37	29.17	.23	4.37	0.00			0.000
				S-P	1	56.01	0.00	21.53	21.29	.17	.07	1.04			.126
III	180.6	339	125	.P.	31.09	0.00	31.70	30.01	1.02	-.05	1.38				.272
				.S	2	55.17	0.00	55.06	53.30	1.76	-.00	.69			.173
BBB	191.1	30	123	.P.	9	38.17	0.00	38.06	32.06	.05	-2.06	0.00			0.000
				S-P	1	53.65	0.00	23.40	23.40	.04	.94	1.04			.194
LLL	227.3	331	118	.P.	35.92	0.00	35.81	35.04	0.00	-.03	1.32				.314
				.S	2	62.14	0.00	62.03	62.00	0.00	.02	.66			.260
AAA	276.1	0	113	.P.	41.22	0.00	41.11	41.17	0.00	-.06	.95				.177
				.S	2	71.31	0.00	71.20	71.22	0.00	-.03	.47			.104

Calcul des écarts en mode (S-P).

Table III.B - Exemple de sortie du programme HYPONVERSE.

Séisme fictif localisé: 01 h 01 mn 00 s (ORIGIN) 5°N (LAT) 5°E (LOX) 150 km (DEPTH).
 Correction d'altitude: la colonne DLY donne les valeurs des délais correctifs (en s) calculés.
 Utilisation des intervalles (S-P): les temps d'arrivées sont perturbés à EEE (+10s), GGG (-4s), KKK (+5s) et BBB (-2s). Les écarts calculés sont reportés en colonne RES (résidus).

2.2 - Essais de localisation en deux dimensions.

En conservant une structure en couches planes sous un niveau de référence, il reste possible, comme on l'a vu en 2.1, de simuler un problème à trois dimensions (3D), tout en utilisant des données relatives à une structure bidimensionnelle (2D). Mais nous ferons plus loin des essais mettant en oeuvre des structures non planes sous le niveau de référence; il n'est plus possible alors d'utiliser comme précédemment un artifice pour construire un réseau fictif tridimensionnel. Ne disposant pas de programme de tracé de rais traitant de telles structures en 3D, je serai conduit à procéder à des relocalisations en 2D. En pratique, celles-ci consistent à fournir à HYPOINVERSE un réseau linéaire, l'évènement à localiser étant aligné avec les stations. En fait, HYPOINVERSE est conçu pour cesser automatiquement tout calcul d'ajustements le long d'une dimension insuffisamment contrainte par les données: en l'occurrence, je "fixerai" ici de cette manière la latitude, laissant le processus se poursuivre sur trois degrés de liberté (longitude, profondeur, temps origine).

On peut se demander si les tests effectués de cette manière sont assez significatifs pour autoriser des comparaisons avec les mêmes situations traitées en 3D. C'est pourquoi je me propose d'étudier le comportement de HYPOINVERSE grâce à des essais comparatifs de localisation d'évènements, en 3D et en 2D, pour diverses perturbations (modèle perturbé, temps d'arrivées bruités, réduction du nombre de phases).

Les tables III.C et III.D rassemblent quelques résultats de ces essais. J'ai repris des valeurs calculées par PROMOS en 2D et utilisées en 2.1. pour tester la correction d'altitude. Chaque série (a, b et c) met en parallèle les relocalisations du même séisme en 3D (stations réparties autour de l'épicentre), puis en 2D (stations alignées avec l'épicentre), dans des situations plus ou moins perturbées (le détail des perturbations est indiqué avec les tables). Nous noterons en particulier que:

-Les erreurs vraies (D_t , D_h , D_z : voir tables III.C et III.D) provoquées par les différentes perturbations ne varient pas de manière significative quand on passe de 3D en 2D. L'on peut donc estimer que les tests qui seront effectués en 2D seront assez représentatifs pour valider les conclusions que l'on en tirera (voir plus loin en 2.3)

-Il est possible de se faire une première idée de l'amplitude des erreurs de localisation provoquée par telle ou telle perturbation.

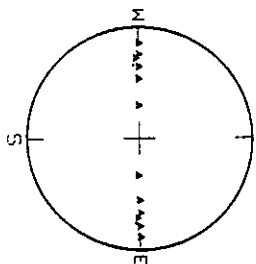
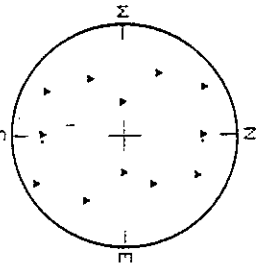
a TEMPS D'ARRIVEE EXACTS

TROIS DIMENSIONS

No	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	0	1	-1	12	12	31	10.	.04	1.0	1.1
2	-4	3	1.9	12	12	32	10.	.15	1.0	1.1
3	5	0	-2.3	12	12	32	10.	.14	1.0	1.2
4	4	1	-2	12	12	31	10.	.14	1.1	1.2
5	-10	1	-1	12	12	31	10.	.14	1.0	1.1
6	-4	0	-3.3	12	12	31	10.	.18	1.0	1.0
7	-1	1	1.1	12	12	32	10.	.11	1.0	1.8
8	5	1.8	2.8	12	12	37	10.	.16	.8	.8

DEUX DIMENSIONS

No	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	0	2	-1	12	12	182	10.	.04	99.0	1.1
2	-5	1	2.0	12	12	182	10.	.14	99.0	1.1
3	5	2	-2.2	12	12	182	10.	.14	99.0	1.2
4	4	1	-2	12	12	182	10.	.15	99.0	1.2
5	-1	1	2	12	12	182	10.	.14	99.0	1.1
6	-4	1	-3.3	12	12	182	10.	.18	99.0	1.1
7	-1	1	1.1	12	12	182	10.	.11	99.0	1.8
8	5	1.3	3.0	12	12	182	10.	.15	99.0	1.0



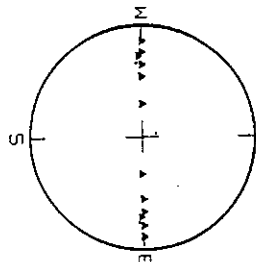
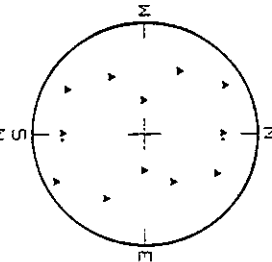
b TEMPS D'ARRIVEE BRUTES

TROIS DIMENSIONS

No	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	-4	1.4	1.7	12	9	34	10.	.28	1.1	1.2
2	6	0.9	-2.5	12	11	33	9.	.24	1.1	1.7
3	3	1.1	1.9	12	9	34	11.	.26	1.3	1.4
4	4	1	-4	12	10	34	11.	.25	1.1	1.3
5	5	1.0	-2.8	12	12	35	9.	.26	1.1	1.1
6	-1	1.4	7	12	8	35	10.	.29	1.2	2.3
7	0	1.2	-7	12	9	33	10.	.20	1.1	1.2
8	4	1.1	2.7	12	6	33	10.	.23	1.3	1.1

DEUX DIMENSIONS

No	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	-6	0.9	3.3	12	8	182	9.	.20	99.0	1.1
2	5	0.7	-3.8	12	6	182	10.	.22	99.0	2.6
3	0	0.7	1.1	12	12	182	9.	.25	99.0	1.2
4	-1	0.8	-2.8	12	10	182	10.	.24	99.0	1.3
5	3	0.6	-2.8	12	8	182	9.	.24	99.0	1.4
6	-4	0.6	4.2	12	10	182	10.	.25	99.0	2.0
7	-1	0.6	-1	12	12	182	10.	.30	99.0	1.3
8	6	0.9	2.2	12	7	182	11.	.22	99.0	1.5



c TEMPS D'ARRIVEE BRUTES SEISME HORS RESEAU

TROIS DIMENSIONS

No	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	0	2	-1	6	6	210	10.	.01	4.7	2.0
2	-7	3.5	-2	6	3	212	13.	.13	7.2	3.4
3	-7	2.6	-2.6	6	5	206	8.	.16	4.5	2.9
4	-3	7.0	-4.4	6	6	218	17.	.24	4.4	5.3
5	1	5.5	1.9	6	5	203	5.	.14	5.1	1.8
6	5	1.6	-2.8	6	5	208	8.	.24	5.1	2.2
7	-0	0.9	1.5	6	4	209	9.	.22	5.1	3.8
8	7	2.0	1.3	6	3	208	8.	.20	5.9	2.5

DEUX DIMENSIONS

No	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	5	3.5	-1	6	5	359	6.	.14	99.0	1.4
2	-6	1.4	2.8	6	6	359	10.	.20	99.0	1.5
3	-3	1.5	-2.8	6	6	360	11.	.15	99.0	2.9
4	4	2.5	-0.9	6	4	359	7.	.17	99.0	1.6
5	-2	2.5	-2.3	6	5	359	11.	.16	99.0	1.7
6	-2	2.9	-1.3	6	5	360	13.	.27	99.0	1.7
7	-9	4.1	3.7	6	4	359	14.	.30	99.0	3.8
8	7	1.9	1.9	6	4	359	9.	.23	99.0	1.6

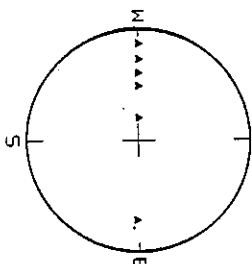
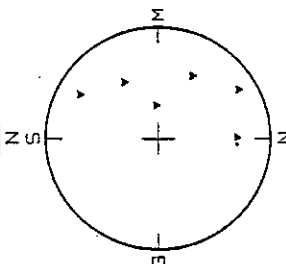


TABLE III.C

Essais comparatifs de localisations 3D et en 2D pour données perturbées.
(Séisme superficiel: 20 km)

Dt: Ecart sur le temps origine (s).
Dh: Ecart sur l'épicentre (km).
Dz: Ecart sur la profondeur (km).
Np,Ns: Nombre de phases P et S prises en compte.
GAP: Lacune azimutale dans la répartition des stations (°).
DMIN: Distance épicentrale de la station la plus proche (km).
RMS: Moyenne quadratique pondérée des résidus aux stations (s).
ERH,ERZ: Erreurs statistiques sur l'épicentre et la profondeur (km).

MODELE EXACT: VITESSES: 6.0/6.8 INTERFACE: 25 km VP/VS = 1.70

PERTURBATIONS DU MODELE:

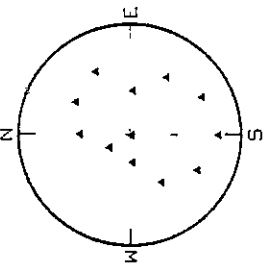
No 1: MODELE NON PERTURBE
No 2: VITESSES: 5.8/6.6
No 3: VITESSES: 6.2/7.0
No 4: VP/VS = 1.67
No 5: VP/VS = 1.73
No 6: INTERFACE: 20 km
No 7: INTERFACE: 30 km
No 8: MODELE NON PERTURBE PAS DE CORRECTION D'ALTITUDE

Les diagrammes indiquent la répartition des stations.
Noter en 2D: GAP voisin de 180° (ou 360° en c) et ERH = 99.0 (latitude fixée).

a TEMPS D'ARRIVEE EXACTS

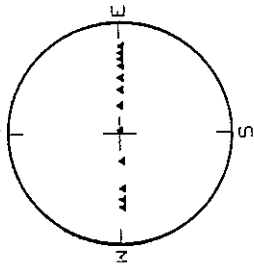
TROIS DIMENSIONS

No	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	0	.1	-0	12	12	31	2	.01	1.6	2.8
2	-2	.8	-1.5	12	12	32	3	.07	1.6	2.9
3	2	.8	1.5	12	12	39	2	.07	1.6	3.0
4	-5	2.5	-1.9	12	12	37	5	.21	1.6	3.0
5	5	2.7	1.8	12	12	64	1	.21	1.7	3.1
6	-6	2.4	7.4	12	12	63	0	.21	1.7	3.1
7	6	2.1	-6.8	12	12	32	5	.21	1.6	2.9
8	3	1.5	2.0	12	12	54	1	.12	1.6	2.9
9	-3	1.5	-1.9	12	12	34	4	.13	1.6	2.9
10	-0	4.5	7.4	12	12	58	6	.12	1.6	2.9



DEUX DIMENSIONS

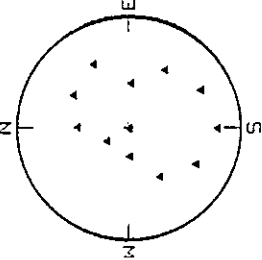
No	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	0	.1	-1	12	12	182	2	.01	99.0	2.7
2	-2	.2	-1.1	12	12	182	2	.08	99.0	2.7
3	2	.3	1.0	12	12	182	3	.09	99.0	2.7
4	-7	-7	-3	12	11	182	2	.23	99.0	2.8
5	7	.7	.1	12	11	182	3	.23	99.0	3.0
6	-5	.5	5.9	12	11	182	3	.21	99.0	2.9
7	5	.5	-5.8	12	11	182	2	.20	99.0	2.7
8	-4	.4	1.2	12	12	182	3	.15	99.0	2.8
9	-4	.4	-1.0	12	12	182	2	.14	99.0	2.8
10	-2	3.5	9.0	12	12	182	1	.08	99.0	2.7



b TEMPS D'ARRIVEE BRUTES

TROIS DIMENSIONS

No	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	2	.6	-2.8	12	10	38	2	.23	1.7	3.6
2	-2	.6	-.9	12	9	39	3	.19	1.8	3.7
3	-1	3.6	3.3	12	10	65	2	.26	1.9	3.4
4	-3	3.4	-4.5	12	7	54	5	.21	1.6	3.0
5	4	3.5	3.7	12	8	62	3	.18	1.9	3.7
6	1	.6	-1.7	12	5	37	3	.18	1.9	3.4
7	4	2.4	-5.1	12	10	37	5	.21	1.7	3.1
8	1	1.0	3.5	12	9	52	3	.28	1.9	3.3
9	1	1.5	-5.2	12	8	38	4	.26	1.9	3.9
10	0	5.8	6.1	12	5	52	8	.25	2.2	4.7



DEUX DIMENSIONS

No	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	3	.6	-3.1	12	11	182	3	.21	99.0	2.9
2	-1	.3	-1.9	12	7	182	3	.20	99.0	4.0
3	3	.5	-.9	12	6	182	2	.18	99.0	4.1
4	-7	1.8	1.0	12	9	182	1	.25	99.0	3.3
5	1.0	.1	-5.0	12	6	182	3	.26	99.0	3.7
6	1	.9	-.8	12	6	182	3	.28	99.0	3.3
7	2	1.3	-1.6	12	6	182	1	.18	99.0	3.6
8	8	1.6	-3.8	12	9	182	1	.17	99.0	3.0
9	-3	1.2	-1.5	12	10	182	1	.23	99.0	3.1
10	-0	4.4	7.9	12	11	182	2	.24	99.0	3.2

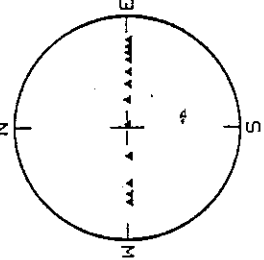


TABLE III.D

Essais comparatifs de localisations en 3D et en 2D pour diverses perturbations.
(Système intermédiaire: 150 km)

Dt: Ecart sur le temps origine (s).
Dh: Ecart sur l'épicentre (km).
Dz: Ecart sur la profondeur (km).
Np, Ns: Nombre de phases P et S prises en compte.
GAP: Lacune azimutale dans la répartition des stations (°).
DMIN: Distance épicentrale de la station la plus proche (km).
RMS: Moyenne quadratique pondérée des résidus aux stations (s).
ERH, ERZ: Erreurs statistiques sur l'épicentre et la profondeur (km).

MODELE EXACT: VITESSES: 6.0/6.8/8.2 INTERFACES: 25 km/50 km VP/VS = 1.73

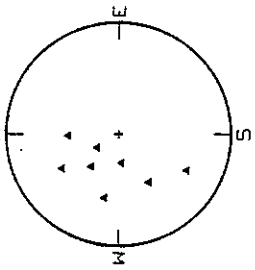
PERTURBATIONS DU MODELE:

No 1: MODELE NON PERTURBE
No 2: VITESSES: 5.8/6.6/8.2 CROUTE LENTE
No 3: VITESSES: 6.2/7.0/8.2 CROUTE RAPIDE
No 4: VITESSES: 6.0/6.8/7.9 MANTEAU LENT
No 5: VITESSES: 6.0/6.8/8.5 MANTEAU RAPIDE
No 6: VP/VS = 1.70
No 7: VP/VS = 1.76
No 8: INTERFACES: 20 km/40 km CROUTE MINCE
No 9: INTERFACES: 30 km/60 km CROUTE EPAISSE
No 10: MODELE NON PERTURBE PAS DE CORRECTION D'ALTITUDE

c TEMPS D'ARRIVEE BRUTES SEISME HORS RESEAU

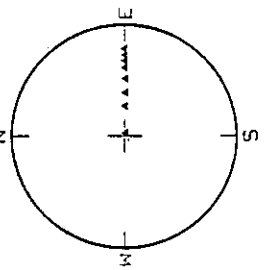
TROIS DIMENSIONS

No	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	0	.1	-0	8	8	209	48	.01	3.4	2.7
2	-7	.6	3.3	8	3	209	48	.21	4.5	5.5
3	-2	2.1	5.7	8	7	208	48	.26	4.7	3.7
4	-1.2	2.2	6.9	8	5	208	47	.23	3.3	4.4
5	5	1.6	2.2	8	4	210	48	.22	3.9	4.3
6	-4	2.1	7.1	8	5	209	46	.19	5.1	4.1
7	8	2.3	-7.0	8	5	209	46	.22	4.3	5.0
8	5	8.8	-5.8	8	6	216	54	.19	3.0	4.0
9	2	5.3	-3.8	8	5	208	43	.22	3.7	4.3
10	2	4.1	6.1	8	7	210	51	.26	4.0	3.3



DEUX DIMENSIONS

No	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	0	.2	-0	8	8	357	3	.01	99.0	3.1
2	1	.2	-4.5	8	5	356	2	.24	99.0	4.2
3	5	.9	-2.0	8	7	357	3	.18	99.0	3.3
4	-4	6.3	1.9	8	4	186	4	.33	99.0	5.8
5	-3	9.6	3.6	8	6	359	12	.22	99.0	3.8
6	-7	7.4	2.7	8	5	359	10	.20	99.0	5.4
7	1.5	7.2	-11.7	8	4	183	5	.18	99.0	3.9
8	-2	4.1	2.3	8	4	358	7	.18	99.0	6.7
9	7	7.4	-7.0	8	4	183	5	.17	99.0	4.4
10	-5	7.8	5.5	8	6	184	5	.18	99.0	3.5



2.3 - Tests en 2D des corrections sources-stations

Nous avons déjà fait état des variations à la fois rapides et importantes de la croûte dans notre région d'étude. Cette circonstance s'ajoute aux variations d'altitude pour provoquer des écarts sur les temps de parcours, variables suivant les positions relatives du foyer et des stations.

La figure III.2 montre une tentative de modélisation à deux dimensions de la croûte, perpendiculairement à l'axe général des structures sud-péruviennes (fosse, côte, chaîne andine). Les échelles horizontale et verticale sont identiques. Les six exemples présentés sont des cas typiques de séismes intermédiaires localisés au Pérou Sud.

Le programme PROMOS est utilisé pour calculer des temps de parcours exacts pour les différents exemples présentés. Les vitesses des ondes P choisies pour les quatre couches sont: 5.1, 6.0, 6.8, 8.2 km/s. Les localisations sont ensuite lancées en 2D avec HYPOINVERSE après avoir défini trois sous-réseaux et leurs modèles respectifs: en suivant le trajet des rais, on voit comment l'on peut attribuer aux stations des modèles adéquats. Par exemple, pour le cas A (figure III.2), on peut distinguer les sous-réseaux suivants:

Stations	Modèles
A B C D E	3
F G H	2
I J K L	1

(voir figure III.2 les barres verticales délimitant les sous-réseaux).

Les trois modèles mis en oeuvre sont les mêmes dans les six cas, seule varie d'un cas à l'autre l'attribution des modèles aux stations :

Modèle 1		Modèle 2		Modèle 3	
km/s	km	km/s	km	km/s	km
6.0	0.0	6.0	0.0	6.0	0.0
6.8	30.0	6.8	25.0	6.8	20.0
8.2	65.0	8.2	55.0	8.2	40.0

(Vitesse des ondes P de la couche en km/s

Profondeur du sommet de la couche en km)

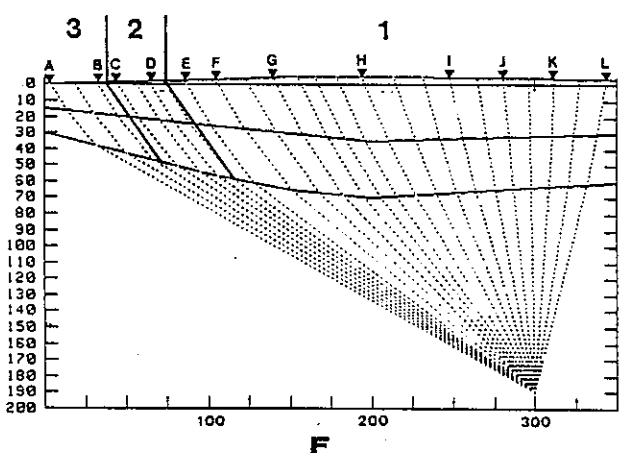
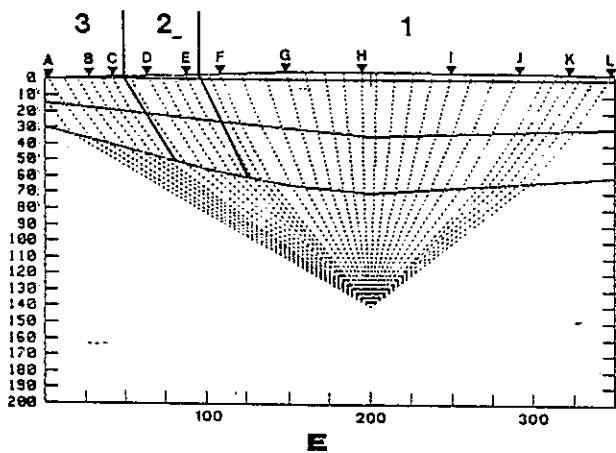
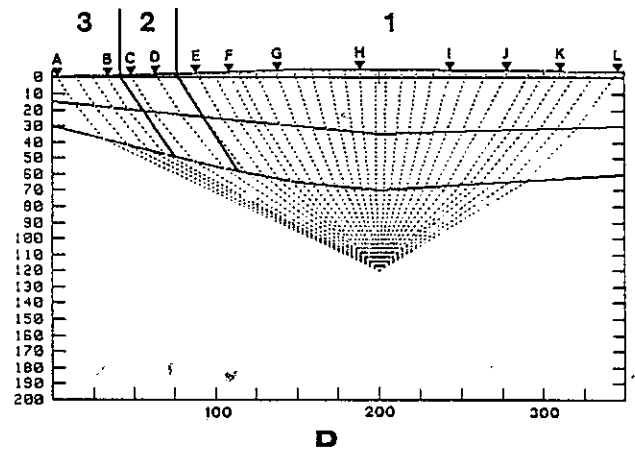
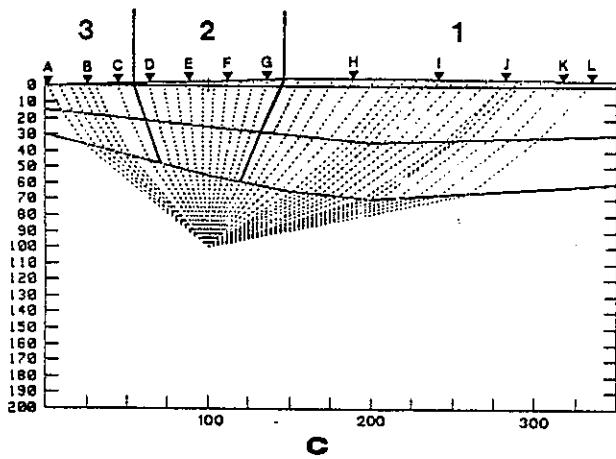
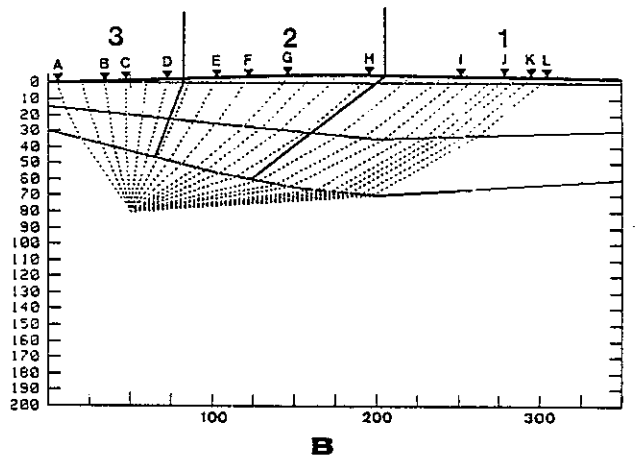
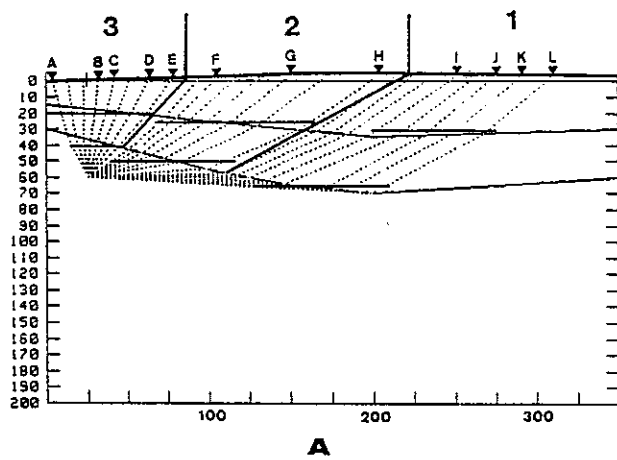


Figure III.2 - Corrections sources-stations: altitude et modèles de vitesses.

Sur le cas A nous montrons comment l'on peut approcher le cas réel de structures non planes par l'utilisation de trois modèles de vitesses (1, 2, 3) affectés à trois sous-réseaux; modèle 1: stations I, J, K, L; modèle 2: stations F, G, H; modèle 3: stations A, B, C, D, E. Les traits horizontaux figurent les modèles utilisés pour la localisation.

EXPLOITATION DU PROGRAMME HYPOINVERSE

La correction d'altitude est effectuée avec la vitesse 5.0 km/s des ondes P de la première couche.

Ces localisations sont ensuite comparées à celles qui sont réalisées, également en 2D, mais sans correction d'altitude et avec un modèle moyen unique identique pour l'ensemble du réseau:

km/s	km
6.0	0.0
6.8	25.0
8.2	50.0

Les résultats sont rassemblés sur la table
III.E.

SEISME	CORR.	Dt(s)	Dh(km)	Dz(km)	%	RMS(s)	N
A	(oui	-0.1	0.9	-0.3	1	0.28	24
	(non	1.8	2.2	-18.1	30	0.46	19
B	(oui	0.3	1.3	-2.4	3	0.21	24
	(non	1.0	8.7	-8.7	11	0.38	24
C	(oui	0.1	1.4	-0.3	0	0.15	24
	(non	0.2	12.5	4.2	4	0.15	24
D	(oui	-0.1	0.7	1.4	1	0.17	24
	(non	-0.5	5.1	17.2	14	0.28	24
E	(oui	0.0	0.5	1.3	1	0.16	24
	(non	-0.6	6.1	17.0	12	0.30	24
F	(oui	-0.1	0.6	0.7	0	0.18	24
	(non	-0.3	1.0	14.3	8	0.41	22

Table III.E - Effets des corrections de modèles.
N: Nombre total de phases prises en compte.
Les autres notations sont celles de la table III.A.

LOCALISATION DES SEISMES

Plus ou moins importante suivant les cas, la détérioration de la localisation provoquée par l'usage d'un modèle unique est toujours très nette. Le plus souvent, elle se traduit par une augmentation de RMS et/ou une diminution du nombre de phases prises en compte pour la localisation.

Rappelons que ces essais mettent en oeuvre des relocalisations en 2D par HYPOINVERSE: nous avons étudié en 2.2 le comportement du programme dans ces situations.

Nous obtenons en effectuant les corrections d'altitude et de modèles des relocalisations très précises; en fait, les "données" sont des temps calculés exacts et aucune autre perturbation que celle due à une plus ou moins bonne modélisation ne vient affecter la structure de vitesses. Nous nous assurons ainsi de tester uniquement, sur des cas simples, l'utilité de la prise en compte des variations d'altitude et d'épaisseur de croûte, toutes choses égales par ailleurs. Cela se ramène en fin de compte à réaliser des corrections sources-stations, lesquelles sont très usuellement pratiquées par de nombreux auteurs, au prix d'un calcul préalable de "délais" fixes pour chaque station (voir p.e Hasegawa et Sacks, 1981). Ces corrections sont rendues ici automatiques grâce à l'usage de trois modèles. Au besoin, il est également possible de tenir compte d'éventuelles particularités locales de la structure, quand elles sont connues.

Dans la pratique, il faudra: 1) rassembler les événements issus des premières localisations en plusieurs groupes se ramenant à un cas type modélisé comme précédemment (figure III.2); 2) déterminer pour chaque groupe la répartition modèles-stations adéquate. Il faut insister sur le fait que le choix de ces répartitions se base toujours sur un modèle unique, inspiré des résultats disponibles sur la structure.

L'extension de cette pratique aux cas réels impose la restriction suivante: j'adopterai pour l'ensemble de notre région d'étude un modèle présentant une symétrie cylindrique axée sur la direction générale NW-SE des Andes. Ce faisant, les variations latérales (inconnues, si elles existent) qui se présenteraient pourront perturber les localisations faites alors en 3D; ces perturbations ne peuvent donc pas être étudiées au moyen d'essais en 2D. A ce niveau de détail, il devient nécessaire de mettre en oeuvre des techniques d'inversion plus sophistiquées.

Si cette approche est relativement simple dans le cas des séismes intermédiaires localisés sous la croûte, elle se montre plus délicate pour les séismes

EXPLOITATION DU PROGRAMME HYPOINVERSE

crustaux, du fait, essentiellement, du rôle prépondérant des rais réfractés dans les couches inférieures. En tout état de cause, un examen attentif des listes de résultats fournies par le programme est toujours nécessaire pour interpréter les anomalies provoquées par l'inadéquation du modèle.

Dans le but -entre autres- de guider ces interprétations, j'ai réalisé de nombreux tests sur données synthétiques, que je me propose de discuter maintenant.

3. SIMULATION DES CAS REELS AVEC DES DONNEES SYNTHETIQUES.

3.1 - Les idées générales.

Il s'agit de tester le programme HYPOINVERSE en relocalisant des séismes fictifs pour lesquels on aura calculé des temps de parcours exacts. Plusieurs idées motivent la mise en oeuvre de cette procédure:

.Mettre en évidence, à partir de tous les temps d'arrivée exacts, les effets de perturbations apportées aux modèles de structures (valeur des vitesses de propagation, épaisseur des couches, rapport V_p/V_s): les observations les plus significatives peuvent être retenues pour guider l'interprétation des anomalies constatées dans les cas réels en termes d'erreurs dans le choix des structures.

.Estimer les erreurs de localisation proprement dites en tentant de reconstituer les cas réels d'une manière aussi réaliste que possible: le réseau est l'image du réseau réel, les temps d'arrivées sont bruités pour simuler les erreurs de lectures aléatoires et le nombre de phases doit être ramené à une valeur proche de la réalité, en particulier pour les ondes S. Pour ce faire, on peut mettre à profit les pondérations effectuées par le programme en fonction: 1) de la distance épacentrale des stations et 2) des résidus calculés; les temps exacts seront perturbés par un bruit aléatoire présentant une distribution normale d'écart-type 0.2s pour les ondes P et 0.8s à 1s pour les ondes S. Ces valeurs tiennent largement compte des écarts réellement observés (cf Chapitre II).

.Situer les cas de mauvaises localisations et, corrélativement, établir un inventaire de tous les détails qui doivent permettre de déceler une mauvaise localisation dans les cas réels.

LOCALISATION DES SEISMES

.Dégager si possible des critères assez généraux de sélection des événements en fonction de la stabilité de leur localisation.

3.2 - Mise en oeuvre.

Dans un premier temps, un programme calcule donc des temps de parcours exacts pour un choix de séismes typiques de la zone étudiée et pour un réseau correspondant aux réseaux réels. Pour tous ces calculs, j'ai choisi les modèles suivants:

Intermédiaires

6.2 0.0
8.2 50.0

Vp/Vs= 1.73

Superficiels

5.5 0.0
6.0 5.0

6.8 25.0
8.0 50.0

Vp/Vs= 1.70

(Carte figure III.3a)

(Carte figure III.3b)

Tous ces tests sont réalisés avec une structure en couches planes et en trois dimensions.

A titre de vérification, préliminaire, un premier essai avec tous les temps de parcours exacts m'a permis de m'assurer que, en l'absence de toute perturbation, HYPOINVERSE relocalise très bien les séismes fictifs, dans tous les cas. J'ai mis à profit cet essai pour évaluer l'effet d'une erreur de 500 m sur les coordonnées des stations: sur les cartes au 1/100.000 dont nous disposons, cela correspond à une erreur de 5 mm. On peut estimer que les stations, pour la plupart, ont pu être situées avec une erreur inférieure à 300 m (soit 3 mm sur les cartes). J'ai pu constater que les erreurs ainsi provoquées s'intègrent dans la marge des erreurs aléatoires admises.

Finalement, j'ai ainsi lancé de nombreuses séries de localisations, les paramètres relatifs au modèle de structure variant de l'une à l'autre. A la fin de chaque série, on peut exploiter les statistiques effectuées sur les résidus (P et S) mais aussi sur les rapports Vp/Vs réellement pris en compte lors des localisations (rapport des temps observés Tp et Ts tels qu'ils se trouvent dans les résultats fournis par le programme).

Avec les temps de parcours exacts, j'ai étudié tous les cas de figure: croûte lente, croûte rapide,

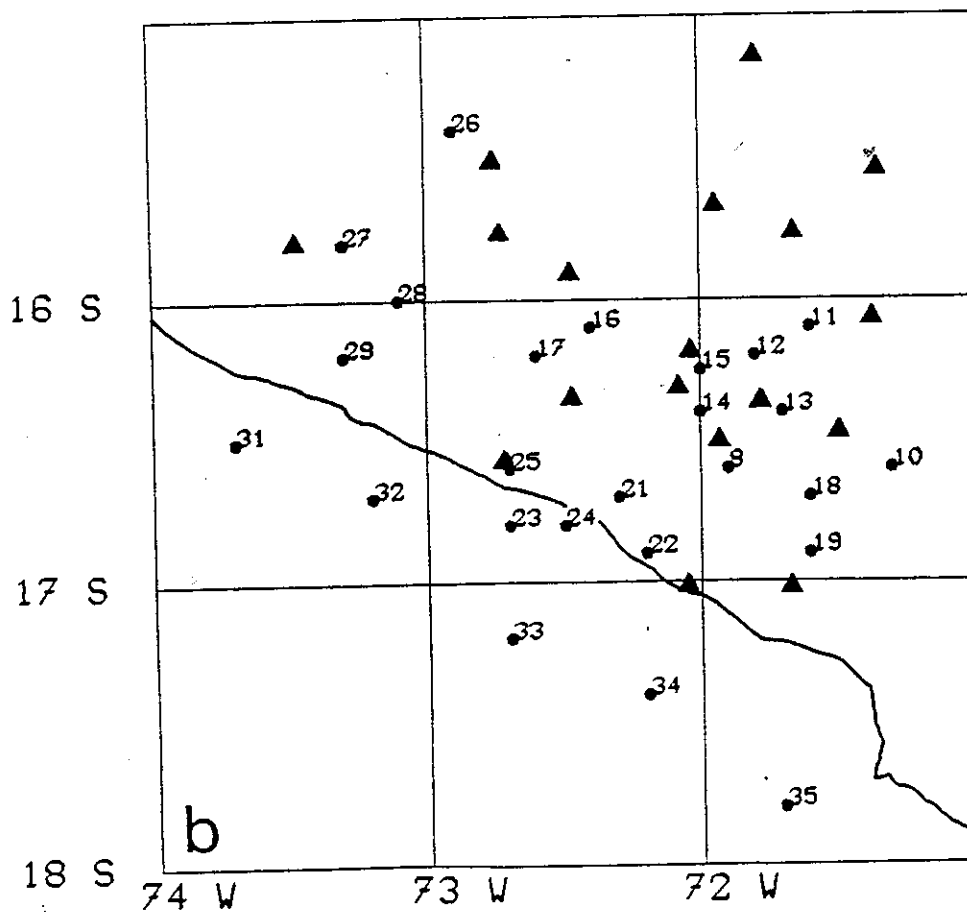
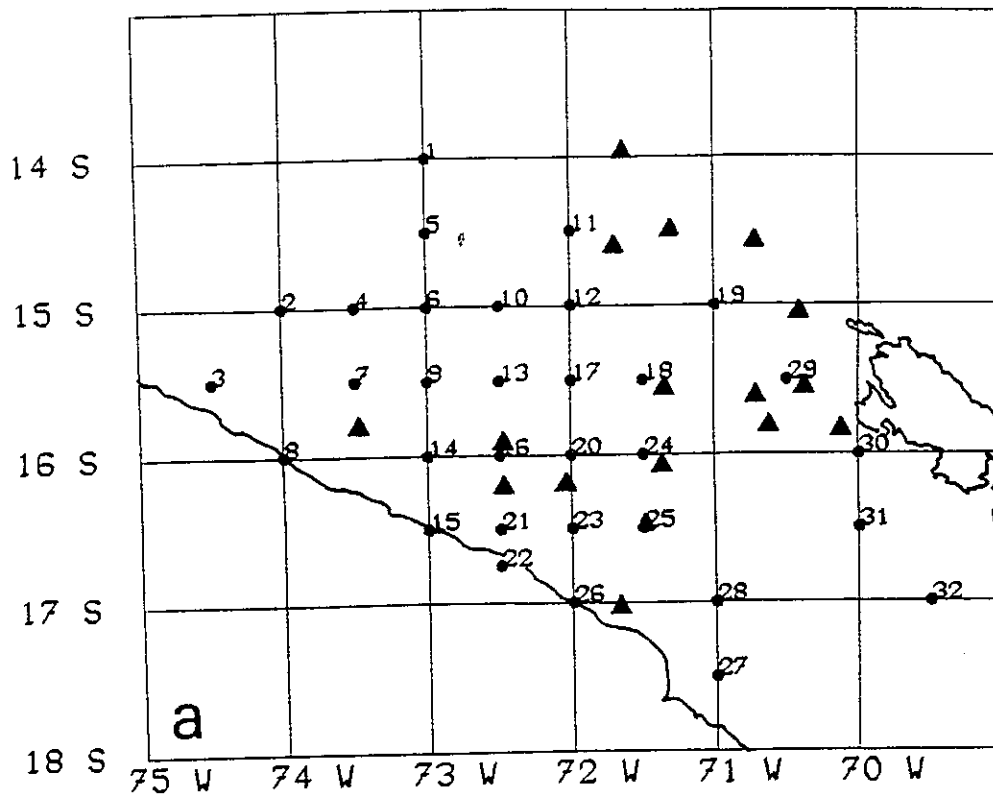


Figure III.3 - Localisation des séismes fictifs.

a - Séismes intermédiaires, réseau 80; b- Séismes crustaux, réseau 81.

LOCALISATION DES SEISMES

manteau lent, manteau rapide, croûte mince, croûte épaisse, V_p/V_s grand, V_p/V_s petit. Un seul paramètre était perturbé à chaque étape. Cette manière de procéder est certes tout à fait artificielle; on y observe bien du reste les comportements caractéristiques des méthodes de moindres carrés: les résidus sont minimisés en fonction des paramètres que l'on fournit au programme. Néanmoins, j'ai pu ainsi caractériser les perturbations par leurs effets et disposer de références propres à guider la recherche ultérieure des structures les mieux adaptées.

Avec les temps de parcours bruités, il sera intéressant de tenter de simuler les cas réels, où toutes ces perturbations ne sont pas indépendantes et agissent conjointement, leurs effets pouvant tout autant se compenser que s'ajouter.

Je présente une sélection d'essais de localisations représentatifs de situations rencontrées dans la pratique: tous sont réalisés à partir des temps de parcours bruités.

3.3 - Présentation des résultats

Les tables des pages suivantes rassemblent quelques séries de tests réalisés en combinant d'une manière quelconque les perturbations qui peuvent se présenter dans la réalité. Ces dernières affectent les modèles exacts indiqués plus haut et sont précisées pour chaque tableau.

Nous devons établir des critères de sélection des événements en fonction de l'exactitude de leur localisation: nous mettrons à profit les essais qui suivent pour tester l'efficacité des critères suivants:

$N_p + N_s > 8$	avec $N_s > 0$	Des symboles indiquent,
$GAP < 300^\circ$		sur les tables, les ef-
$DMIN < Z$		fets de ces critères.
$RMS < 0.4$ s		(légende table III.F)

(Les notations sont explicitées en table III.C)

Table III.F: Séismes intermédiaires "centraux"
(n°9 à 27, carte III.3a) localisés par le réseau 1981.

Dans la grande majorité des cas, les écarts restent nettement inférieurs à 10 km. La plupart des mauvaises localisations sont décelées par les critères retenus. Les cas 9, 10 et 12 montrent des situations extrêmes où les perturbations conjuguent leurs effets.

.Table III.G: Les mêmes, localisés par le réseau 1980.

Dans l'ensemble, les observations sont les mêmes. Malgré une réduction du nombre de phases prises en compte, les localisations présentent une stabilité convenable, en raison de la plus grande extension du réseau.

.Table III.H: Séismes intermédiaires marginaux du NW (n° 1 à 8 carte III.3a) et du SE (n° 28 à 32 carte III.3a) localisés par le réseau 1981.

Ces événements se montrent plus sensibles aux perturbations et l'on devra s'attendre à éliminer des localisations finales un bon nombre d'entre eux, surtout pour ceux du NW. Les critères de sélection se montrent à cet égard assez fiables.

.Table III.I: Séismes superficiels "centraux" (n° 8 à 29 carte III.3b) localisés par le réseau 1981.

.Table III.J: Les mêmes, en réduisant le nombre de phases.

.Table III.K: Séismes superficiels "off shore" (n° 31 à 35 carte III.3b) localisés par le réseau 1981.

La localisation des séismes superficiels se montre très sensible aux perturbations sur la profondeur des interfaces et sur le rapport V_p/V_s . Cela vient du fait que l'on localise des séismes superficiels par un réseau relativement étendu, ce qui multiplie le nombre des trajets réfractés. Ces rais partant vers le bas, combinés aux rais partant vers le haut, contribuent à fixer l'hypocentre. Cela se traduit par des erreurs statistiques ERH et ERZ en général faibles, parfois artificiellement, pour peu que la profondeur choisie pour l'interface réfracteur soit erronée. Au contraire, dans certains cas, l'hypocentre est fixé au voisinage d'un interface, tous les rais partant alors à l'horizontale: le programme perd le contrôle de la profondeur et ERZ est très grand sans que la localisation soit nécessairement erronée.

On note qu'un grand nombre d'évènements sont éliminés à tort par les critères de sélection (carrés noirs). C'est le choix $DMIN<Z$ qui se montre trop sévère: nous pourrions retenir $DMIN<2Z$ pour les séismes superficiels. Moyennant quoi, pour la plupart des localisations sélectionnées, les écarts dépassent rarement 6km. La réduction du nombre des phases (table III.J) se traduit par un plus grand nombre de séismes mal localisés, mais ces

1 RESEAU 1981 SANS PERTURBATIONS

2 RESEAU 1981 VITESSES: 6.3/8.3 MOHO: 50 km VPVS: 1.71

No	LAT	LONG	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
9	15.50	73.00	100	.3	2.6	-1.3	10	7	191	25.	.13	2.4	3.2
10	15.00	72.50	120	.6	6.1	-2.3	10	4	226	56.	.23	3.8	7.1
11	14.50	72.00	120	-4	4.5	.9	4	2	296	77.	.18	10.9	6.5
12	15.00	72.00	120	-4	1.9	3.4	9	5	254	27.	.19	4.0	5.1
13	15.50	72.50	100	-0	.7	.8	13	10	152	26.	.22	2.3	4.0
14	16.00	73.00	90	-7	3.6	6.6	11	5	148	43.	.21	3.2	4.7
15	16.50	73.00	100	.0	2.6	-2.9	11	5	211	33.	.22	3.9	5.8
16	16.00	72.50	110	.0	4	1.5	16	10	85	12.	.23	2.2	3.6
17	15.50	72.00	130	.9	4.4	-7.6	13	6	114	46.	.21	2.2	4.4
18	15.50	71.50	140	.1	2.2	-1.5	13	8	134	15.	.20	2.7	3.7
19	16.00	71.00	180	-3	.8	3.3	15	9	290	59.	.13	15.0	5.6
20	16.00	72.00	120	-1	3.1	-1	14	8	117	20.	.23	2.7	3.5
21	16.50	72.50	100	-2	1.8	2.7	14	5	196	31.	.21	2.5	3.8
22	16.75	72.50	60	-1	1.1	1.7	13	10	117	25.	.27	2.2	3.7
23	16.50	72.00	100	-3	3.2	2.3	15	9	113	16.	.16	2.4	3.5
24	16.00	71.50	140	-2	1.5	1.5	12	11	172	3.	.22	2.5	3.2
25	16.50	71.50	120	-5	4.0	4.4	11	8	214	6.	.22	2.4	4.7
26	17.00	72.00	60	.6	15.7	25.0	6	3	306	83.	.70	16.3	23.8
27	17.50	71.00	80										

3 RESEAU 1981 VITESSES: 6.1/8.1 MOHO: 55 km VPVS: 1.74

4 RESEAU 1981 VITESSES: 6.0/8.3 MOHO: 55 km VPVS: 1.75

No	LAT	LONG	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
9	15.50	73.00	100	-2	3.3	-2.1	10	8	191	23.	.19	2.4	3.1
10	15.00	72.50	120	-8	4.8	6.5	10	2	227	57.	.21	4.1	8.3
11	14.50	72.00	120	-1	5.4	-1.2	4	2	292	68.	.23	10.7	6.7
12	15.00	72.00	120	-3	3.9	-0	10	5	241	24.	.22	3.6	4.8
13	15.50	72.50	100	-4	.8	.2	13	7	149	27.	.24	2.2	4.1
14	16.00	73.00	90	-1.3	2.6	8.6	10	3	145	42.	.23	3.5	5.5
15	16.50	73.00	100	.0	2.4	-6.5	10	5	219	32.	.24	3.9	6.0
16	16.00	72.50	110	-4	1.7	.7	16	8	82	11.	.21	2.1	3.7
17	15.50	72.00	130	1.0	6.3	-13.4	14	6	112	45.	.24	2.1	4.5
18	15.50	71.50	140	.4	4.7	-7.5	13	8	122	19.	.21	2.6	3.6
19	16.00	71.00	180	1.2	21.5	-5.9	4	4	286	54.	.14	14.2	5.2
20	16.00	72.00	120	-5	.8	.2	15	9	66	19.	.20	1.8	3.6
21	16.50	72.50	100	-6	2.2	-3	14	6	115	20.	.20	2.7	3.4
22	16.75	72.50	60	-9	.2	6.3	14	4	204	31.	.21	2.7	3.5
23	16.50	72.00	100	-2	1.8	-1.9	13	9	114	22.	.22	2.1	3.3
24	16.00	71.50	140	-4	2.7	-1.4	15	9	101	18.	.18	2.4	3.5
25	16.50	71.50	120	.1	5.1	-4.6	12	10	113	5.	.20	2.2	3.2
26	17.00	72.00	60	-7	.7	2.7	11	7	164	6.	.23	2.3	4.7
27	17.50	71.00	80	-1.2	7.6	11.2	4	3	332	85.	.05	11.0	10.1

Table III.F - Tests de relocalisation de séismes fictifs avec des données bruitées et pour diverses perturbations au modèle exact (voir texte): séismes intermédiaires "centraux", réseau 1981.

Les perturbations du modèle exact sont indiquées en tête de chaque série.
 No: numéro du séisme fictif (carte figure III.3a); LAT, LONG, Z: hypocentre exact; les autres notations ont la même signification qu'en tables III.C et III.D.
 Effet des critères de sélection des événements (voir texte): ●, séismes mal localisés et éliminés par les critères; Δ, séismes mal localisés mais non éliminés; ■, séismes correctement localisés mais éliminés.

5 RESEAU 1981 VITESSES: 6.3/8.3 MOHO: 45 km VPVS: 1.71

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERI	ERZ
9	15.50	73.00	100	.3	1.9	2.4	10	7	196	28.	.20	2.7	3.5
10	15.00	72.50	120	.6	3.9	-7.7	8	3	234	61.	.16	5.4	8.7
11	14.50	72.00	120	-6.6	5.9	7.6	3	4	297	79.	.19	10.7	9.5
12	15.00	72.00	120	-7.3	7.7	9.5	8	3	263	31.	.22	5.2	5.7
13	15.50	72.50	100	-3.7	3.2	8.7	13	10	159	25.	.28	2.6	4.7
14	16.00	73.00	90	-2.2	4.2	6.9	11	4	149	36.	.21	3.2	4.6
15	16.50	73.00	100	-5.5	9.2	4.7	11	4	218	44.	.27	4.3	6.4
16	16.00	72.50	110	.3	.5	4.3	16	8	85	12.	.23	2.2	3.9
17	15.50	72.00	130	.5	1.9	1.5	13	6	118	47.	.23	2.5	4.5
18	15.00	71.50	140	-3.3	5.6	5.9	13	8	152	11.	.21	3.0	3.8
19	15.00	71.00	180	4.9	24.7	-28.6	5	5	283	52.	.06	43.8	73.7
20	16.00	72.00	120	-7.3	1.5	8.2	15	9	66	20.	.20	2.1	4.0
21	16.00	72.00	100	.7	3.4	-3.8	14	6	118	21.	.22	2.7	3.8
22	16.75	72.50	60	.9	10.9	-4	11	5	219	36.	1.07	6.9	10.4
23	16.50	72.00	100	.3	1.6	1.8	13	7	117	25.	.19	2.3	3.6
24	16.00	71.50	140	-7.7	5.5	9.2	15	9	124	12.	.29	2.7	3.7
25	16.50	71.50	120	-5.5	3.7	8.1	12	11	190	6.	.30	3.1	3.7
26	17.00	72.00	60	-5.5	8.7	9.1	10	7	230	10.	.25	3.0	5.1
27	17.50	71.00	80	-2.0	19.3	9.9	2	2	337	105.	.02	60.9	78.0

6 RESEAU 1981 VITESSES: 6.2/8.0 MOHO: 60 km VPVS: 1.70

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERI	ERZ
9	15.50	73.00	100	-6.6	3.6	1.8	10	7	191	24.	.13	2.3	3.2
10	15.00	72.50	120	-6.6	6.9	3.9	10	5	224	56.	.26	3.9	7.1
11	14.50	72.00	120	-1.0	2.0	4.4	4	3	293	72.	.23	10.3	6.6
12	15.00	72.00	120	-1.3	.8	6.4	9	5	251	26.	.20	3.9	5.1
13	15.50	72.50	100	-1.1	.7	5.6	13	8	150	26.	.22	2.2	4.6
14	16.00	73.00	90	-2.0	3.0	14.7	11	4	147	43.	.21	3.6	5.6
15	16.50	73.00	100	-9.9	1.8	.7	10	5	227	33.	.22	3.8	5.7
16	16.00	72.50	110	-1.2	.3	6.4	16	10	84	12.	.23	2.2	4.5
17	15.50	72.00	130	.0	5.0	-5.3	13	6	113	46.	.20	2.7	3.7
18	15.00	71.50	140	-8.8	2.4	.8	13	8	131	16.	.20	2.7	3.7
19	15.00	71.00	180	3.0	28.1	-21.3	6	9	280	48.	.09	38.7	64.4
20	16.00	72.00	120	-1.3	.9	6.2	15	9	66	19.	.18	1.9	3.6
21	16.00	72.00	100	-1.1	2.7	3.9	14	7	116	20.	.21	2.6	3.4
22	16.75	72.50	60	-1.4	1.5	9.2	15	5	196	31.	.23	2.4	3.1
23	16.50	72.00	100	-1.0	2.6	4.1	13	10	115	23.	.24	2.1	3.6
24	16.00	71.50	140	-1.4	2.6	5.5	15	9	109	17.	.24	2.3	3.5
25	16.50	71.50	120	-1.0	2.4	3.4	12	11	151	3.	.16	2.4	3.2
26	17.00	72.00	60	-1.4	2.5	8.9	11	8	196	6.	.22	2.4	4.5
27	17.50	71.00	80	-1.1	16.1	39.7	6	2	304	74.	.57	14.6	17.0

7 RESEAU 1981 ONDES P SEULES

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERI	ERZ
9	15.50	73.00	100	.1	1.9	.9	16	0	192	25.	.17	4.4	7.8
10	15.00	72.50	120	-1.2	3.0	5.4	14	0	229	59.	.21	8.0	14.7
11	14.50	72.00	120	-1.6	11.2	8.9	8	0	298	84.	.12	43.7	40.4
12	15.00	72.00	120	1.8	10.4	-12.5	15	0	218	22.	.19	10.2	17.6
13	15.50	72.50	100	-3.3	1.2	4.2	16	0	154	26.	.19	3.1	8.4
14	16.00	73.00	90	-1.3	3.0	3.4	16	0	146	42.	.15	3.6	7.5
15	16.00	73.00	100	.3	1.4	-3.7	15	0	210	11.	.18	4.4	7.6
16	16.50	72.50	110	.2	1.2	.2	16	0	83	46.	.21	2.9	7.8
17	15.50	72.00	130	.4	1.4	-1.7	17	0	115	15.	.17	3.1	10.6
18	15.00	71.50	140	.3	3.5	-4.3	16	0	137	15.	.17	6.7	14.0
19	15.00	71.00	180	.6	6.8	-2.5	12	0	297	68.	.18	22.5	29.6
20	16.00	72.00	120	-4	.8	4.8	16	0	66	19.	.10	2.9	9.0
21	16.50	72.50	100	-1.1	1.6	4.8	16	0	112	18.	.19	3.0	6.9
22	16.50	72.50	60	-2.2	1.3	3.1	17	0	195	31.	.20	3.1	5.5
23	16.75	72.00	100	.5	1.3	-5.0	15	0	114	22.	.20	2.9	7.3
24	16.00	71.50	140	.3	2.1	-3.3	15	0	105	17.	.14	4.4	12.9
25	16.50	71.50	120	1.0	3.9	-9.0	14	0	123	3.	.16	4.9	10.0
26	17.00	72.00	60	-3.3	3.1	2.6	14	0	203	6.	.19	7.9	12.1
27	17.50	71.00	80	2.5	17.0	-17.1	10	0	304	73.	.15	33.1	11.8

8 RESEAU 1981 VITESSES: 6.1/8.1 MOHO: 55 km VPVS: 1.71

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERI	ERZ
9	15.50	73.00	100	-3	3.4	.2	10	7	191	24.	.13	2.4	3.2
10	15.00	72.50	120	-2.2	6.6	1.7	10	6	225	56.	.25	3.9	7.1
11	14.50	72.00	120	-1.0	2.5	3.3	4	2	294	75.	.19	10.9	6.7
12	15.00	72.00	120	-1.0	1.1	4.9	9	5	252	26.	.20	3.9	5.1
13	15.50	72.50	100	-8.8	.6	3.5	13	8	150	26.	.22	2.2	4.1
14	16.00	73.00	90	-1.7	3.4	12.1	11	4	147	43.	.21	3.3	5.1
15	16.50	73.00	100	-6.6	1.9	-1.0	10	5	227	33.	.22	3.8	5.8
16	16.00	72.50	110	-8	.3	4.8	16	10	84	12.	.23	2.2	3.7
17	15.50	72.00	130	.3	4.9	-6.7	13	6	113	46.	.22	2.2	4.5
18	15.00	71.50	140	-5.5	2.3	.4	13	8	132	16.	.20	2.7	3.7
19	15.00	71.00	180	3.4	27.0	-23.9	5	9	282	50.	.08	43.0	74.0
20	16.00	72.00	120	-1.0	.8	4.9	15	0	66	19.	.18	1.9	3.6
21	16.50	72.50	100	-8.8	2.7	2.2	14	7	116	20.	.22	2.7	3.4
22	16.50	72.50	60	-7.7	1.6	6.7	15	5	196	31.	.22	2.5	3.2
23	16.75	72.00	100	-1.0	4.4	2.9	13	10	115	24.	.25	2.1	3.7
24	16.00	71.50	140	-1.1	2.8	4.1	15	9	110	16.	.16	2.4	3.5
25	16.50	71.50	120	-7.7	2.3	2.2	12	11	154	3.	.20	2.4	3.2
26	17.00	72.00	60	-1.1	2.5	6.2	12	8	197	6.	.22	2.4	4.5
27	17.50	71.00	80	-2.0	8.4	14.2	2	2	334	91.	.02	67.0	72.8

Table III.F - (suite).

9 RESEAU 1981 VITESSES: 6.4/7.9 MOHO: 40 km VPVS = 1.70

10 RESEAU 1981 VITESSES: 6.0/8.0 MOHO: 40 km VPVS = 1.76

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
-9	15.50	73.00	100	-0	1.2	4.2	10	6	196	27	.16	2.8	3.5
9	15.00	72.50	120	.1	3.1	2.8	9	3	232	60	.15	5.1	8.6
10	14.50	72.00	120	-1.4	7.9	11.2	3	2	297	80	.07	13.2	6.9
11	15.00	72.00	120	-5	1.8	7.4	9	3	253	26	.17	5.5	6.1
12	15.50	72.50	100	-7	2.8	10.7	13	7	158	25	.23	2.4	4.4
13	16.00	73.00	90	-1.1	3.6	15.2	11	3	146	43	.22	3.5	5.1
14	16.50	73.00	100	-8	7.7	6.1	10	4	216	36	.24	4.8	7.0
15	16.00	72.50	110	-1	.4	5.3	15	6	84	12	.20	2.2	4.0
16	15.50	72.00	130	-3	3.2	6.3	13	7	111	44	.28	2.8	5.8
17	15.00	71.50	140	-6	4.0	5.8	13	8	143	12	.19	2.9	3.6
18	15.00	71.00	180	4.8	29.4	-29.3	7	0	277	45	.14	28.4	47.8
19	16.00	72.00	120	-7	1.3	9.2	15	7	67	20	.17	2.1	4.0
20	16.50	72.50	100	.4	3.2	-1.5	13	5	133	20	.20	2.9	4.2
21	16.75	72.50	60	.3	3.5	4.3	14	4	200	31	.22	2.8	4.0
22	16.50	72.00	100	-4	3.2	7.2	13	7	119	26	.28	2.5	4.0
23	16.00	71.50	140	-1.1	3.9	9.8	15	8	116	14	.16	2.6	3.6
24	16.50	71.50	120	-7	2.2	7.6	12	8	186	5	.25	2.8	3.5
25	17.00	72.00	60	-8	9.6	13.3	9	7	231	34	.23	3.0	4.6
26	17.50	71.00	80	-1.8	6.6	31.4	2	1	332	99	.61	3.0	4.6

11 RESEAU 1981 VITESSES: 6.0/8.5 MOHO: 60 km VPVS = 1.72

12 RESEAU 1981 VITESSES: 6.0/8.0 MOHO: 60 km VPVS = 1.76

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
9	15.50	73.00	100	-5	1.6	-0	10	8	194	25	.16	2.5	3.6
10	15.00	72.50	120	-6	3.4	4.4	10	5	229	58	.27	4.3	8.1
11	14.50	72.00	120	-7	3.5	.1	4	2	295	76	.19	12.9	8.1
12	15.00	72.00	120	-7	1.2	2.1	9	5	252	27	.19	3.9	5.2
13	15.50	72.50	100	-6	.8	.8	13	7	149	26	.22	2.4	4.6
14	16.00	73.00	90	-1.3	2.9	7.3	11	3	146	43	.18	3.4	5.6
15	16.50	73.00	100	-4	1.4	-4.1	10	4	225	33	.20	3.9	6.2
16	16.00	72.50	110	-5	.6	1.8	16	9	84	12	.20	2.1	3.9
17	15.50	72.00	130	.5	6.8	-5.6	12	6	127	40	.25	2.7	4.5
18	15.00	71.50	140	-3	2.0	-1.3	13	8	136	15	.18	2.6	3.8
19	15.00	71.00	180	5.1	29.2	-33.4	7	0	275	42	.16	36.8	52.7
20	16.00	72.00	120	-9	.9	4.8	15	8	66	19	.14	1.9	4.0
21	16.50	72.50	100	-7	2.7	.4	14	6	116	20	.20	3.0	3.9
22	16.75	72.50	60	-1.2	.4	5.2	14	3	204	31	.17	2.9	3.9
23	16.50	72.00	100	-5	.4	-1.1	13	7	115	23	.22	2.2	3.8
24	16.00	71.50	140	-7	3.2	1.9	15	8	113	16	.16	2.6	3.9
25	16.50	71.50	120	-3	2.7	-1.0	12	9	145	3	.19	2.4	3.5
26	17.00	72.00	60	-1.3	1.1	3.7	10	7	213	35	.19	3.2	6.3
27	17.50	71.00	80	-1.5	6.0	21.6	3	2	343	124	.14	62.8	76.5

Table III.F - (suite et fin).

1 RESEAU 1980 SANS PERTURBATIONS

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
9	15.50	73.00	100	-3	15.6	-4.9	4	2	264	72.	.07	17.9	8.5
10	15.00	72.50	120	.4	2.8	-7.5	8	5	170	99.	.19	2.9	7.5
11	14.50	72.00	120	-1.1	4.0	8.4	5	2	246	38.	.10	6.6	7.4
12	15.00	72.00	120	3.2	38.9	-2.2	4	1	289	17.	.87	21.3	17.1
13	15.50	72.50	100	.2	1.8	-1.8	7	5	149	45.	.15	2.5	6.0
14	16.00	73.00	90	-9	5.9	9.2	4	3	196	57.	.17	11.4	6.7
15	16.50	73.00	100	-3	9.4	-6.0	4	2	266	73.	.06	4.6	9.7
16	16.00	72.50	110	-1.1	1.0	2.0	8	5	113	12.	.23	3.7	6.1
17	15.50	72.00	130	.3	1.9	-1.5	8	5	151	68.	.20	2.5	5.0
18	15.50	71.50	140	.3	1.2	-2.6	11	6	102	16.	.18	2.5	5.0
19	15.00	71.00	180	-2	3.8	2.3	9	7	104	54.	.20	3.4	4.1
20	16.00	72.00	120	-2	2.4	2.9	8	5	125	17.	.19	3.0	5.6
21	16.50	72.50	100	.2	4.6	-3.5	7	5	189	37.	.19	3.0	5.6
22	16.75	72.50	60	-2	1.4	3.9	7	3	209	63.	.22	4.0	4.9
23	16.50	72.00	100	.2	2.8	-3.5	7	5	159	37.	.25	3.0	5.2
24	16.00	71.50	140	.1	.9	-7.7	10	4	100	16.	.20	3.6	5.9
25	16.50	71.50	120	-1	1.9	1.3	8	7	147	3.	.19	2.6	4.0
26	17.00	72.00	60	-5	3.9	4.9	6	5	247	35.	.20	3.7	6.1
27	17.50	71.00	80	-1.4	39.0	38.1	2	2	336	63.	.01	98.5	90.1

2 RESEAU 1980 VITESSES: 6.1/8.1

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
9	15.50	73.00	100	-2.3	22.6	7.2	4	0	270	77.	.01	28.4	26.7
10	15.00	72.50	120	-2.2	3.0	-7.6	8	3	171	99.	.21	3.3	7.6
11	14.50	72.00	120	-8	3.8	2.9	5	2	241	32.	.21	6.9	7.7
12	15.00	72.00	120	3.0	38.4	-4	4	1	290	17.	1.05	19.9	15.9
13	15.50	72.50	100	-1.0	2.3	6.0	7	1	149	45.	.09	2.9	10.8
14	16.00	73.00	90	-7	5.3	2.8	4	3	194	58.	.06	9.6	6.0
15	16.50	73.00	100	-5	6.8	-8.5	4	2	264	70.	.18	16.6	10.5
16	16.00	72.50	110	-7	2.2	2.7	8	2	105	10.	.17	3.5	5.9
17	15.50	72.00	130	.3	3.9	-4.5	8	3	153	69.	.19	4.0	8.7
18	15.50	71.50	140	.2	1.1	-8.3	11	6	102	17.	.22	2.5	4.8
19	15.00	71.00	180	.4	4.4	-9.1	9	6	106	54.	.22	3.8	4.2
20	16.00	72.00	120	-4	3.2	-8	8	4	124	17.	.23	2.8	6.1
21	16.50	72.50	100	-3	4.9	-5.6	7	4	189	38.	.19	4.5	4.6
22	16.75	72.50	60	-9	1.1	4.7	7	1	209	62.	.11	4.2	9.2
23	16.50	72.00	100	.2	3.4	-7.2	7	4	153	34.	.19	2.7	4.8
24	16.00	71.50	140	-0	1.5	-5.0	10	3	102	17.	.12	3.8	5.6
25	16.50	71.50	120	-5	3.1	-2	8	6	145	1.	.23	2.7	4.1
26	17.00	72.00	60	-4	2.6	-6.5	6	5	233	34.	.17	3.6	6.4
27	17.50	71.00	80	-9	50.0	36.1	2	2	335	50.	.02	98.6	31.3

2 RESEAU 1980 VITESSES: 6.1/8.1 MOHO: 55 km VPVS = 1.75

3 RESEAU 1980 SANS PERTURBATIONS ONDES P SEULES

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
9	15.50	73.00	100	2.6	297.8	20.0	3	0	321	1.	5.47	98.3	85.6
10	15.00	72.50	120	-1.1	3.8	-8	8	0	171	99.	.17	5.1	24.4
11	14.50	72.00	120	-1.6	5.8	12.8	5	0	249	40.	.08	13.3	24.0
12	15.00	72.00	120	3.3	38.4	-2.2	4	0	290	17.	.93	55.3	78.9
13	15.50	72.50	100	-1	2.4	3.1	7	0	149	45.	.08	4.1	15.3
14	16.00	73.00	90	-9	7.9	-1.4	4	0	199	59.	.01	16.1	22.3
15	16.50	73.00	100	-9	13.1	-1.9	4	0	289	76.	.01	23.8	26.6
16	16.00	72.50	110	.1	1.5	.1	8	0	107	10.	.16	5.3	8.9
17	15.50	72.00	130	-1	3.3	-7	8	0	153	68.	.15	5.1	22.1
18	15.50	71.50	140	.6	4.5	4.6	11	0	102	17.	.16	3.5	13.9
19	15.00	71.00	180	-5	4.5	4.6	9	0	105	54.	.16	6.4	24.4
20	16.00	72.00	120	-1.4	1.3	13.9	7	0	130	19.	.12	5.1	24.3
21	16.50	72.50	100	.4	5.4	-6.5	7	0	190	38.	.16	6.4	10.4
22	16.75	72.50	60	.6	3.8	-10.2	6	0	250	60.	.02	9.5	2.5
23	16.50	72.00	100	.9	2.8	-10.5	7	0	154	34.	.18	4.2	14.3
24	16.00	71.50	140	.7	1.5	-7.4	10	0	102	17.	.12	4.9	11.4
25	16.50	71.50	120	-1	2.0	.8	8	0	147	2.	.17	4.5	14.4
26	17.00	72.00	60	-6.8	34.3	60.1	4	0	295	42.	.20	51.8	84.3
27	17.50	71.00	80	.8	90.3	40.0	2	0	330	68.	2.43	51.8	84.3

4 RESEAU 1980 VITESSES: 6.3/8.3 MOHO: 50 km VPVS = 1.71

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
9	15.50	73.00	100	-6	20.8	-1.4	4	4	268	76.	.02	19.4	10.3
10	15.00	72.50	120	.0	3.4	3.0	7	4	196	100.	.18	3.6	8.6
11	14.50	72.00	120	-1.5	7.7	13.4	5	2	250	42.	.08	6.8	7.5
12	15.00	72.00	120	.8	1.5	-5.4	9	1	173	57.	.13	4.4	9.6
13	15.50	72.50	100	.2	1.8	2.3	7	5	149	45.	.16	2.6	6.1
14	16.00	73.00	90	-1.0	5.7	13.5	4	3	196	56.	.19	11.6	6.7
15	16.50	73.00	100	-7	14.3	-2.4	4	2	270	77.	.02	15.4	10.7
16	16.00	72.50	110	.4	1.5	-1.1	8	3	108	10.	.18	3.7	6.5
17	15.50	72.00	130	.3	2.6	-1.7	8	4	153	68.	.20	3.6	9.2
18	15.50	71.50	140	.3	3.7	9.9	11	5	102	16.	.23	2.7	9.2
19	15.00	71.00	180	-6	3.7	9.9	9	7	104	54.	.21	3.2	4.3
20	16.00	72.00	120	-1.3	2.7	15.5	7	3	130	19.	.14	3.2	7.1
21	16.50	72.50	100	.2	6.7	-1.7	7	5	191	39.	.24	4.0	5.2
22	16.75	72.50	60	.3	1.1	-2.4	7	5	209	62.	.09	3.9	11.7
23	16.50	72.00	100	.0	4.7	.8	7	5	163	38.	.30	3.3	5.7
24	16.00	71.50	140	-1.1	2.1	-8.3	10	1	102	17.	.12	3.7	9.1
25	16.50	71.50	120	-4	1.1	6.5	8	7	149	5.	.24	2.9	4.4
26	17.00	72.00	60	-5	5.8	6.8	6	5	251	35.	.24	3.9	6.3
27	17.50	71.00	80	-2.0	31.3	38.8	2	2	337	75.	.01	98.4	86.6

Table III.G - Texts de relocalisation de séismes fictifs pour le réseau 1980.

Mêmes légendes qu'en Table III.F.

5 RESEAU 1980 VITESSES: 6.1/8.1 MOHO: 55 km VPVS = 1.71

No	LAT	LONG	Z	Dt	Dh	Dz	Np	NS	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
9	15.50	73.00	100	-2.1	21.3	7.1	4	2	268	76.	.10	17.8	14.9
10	15.00	72.50	120	-3	2.6	-5.8	8	5	170	99.	.20	2.9	7.6
11	14.50	72.00	120	-1.8	3.0	10.6	5	2	245	37.	.11	7.0	7.7
12	15.00	72.00	120	-4	.8	-1.6	9	3	172	56.	.18	4.3	8.6
13	15.50	72.50	100	-5	1.9	-1	7	5	149	45.	.16	2.4	6.5
14	16.00	73.00	90	-1.4	5.8	10.0	4	3	196	57.	.14	10.8	6.5
15	16.50	73.00	100	-9	7.8	-4.2	4	2	265	72.	.08	14.2	9.1
16	16.00	72.50	110	-9	.6	4.6	8	5	112	12.	.22	3.7	6.0
17	15.50	72.00	130	-7	2.1	.6	8	5	151	69.	.21	3.6	7.7
18	15.50	71.50	140	-5	1.3	-8	11	6	102	16.	.18	2.5	5.0
19	15.00	71.00	180	-9	4.1	3.3	9	7	105	54.	.21	3.7	4.3
20	16.00	72.00	120	-9	2.5	4.2	8	5	125	17.	.20	3.0	5.7
21	16.50	72.50	100	-5	4.4	-1.7	7	5	189	37.	.14	3.9	4.8
22	16.75	72.50	60	-1.0	1.3	7.7	7	3	209	63.	.14	3.8	7.4
23	16.50	72.00	100	-5	2.6	-4	7	5	157	36.	.24	3.0	5.3
24	16.00	71.50	140	-7	.8	1.4	10	4	100	16.	.17	3.7	5.8
25	16.50	71.50	120	-8	2.3	2.5	8	7	146	2.	.20	2.6	4.1
26	17.00	72.00	60	-0	.8	1.3	6	4	238	36.	.62	5.3	9.7
27	17.50	71.00	80	-2.0	36.6	38.7	2	2	335	64.	.04	98.5	89.3

6 RESEAU 1980 VITESSES: 6.0/8.3 MOHO: 55 km VPVS = 1.75

No	LAT	LONG	Z	Dt	Dh	Dz	Np	NS	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
9	15.50	73.00	100	-2.0	22.0	4.4	4	0	270	76.	.00	28.9	25.4
10	15.00	72.50	120	.2	2.1	-10.9	8	5	170	98.	.25	3.0	7.7
11	14.50	72.00	120	-8	3.1	2.6	5	2	242	33.	.18	7.0	7.8
12	15.00	72.00	120	3.1	38.4	-3	4	1	290	17.	1.03	20.0	15.9
13	15.50	72.50	100	-6	2.2	3.1	7	3	149	44.	.14	2.7	9.7
14	16.00	73.00	90	-7	5.2	2.3	4	3	194	58.	.06	9.5	6.1
15	16.50	73.00	100	-1.5	13.0	-0	4	0	269	76.	.02	15.3	16.5
16	16.00	72.50	110	-5	1.8	1.4	8	2	107	10.	.15	3.5	5.9
17	15.50	72.00	130	-2	3.8	-4.7	8	3	152	69.	.19	3.7	8.1
18	15.50	71.50	140	.4	1.3	-8.6	11	6	102	16.	.21	2.5	4.9
19	15.00	71.00	180	.5	4.5	-7.5	9	6	106	54.	.21	3.9	4.2
20	16.00	72.00	120	-3	2.9	-1.1	8	4	125	17.	.21	2.8	6.1
21	16.50	72.50	100	-2	5.0	-6.6	7	4	189	38.	.18	3.9	4.4
22	16.75	72.50	60	-9	1.0	.6	7	1	209	62.	.09	4.6	12.4
23	16.50	72.00	100	.2	3.2	-8.0	7	4	154	34.	.19	2.8	4.9
24	16.00	71.50	140	.1	1.6	-5.1	10	3	102	17.	.11	3.6	5.3
25	16.50	71.50	120	-4	2.8	-7	8	7	147	2.	.24	2.1	4.2
26	17.00	72.00	60	-4	3.5	-2.3	6	3	231	34.	.17	4.1	7.2
27	17.50	71.00	80	-9	49.7	35.9	2	2	336	51.	.02	98.6	93.4

7 RESEAU 1980 VITESSES: 6.3/8.3 MOHO: 45 km VPVS = 1.71

No	LAT	LONG	Z	Dt	Dh	Dz	Np	NS	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
9	15.50	73.00	100	-6	23.2	-8	4	2	270	77.	.02	19.7	10.8
10	15.00	72.50	120	-1	4.4	4.6	8	5	172	100.	.19	3.3	7.8
11	14.50	72.00	120	-1.4	9.1	14.5	5	2	252	43.	.09	6.6	7.3
12	15.00	72.00	120	1.0	1.7	-5.3	9	1	173	57.	.14	4.4	9.8
13	15.50	72.50	100	.4	2.1	3.6	7	5	149	44.	.19	2.7	6.2
14	16.00	73.00	90	-9	5.8	14.6	4	2	196	56.	.20	11.6	6.6
15	16.50	73.00	100	-6	16.2	-1.5	4	2	271	78.	.05	16.2	11.5
16	16.00	72.50	110	.7	2.0	-4	8	3	106	10.	.21	4.2	7.4
17	15.50	72.00	130	.7	3.4	-2.8	8	3	154	68.	.17	3.4	9.8
18	15.50	71.50	140	.6	1.7	-5	11	4	102	17.	.21	2.7	6.1
19	15.00	71.00	180	-5	4.5	10.9	9	7	105	54.	.21	3.2	4.2
20	16.00	72.00	120	-1.3	3.2	17.3	7	3	131	19.	.15	3.3	7.1
21	16.50	72.50	100	-5	7.2	-2.5	7	5	191	40.	.25	3.8	5.3
22	16.75	72.50	60	1.2	2.2	-14.6	6	1	251	62.	.07	8.1	98.9
23	16.50	72.00	100	-2	5.9	5.2	7	5	166	40.	.34	3.6	6.2
24	16.00	71.50	140	1.4	2.6	-8.8	10	1	103	18.	.14	4.1	10.1
25	16.50	71.50	120	-3	2.3	6.7	8	7	151	6.	.24	3.1	4.5
26	17.00	72.00	60	-4	8.3	7.9	6	5	254	36.	.25	4.1	6.3
27	17.50	71.00	80	-2.0	30.4	39.0	2	2	337	78.	.04	98.3	85.6

8 RESEAU 1980 VITESSES: 6.2/8.0 MOHO: 55 km VPVS = 1.70

No	LAT	LONG	Z	Dt	Dh	Dz	Np	NS	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
9	15.50	73.00	100	-2.5	21.5	9.3	4	1	268	76.	.07	17.1	14.6
10	15.00	72.50	120	-7.7	2.5	-3.8	8	5	170	98.	.21	2.9	7.6
11	14.50	72.00	120	-2.1	2.7	12.3	5	2	245	36.	.12	7.1	7.8
12	15.00	72.00	120	-1.5	1.7	7.6	9	2	173	57.	.16	4.3	9.2
13	15.50	72.50	100	-8	1.8	1.6	7	5	149	45.	.16	2.4	6.0
14	16.00	73.00	90	-1.7	5.6	11.2	4	3	195	57.	.14	10.8	6.5
15	16.50	73.00	100	-6	2.2	-6	4	3	256	64.	.19	11.3	8.9
16	16.00	72.50	110	-1.3	2.5	6.3	8	5	112	12.	.23	3.7	6.0
17	15.50	72.00	130	-1.5	2.5	6.8	9	5	149	69.	.22	2.9	6.6
18	15.50	71.50	140	-1.0	1.1	1.7	13	7	102	16.	.19	2.3	4.6
19	15.00	71.00	180	-1.4	2.4	5.0	11	7	87	56.	.20	3.5	4.6
20	16.00	72.00	120	-1.1	2.8	5.2	9	5	125	17.	.20	3.0	5.4
21	16.50	72.50	100	-8	4.2	.1	7	5	189	37.	.21	3.9	4.7
22	16.75	72.50	60	-1.4	1.2	11.3	7	3	209	62.	.14	3.8	6.5
23	16.50	72.00	100	-7	2.5	-2	7	5	157	36.	.23	2.9	5.2
24	16.00	71.50	140	-1.0	.7	2.8	11	5	100	16.	.16	3.5	5.0
25	16.50	71.50	120	-1.0	2.4	3.2	9	8	145	3.	.21	2.6	3.9
26	17.00	72.00	60	-1.3	2.3	7.9	6	3	244	35.	.19	3.5	5.7
27	17.50	71.00	80	-2.3	35.2	39.2	2	2	335	65.	.04	98.5	42.1

Table III.G - (suite et fin).

1 RESEAU 1981		SANS PERTURBATIONS											
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	14.00	73.00	120	-7	6.2	2.4	6	4	303	175.	.21	7.6	16.8■
2	15.00	74.00	90	-1	3.3	9.2	9	6	305	103.	.23	4.7	7.3■
3	15.50	74.50	70	-1	2.5	16.4	6	6	326	112.	.24	6.3	25.3■
4	15.00	73.50	100	-6	4.6	1.6	13	6	279	92.	.23	3.6	5.3
5	14.50	73.00	110	0	2.1	4.2	14	6	279	112.	.20	3.5	5.9
6	15.00	73.00	100	.1	2.0	-1.0	16	10	246	60.	.21	2.7	3.9
7	15.50	73.50	90	.3	2.7	-3.0	15	11	258	34.	.20	2.9	3.0
8	16.00	74.00	70	-1.1	12.4	-2.7	10	4	307	73.	.25	4.0	9.9■

2 RESEAU 1981		SANS PERTURBATIONS											
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	14.00	73.00	120	-5	13.7	-19.6	2	2	326	183.	.06	0.0	0.0■
2	15.00	74.00	90	-2	8.6	19.2	4	4	324	96.	.22	12.5	11.7■
3	15.50	74.50	70	-6	22.5	-3.2	3	2	347	118.	.06	18.2	23.8■
4	15.00	73.50	100	-7	6.3	2.0	7	4	279	93.	.18	4.6	6.2
5	14.50	73.00	110	-2	1.9	3.0	5	3	280	115.	.17	8.7	14.9■
6	15.00	73.00	100	.4	2.8	-2.4	13	9	245	59.	.21	3.1	4.5
7	15.50	73.50	90	.3	7.5	-3.3	10	7	259	33.	.18	3.4	3.8
8	16.00	74.00	70	-.4	5.1	.2	6	5	312	66.	.19	4.7	7.9■

3 RESEAU 1981		SANS PERTURBATIONS											
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	14.00	73.00	120	-1.9	12.3	19.2	5	3	304	181.	.25	11.6	23.4■
2	15.00	74.00	90	-.9	9.7	9.1	7	5	309	114.	.22	5.1	9.2
3	15.50	74.50	70	-.8	6.4	24.2	6	6	283	120.	.24	15.9	52.6■
4	15.00	73.50	100	-.9	11.0	.6	13	5	284	96.	.24	3.9	6.2■
5	14.50	73.00	110	-.6	8.4	5.6	11	5	281	122.	.22	4.8	8.5
6	15.00	73.00	100	-.0	4.4	-.7	16	9	251	66.	.23	2.8	4.1
7	15.50	73.50	90	-.3	7.5	-.5	15	11	272	38.	.20	2.9	3.0
8	16.00	74.00	70	-1.6	18.7	-.9	9	4	311	80.	.25	3.8	10.0■

4 RESEAU 1981		SANS PERTURBATIONS											
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	14.00	73.00	120	.1	1.9	-7.2	7	3	300	167.	.12	6.3	15.7■
2	15.00	74.00	90	.3	8.8	4.0	9	5	303	98.	.20	4.5	6.8■
3	15.50	74.50	70	.8	12.8	12.4	6	6	325	102.	.24	5.5	18.2■
4	15.00	73.50	100	-.1	4.8	-3.6	13	7	274	86.	.19	3.5	5.0
5	14.50	73.00	110	.4	8.8	-.7	14	6	276	106.	.18	4.1	6.7
6	15.00	73.00	100	.2	7.4	-2.8	16	10	241	54.	.26	2.9	4.1
7	15.50	73.50	90	.0	5.0	-2.1	15	9	253	31.	.27	3.2	4.0
8	16.00	74.00	70	-.4	8.0	-6.5	10	5	302	63.	.27	4.2	9.8■

5 RESEAU 1981		SANS PERTURBATIONS											
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	14.00	73.00	120	-2.1	3.5	11.3	7	5	302	172.	.19	6.9	14.2■
2	15.00	74.00	90	-1.2	6.1	19.0	9	6	304	100.	.24	4.7	6.1■
3	15.50	74.50	70	-1.2	5.4	4.8	6	6	327	113.	.21	5.5	13.7■
4	15.00	73.50	100	-2.1	3.0	12.7	13	8	278	90.	.18	3.7	5.2■
5	14.50	73.00	110	-1.2	4.7	12.5	14	6	278	110.	.20	2.0	6.2■
6	15.00	73.00	100	-.9	3.8	4.7	16	11	244	58.	.21	4.7	3.7
7	15.50	73.50	90	-1.2	2.9	7.6	15	10	257	33.	.24	3.1	3.7
8	16.00	74.00	70	-1.9	8.6	8.3	10	4	306	69.	.19	3.5	6.9■

6 RESEAU 1981		SANS PERTURBATIONS											
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	14.00	73.00	120	-1.6	4.4	7.7	7	5	302	173.	.20	7.0	15.1■
2*	15.00	74.00	90	-.8	5.5	14.7	9	6	304	101.	.24	4.7	6.6■
3	15.50	74.50	70	-.8	4.9	-4.9	6	6	327	114.	.21	5.7	23.4■
4	15.00	73.50	100	-1.6	3.6	8.4	13	8	278	91.	.19	3.8	5.5
5	14.50	73.00	110	-.6	3.6	8.7	14	6	278	111.	.19	4.0	6.5
6	15.00	73.00	100	-.6	2.3	2.3	16	11	245	59.	.21	2.7	3.8
7	15.50	73.50	90	-.8	2.5	3.7	15	11	258	33.	.23	3.0	3.4
8	16.00	74.00	70	-1.7	10.3	3.5	10	4	307	71.	.22	3.6	8.0■

7 RESEAU 1981		SANS PERTURBATIONS											
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	14.00	73.00	120	-2.0	14.5	21.6	5	3	305	183.	.25	11.8	24.1■
2	15.00	74.00	90	-.7	10.9	8.1	7	5	310	117.	.23	5.2	9.6■
3	15.50	74.50	70	-.8	13.1	17.5	6	5	330	125.	.24	13.0	47.3■
4	15.00	73.50	100	-1.3	14.9	6.1	10	7	285	99.	.25	4.3	7.7■
5	14.50	73.00	110	-.6	11.1	5.7	11	5	285	125.	.24	4.9	8.8■
6	15.00	73.00	100	-.1	6.8	-.7	15	8	253	68.	.25	3.2	4.7
7	15.50	73.50	90	-.3	10.4	1.0	14	10	275	39.	.23	3.1	3.2
8	16.00	74.00	70	-1.2	18.3	-.7	9	6	316	79.	.19	4.3	9.2■

8 RESEAU 1981		SANS PERTURBATIONS											
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
1	14.00	73.00	120	2.3	14.8	-15.8	8	0	296	154.	.06	19.2	25.5
2	15.00	74.00	90	.0	4.0	7.2	9	0	305	104.	.19	32.7	20.3
3	15.50	74.50	70	3.4	27.5	-19.9	8	0	322	88.	.22	72.2	0.0
4	15.00	73.50	100	-.3	2.9	-3.4	13	0	275	87.	.15	13.3	12.5
5	14.50	73.00	110	1.5	11.1	-5.9	13	0	274	103.	.15	12.7	13.9
6	15.00	73.00	100	1.4	8.2	-11.6	15	0	240	54.	.23	5.6	7.1
7	15.50	73.50	90	-1.5	10.1	8.9	13	0	276	39.	.18	11.9	11.5
8	16.00	74.00	70	5.3	68.3	28.9	15	0	291	82.	1.11	18.9	15.3

Table III.H - Tests de relocalisation de séismes fictifs: séismes intermédiaires marginaux du NW.
 Les numéros des séismes renvoient à la carte de la figure III.3a. Les symboles et notations sont les mêmes que ceux de la table III.F.

1 RESEAU 1981		SANS PERTURBATIONS										VITESSES: 6.0/8.3										MOHO: 55 km										VPVS = 1.75									
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ	No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ														
28	17.00	71.00	110	-8	5.8	5.1	15	9	286	73.	.21	3.2	4.7	28	17.00	71.00	110	.3	5.7	-4.5	16	11	277	66.	.24	3.2	3.8														
29	15.50	70.50	200	-2	2.3	3.3	17	12	181	91.	.22	3.2	3.5	29	15.50	70.50	200	.3	4.9	-4.5	16	10	179	90.	.24	3.1	3.6														
30	16.00	70.00	230	-3	2.1	5.0	16	8	162	145.	.18	3.8	4.6	30	16.00	70.00	230	.4	2.9	-5.6	16	7	161	144.	.24	4.2	5.1														
31	16.50	70.00	200	.2	3.1	-2.9	14	9	172	154.	.23	3.4	4.5	31	16.50	70.00	200	.7	1.5	-11.8	13	10	170	153.	.23	3.4	4.8														
32	17.00	69.50	200	.4	2.2	-7.1	10	5	211	168.	.21	5.1	8.2	32	17.00	69.50	200	1.5	6.1	-16.4	10	5	207	172.	.24	5.5	11.8														

2 RESEAU 1981		SANS PERTURBATIONS										OMDES P SEULES										VITESSES: 6.2/8.0										MOHO: 60 km										VPVS = 1.70									
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ	No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ																								
28	17.00	71.00	110	-13.7	87.6	78.1	11	0	318	146.	.47	72.5	60.4	28	17.00	71.00	110	-2.2	4.5	14.1	16	7	284	72.	.21	3.0	4.6A																								
29	15.50	70.50	200	-2	2.8	4.0	17	0	181	91.	.21	5.4	9.9	29	15.50	70.50	200	-1.9	2.9	9.5	17	11	180	91.	.22	3.2	3.5																								
30	16.00	70.00	230	-3	2.5	5.1	16	0	163	146.	.19	6.3	13.3	30	16.00	70.00	230	-2.2	2.4	12.5	16	8	162	145.	.20	3.8	4.6																								
31	16.50	70.00	200	0	1.7	-2	14	0	170	153.	.19	6.2	15.4	31	16.50	70.00	200	-1.5	3.2	3.8	14	9	171	154.	.24	3.4	4.4																								
32	17.00	69.50	200	4.2	31.1	-17.2	10	0	313	189.	.29	54.3	42.9	32	17.00	69.50	200	-1.4	1.5	.8	10	5	209	168.	.20	5.0	8.0																								

3 RESEAU 1981		VITESSES: 6.1/8.1										MOHO: 55 km										VPVS = 1.71									
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ	No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ				
28	17.00	71.00	110	.4	9.4	-2.4	16	12	274	64.	.23	3.0	3.5	28	17.00	71.00	110	-1.5	4.2	7.7	16	9	284	72.	.23	3.1	4.3				
29	15.50	70.50	200	-5	4.4	-3	15	7	179	91.	.27	4.1	4.6	29	15.50	70.50	200	-1.2	2.4	6.9	17	11	181	91.	.22	3.2	3.5				
30	16.00	70.00	230	.1	3.6	-7.5	16	7	161	143.	.30	4.2	5.1	30	16.00	70.00	230	-1.6	2.3	9.9	16	8	162	145.	.19	3.9	4.6				
31	16.50	70.00	200	.2	3.6	-10.8	14	9	168	151.	.28	3.2	4.3	31	16.50	70.00	200	-9	3.3	1.1	14	9	172	154.	.23	3.4	4.4				
32	17.00	69.50	200	1.6	12.7	-14.9	9	5	317	208.	.22	10.7	16.4	32	17.00	69.50	200	-.7	1.9	-2.0	10	5	211	168.	.20	5.1	8.1				

4 RESEAU 1981		VITESSES: 6.3/8.3										MOHO: 50 km										VPVS = 1.71									
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ	No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ				
28	17.00	71.00	110	-1.7	16.0	9.5	15	8	290	81.	.24	3.7	5.7	28	17.00	71.00	110	-1.7	18.9	9.6	15	8	292	83.	.25	3.9	6.1A				
29	15.50	70.50	200	-.5	3.5	10.4	17	12	184	93.	.29	3.8	4.0	29	15.50	70.50	200	-.4	4.0	11.6	17	12	185	93.	.31	3.8	4.0				
30	16.00	70.00	230	-.9	4.5	16.1	15	7	164	149.	.25	4.7	5.2A	30	16.00	70.00	230	-.8	4.7	17.5	15	7	164	149.	.27	4.7	5.2A				
31	16.50	70.00	200	-.2	4.6	7.1	14	7	172	156.	.25	3.8	4.8	31	16.50	70.00	200	.0	4.1	8.2	14	7	172	156.	.26	3.9	4.7				
32	17.00	69.50	200	-.7	7.4	11.5	10	5	213	167.	.23	5.3	8.1	32	17.00	69.50	200	-.7	8.4	14.0	10	5	214	166.	.24	5.4	8.0A				

Table III.H - (suite et fin) Séismes intermédiaires marginaux du SE

1 RESEAU 1981		VITESSES: 6.2/7.0		CROUTE RAPIDE		2 RESEAU 1981		MANTEAU LENT: 7.8 km/s					
No	LAT	Lon	Z	Dt	Dh	Dz	No	LAT	Lon	Z	Dt	Dh	Dz
8	16.60	71.90	15	.3	1.1	-5.6	8	16.60	71.90	15	-1.1	.6	1.1
9	16.60	71.90	30	.4	1.4	-3.5	9	16.60	71.90	30	-2	.6	3.1
10	16.60	71.30	16	.8	2.3	-1	10	16.60	71.30	16	-7.2	4.7	3.9
11	16.10	71.60	40	.6	1.1	-5.7	11	16.10	71.60	40	-1	.5	-1.5
12	16.20	71.80	35	.4	1.2	4.1	12	16.20	71.80	35	-0	.9	1.7
13	16.40	71.70	15	.5	1.1	-3.0	13	16.40	71.70	15	-0	.9	1.1
14	16.40	72.00	20	.4	1.1	-1.7	14	16.40	72.00	20	-0	1.1	1.0
15	16.25	72.00	15	.4	1.3	-7	15	16.25	72.00	15	-0	1.4	1.6
16	16.20	72.40	20	.4	.8	-1.1	16	16.20	72.40	20	-1	.7	.9
17	16.10	72.60	35	.5	1.5	-1.6	17	16.20	72.60	35	-0	.7	.9
18	16.70	71.60	30	.6	1.0	-5.5	18	16.70	71.60	30	.4	2.7	.4
19	16.90	71.60	40	.5	.8	-2.6	19	16.90	71.60	40	-1	.7	-1.3
20	16.70	72.30	30	.4	.3	-3.6	20	16.70	72.30	30	-1	1.1	4.7
21	16.70	72.30	30	.4	.3	-3.6	21	16.70	72.30	30	-1	1.1	4.7
22	16.80	72.20	20	.9	3.4	4.2	22	16.90	72.20	20	.1	.4	-1.9
23	16.80	72.70	15	1.8	5.9	12.7	23	16.80	72.70	15	.3	2.6	.2
24	16.80	72.50	20	.2	2.1	-3.1	24	16.80	72.50	20	-1	1.0	-1.0
25	16.60	72.70	40	.6	.8	-2.1	25	16.60	72.70	40	.0	.6	1.4
26	15.40	72.90	1	.9	3.1	17.4	26	15.40	72.90	1	.6	2.3	20.0
27	15.80	73.30	20	-1	6.9	5.7	27	15.80	73.30	20	-4	5.4	6.1
28	16.00	73.10	20	.4	1.0	-4.8	28	16.00	73.10	20	.0	1.5	-1.3
29	16.20	73.30	60	1.1	1.6	-5.6	29	16.20	73.30	60	-5	3.0	4.3

3 RESEAU 1981		VITESSES: 5.8/6.6		CROUTE LENTE		4 RESEAU 1981		MANTEAU RAPIDE: 8.2 km/s					
No	LAT	Lon	Z	Dt	Dh	Dz	No	LAT	Lon	Z	Dt	Dh	Dz
8	16.60	71.90	15	-6	.8	5.4	8	16.60	71.90	15	-1.1	.6	1.1
9	16.60	71.90	30	-6	1.3	6.0	9	16.60	71.90	30	-2	.6	3.1
10	16.60	71.30	16	.9	8.3	5.9	10	16.60	71.30	16	.7	4.7	3.9
11	16.10	71.60	40	-5	1.1	1.3	11	16.10	71.60	40	.1	.5	-1.5
12	16.20	71.80	35	-4	1.0	3.9	12	16.20	71.80	35	-0	.9	1.7
13	16.40	71.70	15	-8	1.7	6.0	13	16.40	71.70	15	-0	.9	1.1
14	16.40	72.00	20	-4	1.0	2.9	14	16.40	72.00	20	-0	1.1	1.0
15	16.25	72.00	15	-4	1.1	4.1	15	16.25	72.00	15	.0	1.4	1.6
16	16.10	72.40	20	-4	.8	3.4	16	16.10	72.40	20	-1	.7	1.0
17	16.20	72.60	35	-0	3.0	1.5	17	16.20	72.60	35	.0	.7	.9
18	16.70	71.60	30	-4	.4	2.6	18	16.70	71.60	30	.4	2.7	.4
19	16.90	71.60	40	-4	1.4	.9	19	16.90	71.60	40	-1	.7	-1.3
20	16.70	72.30	30	-8	.6	8.5	20	16.70	72.30	30	-1	1.1	4.7
21	16.70	72.30	30	-8	.6	8.5	21	16.70	72.30	30	-1	1.1	4.7
22	16.90	72.20	20	-3	.7	.7	22	16.90	72.20	20	.1	.4	-1.9
23	16.80	72.70	15	-2	2.5	3.5	23	16.80	72.70	15	.3	2.6	.2
24	16.80	72.50	20	-4	.5	2.1	24	16.80	72.50	20	-1	1.0	-1.0
25	16.60	72.70	40	-0	3.5	1.1	25	16.60	72.70	40	.1	1.0	1.0
26	15.40	72.90	1	.3	2.1	20.9	26	15.40	72.90	1	.6	2.3	20.0
27	15.80	73.30	20	-3	.8	1.5	27	15.80	73.30	20	-4	5.4	6.1
28	16.00	73.10	20	.3	2.2	.9	28	16.00	73.10	20	.0	1.5	-1.3
29	16.20	73.30	60	-5	2.7	1.8	29	16.20	73.30	60	-1	2.6	.7

Table III. I - Tests de relocalisation de séismes fictifs avec des données bruitées et pour diverses perturbations au moment exact (voir texte): séismes superfixiels "centraux", réseau 1981.

Les numéros des séismes (No) renvoient à la carte de la figure III.5b.

Tous les symboles et notations sont les mêmes qu'en table III. F.

5 RESEAU 1981

CROUTE MINCE: 20km/40km

6 RESEAU 1981 VPVS = 1.73

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
8	16.60	71.90	15	-1	5	-6.0	13	10	83	30	.22	1.0	2.6
9	16.60	71.90	30	2	1.0	-1.2	13	6	83	31	.16	1.3	4.3
10	16.60	71.30	16	9	3.1	-4	11	6	219	23	.26	2.2	1.8
11	16.10	71.60	40	6	6	-2.7	15	9	86	24	.18	1.0	1.5
12	16.20	71.80	15	2	3	-2.7	15	12	61	17	.18	1.8	1.7
13	16.40	71.70	35	6	5	-3.9	14	6	69	10	.19	1.1	1.6
14	16.40	72.00	20	9	2.8	1.9	12	11	73	24	.33	1.6	6.1
15	16.25	72.00	15	2	2.0	-3	14	8	88	9	.24	1.0	1.2
16	16.10	72.40	20	3	9	-3.8	10	76	23	21	.18	1.5	1.3
17	16.20	72.60	35	5	1.4	-3.6	15	9	103	21	.19	1.1	1.5
18	16.70	71.60	30	4	9	-1.9	12	8	172	28	.19	1.5	4.0
19	16.90	71.60	40	1.0	3.3	-7.4	11	5	184	16	.22	2.2	1.3
21	16.70	72.30	30	4	5	-1.9	13	10	146	43	.14	1.4	2.4
22	16.90	72.20	20	9	2.5	6	10	7	200	55	.30	2.3	99.0
23	16.80	72.70	15	1.7	6.5	5.7	11	4	208	50	.31	3.2	94.2
24	16.80	72.50	20	2	1.0	-5.6	13	9	204	36	.21	1.5	1.6
25	16.60	72.90	40	9	1.3	-5.2	12	6	204	3	.29	2.3	1.3
26	15.40	72.90	1	8	2.8	13.6	8	4	203	45	.20	2.1	3.8
27	15.80	73.30	20	-1	6.2	5.1	8	3	165	14	.28	3.7	6.8
28	16.00	73.10	20	4	8	6	9	4	154	46	.28	2.1	74.1
29	16.20	73.30	60	5	3.4	-2.5	8	4	221	51	.12	3.6	9.8

7 RESEAU 1981

CROUTE EPAISSE: 30km/60km

8 RESEAU 1981 VPVS = 1.67

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
8	16.60	71.90	15	-2	7	4.0	13	10	83	30	.19	1.1	4.6
9	16.60	71.90	30	-4	2	4.7	12	9	120	30	.19	1.3	3.3
10	16.60	71.30	16	2	3.5	7.0	12	8	218	22	.23	1.9	1.7
11	16.10	71.60	40	-1	8	-7	12	8	84	26	.17	1.2	2.8
12	16.20	71.80	15	0	9	1.5	15	12	59	18	.18	1.8	3.0
13	16.40	71.70	35	-5	1.7	4.6	14	9	70	11	.15	1.2	2.4
14	16.40	72.00	20	-1	1.9	5.7	14	10	84	12	.28	1.2	1.1
15	16.25	72.00	15	-1	7	2.1	14	8	81	10	.20	1.0	2.0
16	16.10	72.40	20	-3	9	5.2	14	11	75	23	.21	1.8	1.4
17	16.20	72.60	35	-3	7	1.9	14	9	102	21	.14	1.3	2.4
18	16.70	71.60	30	-2	3	4	12	7	167	29	.17	1.3	3.2
19	16.90	71.60	40	-2	3.4	-2.5	11	8	181	15	.18	1.8	3.2
21	16.70	72.30	30	-0	4.0	5.2	13	7	140	40	.21	1.7	3.4
22	16.90	72.20	20	-2	6	4.5	10	7	200	57	.12	1.6	1.8
23	16.80	72.70	15	-1	1.7	5.6	11	6	221	25	.19	2.0	2.1
24	16.80	72.50	20	-4	9	5.4	12	11	206	35	.19	1.8	1.3
25	16.60	72.70	40	4	4.6	-7	13	9	140	3	.23	1.5	2.1
26	15.40	72.90	1	1	8	17.4	9	4	200	43	.14	1.8	7.1
27	15.80	73.30	20	-5	1.3	5.2	6	2	143	17	.23	3.8	8.4
28	16.00	73.10	20	-2	1.4	5.0	6	4	155	48	.17	1.8	10.7
29	16.20	73.30	60	1.3	5.5	-22.5	6	3	207	51	.25	3.9	16.2

Table III.I - (suite et fin).

1 RESEAU 1981 SANS PERTURBATIONS															2 RESEAU 1981 ROUTE EPAISSE: 30km/60km														
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ	No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ		
8	16.60	71.90	15	-0	1.8	4.1	10	8	118	29.	.23	1.2	5.2	8	16.60	71.90	15	-1	5.5	2.9	11	7	84	31.	.16	1.2	4.8		
9	16.60	71.90	30	-3	.6	5.1	11	6	84	31.	.13	1.5	3.8	9	16.60	71.90	30	-4	1.0	1.7	10	4	119	30.	.19	1.7	4.4		
10	16.60	71.30	16	1.1	8.5	4.6	7	7	237	17.	.26	3.3	4.2	10	16.60	71.30	16	-2	-1.7	-3.7	6	4	226	25.	.13	2.6	7.3		
11	16.10	71.60	40	.3	.3	-3.8	9	7	85	25.	.15	1.4	3.7	11	16.10	71.60	40	-0	1.5	.6	9	3	81	26.	.08	1.8	5.3		
12	16.20	71.80	15	0	.7	1.0	11	8	81	17.	.18	1.0	3.4	12	16.20	71.80	15	-3	-3.3	-2.5	11	7	82	18.	.17	1.0	4.2		
13	16.40	71.70	35	-3	1.2	-2.8	11	10	70	10.	.11	1.4	3.3	13	16.40	71.70	35	-1	.8	1.2	10	6	72	10.	.16	1.4	2.6		
14	16.40	72.00	20	0	.9	2.1	11	10	80	10.	.19	1.3	2.8	14	16.40	72.00	20	-1	-2.2	2.1	10	6	103	14.	.12	1.3	2.7		
15	16.25	72.00	15	-0	1.0	.6	9	8	107	23.	.19	1.1	3.8	15	16.25	72.00	15	-9	3.8	7.8	7	6	51	7.	.20	1.3	4.0		
16	16.10	72.40	20	-0	1.0	.6	9	5	145	18.	.23	1.5	3.1	16	16.10	72.40	20	-1	1.0	2.9	9	6	106	24.	.14	1.3	4.0		
17	16.20	72.60	35	-3	3.4	-0	7	5	145	18.	.23	1.5	3.1	17	16.20	72.60	35	-3	1.0	1.1	8	6	148	20.	.13	1.5	3.5		
18	16.70	71.60	30	.6	3.0	-3.0	7	4	167	26.	.23	2.3	4.6	18	16.70	71.60	30	-4	2.7	2.5	7	4	178	18.	.17	1.8	3.4		
19	16.90	71.60	40	.3	4.1	2.1	7	4	183	17.	.13	3.0	5.9	19	16.90	71.60	40	-1	1.5	-3.3	7	3	192	16.	.13	2.9	6.3		
20	16.90	72.30	30	.1	1.2	.4	9	8	144	43.	.20	1.7	7.2	20	16.90	72.30	30	-5	-1.5	-7.7	9	3	149	42.	.11	1.8	1.8		
21	16.70	72.30	20	-1	.7	5.1	7	6	203	57.	.16	2.1	9.0	21	16.70	72.30	20	-2	-2.7	2.7	7	5	203	57.	.11	1.8	1.8		
22	16.90	72.20	20	-1	4.0	-3.0	6	6	239	23.	.14	4.5	9.5	22	16.90	72.20	20	-2	.8	-7.3	4	3	308	27.	.15	11.3	60.5		
23	16.80	72.70	15	-3	2.7	5.7	7	6	210	33.	.22	3.2	11.3	23	16.80	72.70	15	-1	-1.9	1.0	6	2	215	34.	.13	3.2	18.7		
24	16.80	72.50	20	-3	4.2	-1.0	8	6	142	3.	.16	2.2	2.8	24	16.80	72.50	20	-0	3.7	-1.5	6	4	294	1.	.18	3.9	4.6		
25	16.60	72.70	40	.6	4.2	-1.0	8	6	142	3.	.16	2.2	2.8	25	16.60	72.70	40	-0	4.5	4.3	4	3	265	20.	.11	5.4	64.5		
26	15.40	73.30	1	.4	11.8	10.8	3	2	339	15.	.29	8.0	4.6	26	15.40	73.30	1	-1	66.1	15.0	4	0	291	1.	1.70	5.4	64.5		
27	15.80	73.30	1	.7	4.1	-9.2	4	4	154	47.	.18	1.9	10.6	27	15.80	73.30	1	-7	1.3	-3.4	3	3	152	47.	.18	1.6	16.2		
28	16.00	73.10	20	.2	3.1	3.1	6	4	154	47.	.18	1.9	10.6	28	16.00	73.10	20	-3	1.3	-3.4	6	4	152	47.	.18	1.6	16.2		
29	16.20	73.30	60	-9	6.7	8.8	4	3	228	53.	.15	4.6	10.6	29	16.20	73.30	60	-8	.3	5.2	6	3	216	50.	.10	3.1	8.0		

3 RESEAU 1981 ROUTE MINCE: 20km/40km															4 RESEAU 1981 VITESSES: 6.2/7.0 ROUTE RAPIDE														
No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ	No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ		
8	16.60	71.90	15	-0	1.1	-1.8	11	7	83	31.	.17	1.2	2.2	8	16.60	71.90	15	-3	1.3	-4.9	10	7	83	32.	.17	1.2	12.5		
9	16.60	71.90	30	-4	1.1	-5.3	10	4	119	30.	.18	1.6	5.9	9	16.60	71.90	30	.4	1.1	-5.6	10	4	119	30.	.20	1.6	1.6		
10	16.60	71.30	16	.3	1.1	3.2	6	2	225	25.	.25	3.7	8.2	10	16.60	71.30	16	-1	-8	-15.5	6	4	228	26.	.14	2.6	3.9		
11	16.10	71.60	40	.6	1.5	-3.2	9	4	81	26.	.13	2.2	2.0	11	16.10	71.60	40	.6	.7	-2.0	9	4	83	25.	.14	1.7	5.0		
12	16.20	71.80	15	.1	.3	-2.7	11	7	82	18.	.17	1.0	4.3	12	16.20	71.80	15	-5	.4	-6.4	10	7	82	18.	.18	1.0	7.1		
13	16.40	71.70	35	.2	.9	-1.1	9	5	103	14.	.13	1.4	2.8	13	16.40	71.70	35	.4	.6	-1.8	9	5	70	10.	.15	1.6	3.0		
14	16.40	72.00	20	.3	.4	-1.7	10	5	103	14.	.16	1.2	1.0	14	16.40	72.00	20	-4	2.1	-4	10	5	103	14.	.15	1.4	3.3		
15	16.25	72.00	15	-0	1.5	1.1	12	7	59	9.	.23	1.1	1.4	15	16.25	72.00	15	-3	1.3	9.1	8	6	61	9.	.25	1.2	2.9		
16	16.10	72.40	20	.2	1.3	10.8	7	7	150	21.	.12	1.6	3.9	16	16.10	72.40	20	-0	1.0	-3.3	7	4	108	23.	.21	1.3	8.0		
17	16.20	72.60	35	.1	.8	.1	8	3	108	23.	.12	1.6	3.9	17	16.20	72.60	35	.3	1.3	-3.3	8	5	182	28.	.24	2.2	4.6		
18	16.70	71.60	40	.0	3.6	1.7	7	5	181	28.	.23	2.3	4.6	18	16.70	71.60	40	-2	3.7	1.1	7	5	182	28.	.16	3.1	7.1		
19	16.90	71.60	40	.5	1.2	-1.9	7	2	198	16.	.18	3.9	1.9	19	16.90	71.60	40	.4	1.0	-6.3	9	4	147	43.	.11	1.8	1.9		
20	16.70	72.30	30	.4	.8	-7.8	7	4	146	43.	.12	2.0	2.1	20	16.70	72.30	30	-4	2.1	-8.3	7	3	204	59.	.29	3.3	32.0		
21	16.90	72.20	20	.3	1.0	1.0	9	4	204	58.	.21	2.2	58.3	21	16.90	72.20	20	-4	7.6	14.6	4	1	339	56.	.13	3.3	32.0		
22	16.80	72.70	15	.1	8.8	.4	3	0	313	30.	.74	2.2	3.2	22	16.80	72.70	15	-0	10.9	17.2	2	1	195	32.	.08	16.9	25.6		
23	16.80	72.70	15	.1	8.8	.4	3	0	313	30.	.74	2.2	3.2	23	16.80	72.70	15	-1	1.1	-2.8	4	2	1	195	32.	.08	16.9	25.6	
24	16.80	72.50	20	-1	10.6	17.3	5	1	236	34.	.11	10.2	3.2	24	16.80	72.50	20	-4	2.7	-2.8	6	3	296	4.	.10	4.5	5.7		
25	16.60	72.70	40	.3	2.3	1.3	6	3	258	19.	.07	7.2	4.8	25	16.60	72.70	40	-0	6.5	4.6	6	3	296	4.	.10	4.5	5.7		
26	15.40	72.90	1	-0	2.3	1.3	4	3	258	19.	.07	7.2	4.8	26	15.40	72.90	1	-0	6.5	4.6	6	3	296	4.	.10	4.5	5.7		
27	15.80	73.30	20	-7	64.0	15.0	3	0	291	1.	1.25	7.2	4.8	27	15.80	73.30	20	-4	68.0	15.0	3	0	291	1.	1.13	6.3	56.8		
28	16.00	73.10	20	.4	1.5	-2.2	5	4	152	47.	.17	1.7	3.2	28	16.00	73.10	20	-7	1.3	.8	6	4	152	47.	.18	1.7	13.2		
29	16.20	73.30	60	-7	5.0	13.6	5	2	223	49.	.11	4.4	9.7	29	16.20	73.30	60	-7	4.1	12.2	5	2	222	49.	.11	4.2	9.8		

Table III.J - Tests de relocation de sélèmes fictifs.
Mêmes tests qu'en table III.I, en réduisant le nombre de phases prises en compte.
Symboles et notations identiques à ceux de la table III.F.

5 RESEAU 1981 VITESSES: 5.8/6.6 CROUTE LENTE

6 RESEAU 1981 VPVS = 1.73

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
8	16.60	71.90	15	-6	.6	6.2	10	4	121	31.	.14	1.3	1.8
9	16.60	71.90	30	-5	1.0	2.3	10	3	119	30.	.16	1.6	4.3
10	16.60	71.30	16	-1	2.2	1.0	7	4	223	23.	.09	2.3	4.4
11	16.10	71.60	40	-3	1.8	1.5	9	3	81	26.	.07	1.8	5.4
12	16.20	71.80	15	-5	.4	4.7	11	5	81	17.	.18	1.0	3.5
13	16.40	71.70	35	-6	.5	3.4	10	6	72	10.	.14	1.4	3.4
14	16.40	72.00	20	-4	.4	3.1	10	6	103	14.	.16	1.4	1.1
15	16.25	72.00	15	-7	1.4	5.7	12	7	56	9.	.22	1.1	1.8
16	16.10	72.40	20	-4	.4	3.5	9	6	105	24.	.13	.9	1.3
17	16.20	72.60	35	-4	.8	1.1	8	6	148	20.	.12	1.5	3.4
18	16.70	71.60	30	-5	2.6	2.7	4	4	178	28.	.16	1.8	3.6
19	16.90	71.60	40	-5	1.5	3.6	7	3	191	14.	.14	2.9	5.4
21	16.70	72.30	30	-4	1.5	-2.2	9	3	149	42.	.09	2.1	12.1
22	16.90	72.20	20	-1	-9	-14.1	7	6	200	57.	.16	1.8	99.0
23	16.80	72.70	15	-1	8.0	-3.7	3	0	311	32.	.92	1.8	99.0
24	16.80	72.50	20	-3	1.3	2.6	7	3	213	34.	.16	2.9	2.1
25	16.60	72.70	40	-6	3.1	2.4	6	3	295	3.	.16	3.2	3.1
26	15.40	72.90	1	-2	2.6	5.4	4	3	258	20.	.08	4.8	15.3
27	15.80	73.30	20	-1.2	64.3	20.0	3	0	291	1.	1.65	4.8	15.3
28	16.00	73.10	20	-3	3.9	19.9	5	0	241	44.	.28	5.9	19.4
29	16.20	73.30	60	-5	.1	4.2	6	4	216	50.	.14	3.2	8.9

7 RESEAU 1981 VPVS = 1.67

No	LAT	LON	Z	Dt	Dh	Dz	Np	Ns	GAP	DMIN	RMS	ERH	ERZ
8	16.60	71.90	15	-2	1.1	2.1	11	8	83	31.	.15	1.2	5.5
9	16.60	71.90	30	.1	1.1	-3.1	10	4	119	30.	.18	1.6	5.2
10	16.60	71.30	16	.6	2.6	-11.0	6	1	222	23.	.13	3.2	0.0
11	16.10	71.60	40	.1	.6	1.1	9	3	83	25.	.13	1.8	5.2
12	16.20	71.80	15	.1	.3	-2.0	10	7	82	18.	.16	1.0	4.2
13	16.40	71.70	35	-0	.3	-1	10	6	71	10.	.17	1.6	2.8
14	16.40	72.00	20	-1	.3	2.1	10	4	103	14.	.10	1.3	3.0
15	16.25	72.00	15	-0	.6	1.9	12	6	54	9.	.19	1.1	2.5
16	16.10	72.40	20	-0	1.3	12.2	7	3	108	23.	.22	1.3	10.9
17	16.20	72.60	35	-2	1.1	1.8	8	7	151	21.	.14	1.6	3.9
18	16.70	71.60	30	-0	2.1	.4	7	3	175	27.	.14	1.9	4.3
19	16.90	71.60	40	-3	1.8	3.1	7	3	205	14.	.17	3.2	6.2
21	16.70	72.30	30	.0	.8	-4.0	9	4	147	43.	.10	2.0	16.9
22	16.90	72.20	20	-0	.4	-19.8	7	4	202	58.	.12	2.0	10.2
23	16.80	72.70	15	-6	6.3	16.8	2	1	339	57.	.07	2.0	10.2
24	16.80	72.50	20	-1.8	11.4	21.0	4	1	297	33.	.06	19.2	25.3
25	16.60	72.70	40	-2	3.0	.1	6	3	296	5.	.13	3.3	4.5
26	15.40	72.90	1	-3	4.2	1.2	4	3	263	21.	.09	7.1	4.2
27	15.80	73.30	20	-7	65.7	15.0	3	0	291	1.	1.44	7.1	4.2
28	16.00	73.10	20	-0	1.1	4.6	6	4	152	47.	.21	1.8	2.9
29	16.20	73.30	60	-1.3	4.8	16.3	5	2	223	49.	.12	4.4	10.0

Table III.J - (suite et fin).

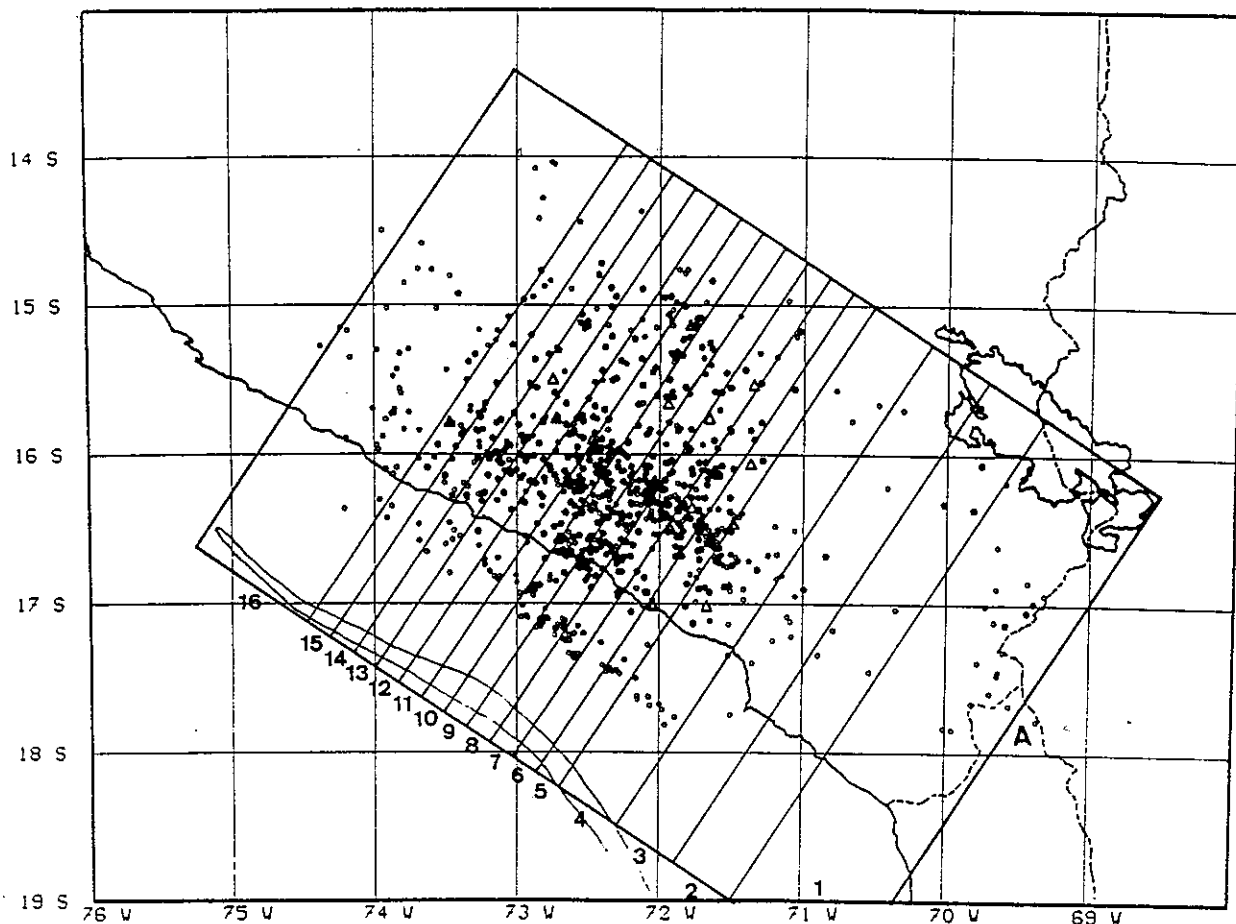


Figure IV.6 - Pages suivantes: coupes A, suivant les sections situées sur la carte ci-dessus.

Coupes verticales de sismicité dans une direction d'azimut $N 33^{\circ} E$, approximativement perpendiculaire à la fosse. Les sections 5 à 15 ont 20 km de largeur.

F, C: repèrent la fosse et la côte, respectivement.

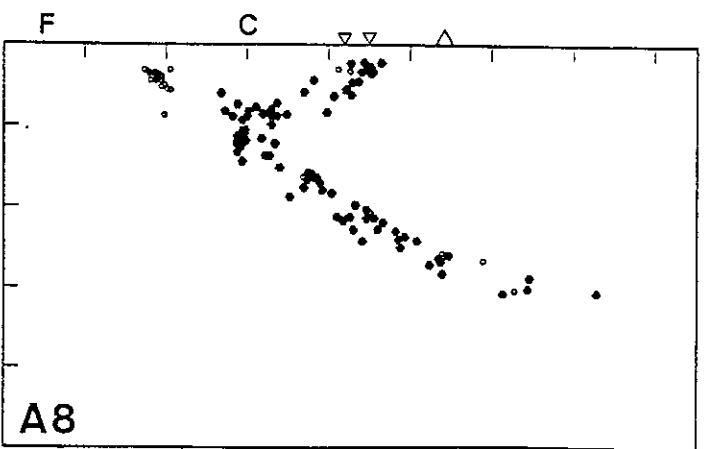
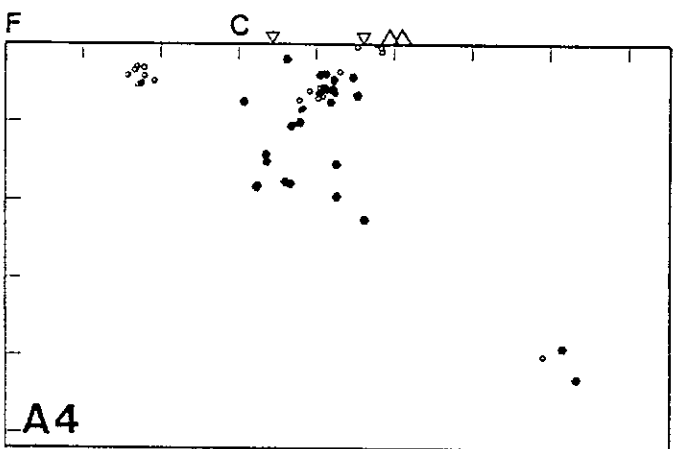
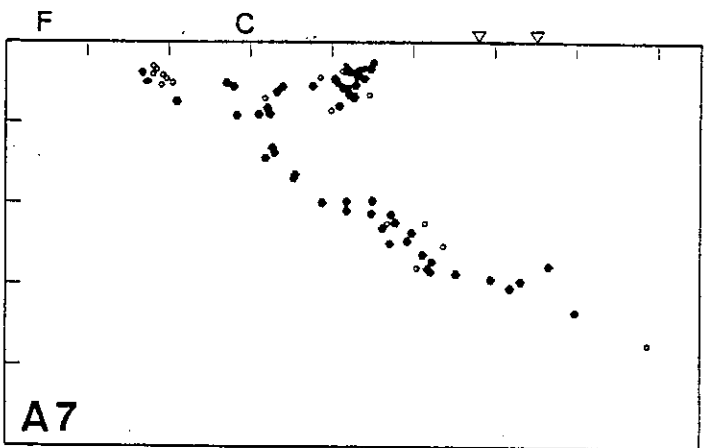
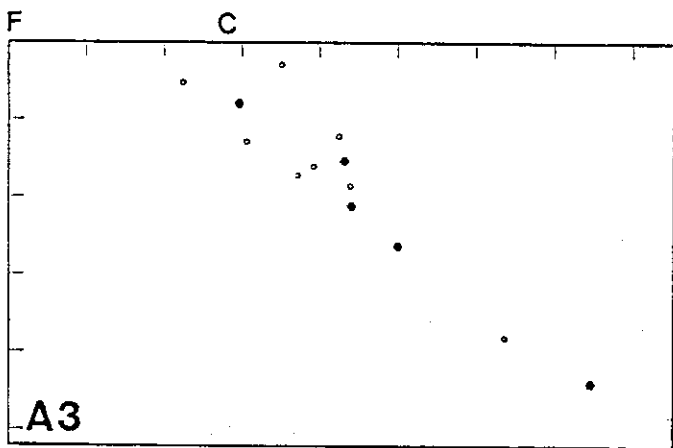
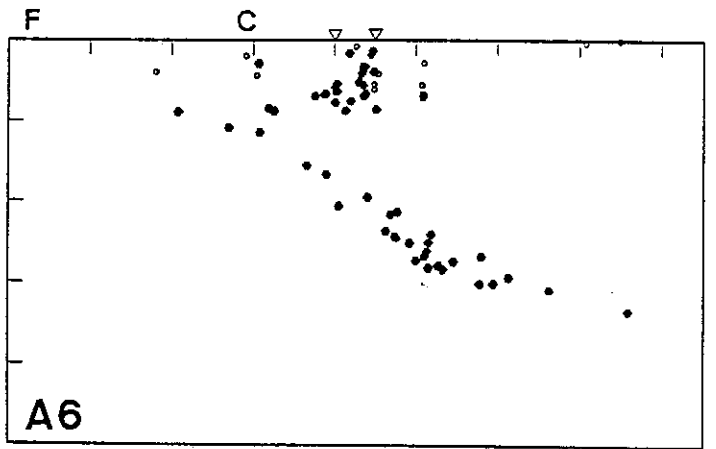
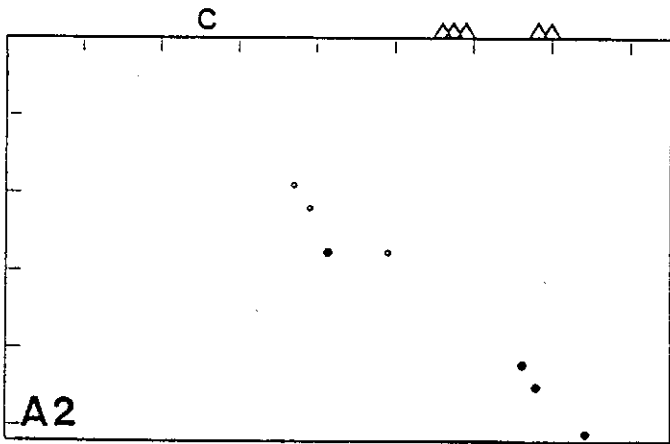
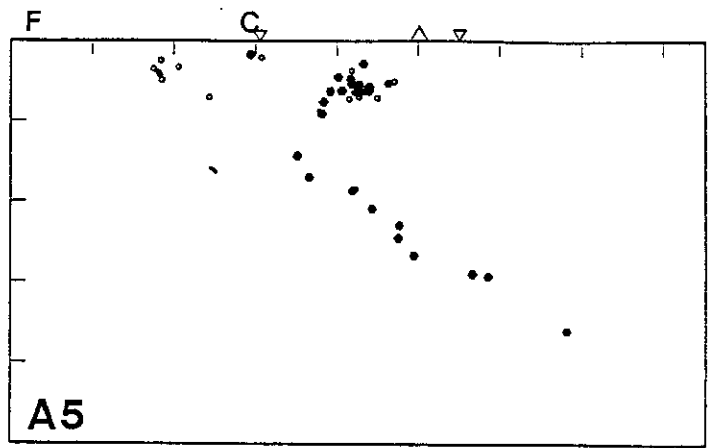
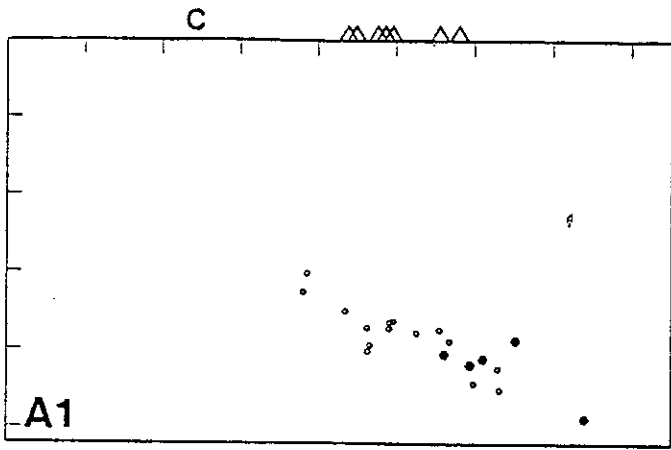
∇ : stations sismologiques (réseau 1981).

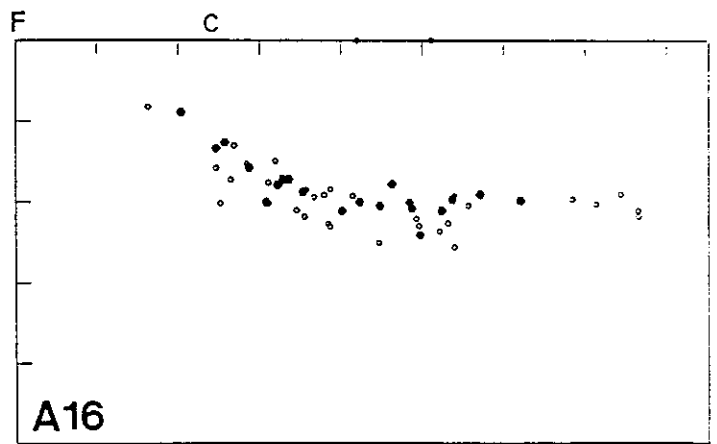
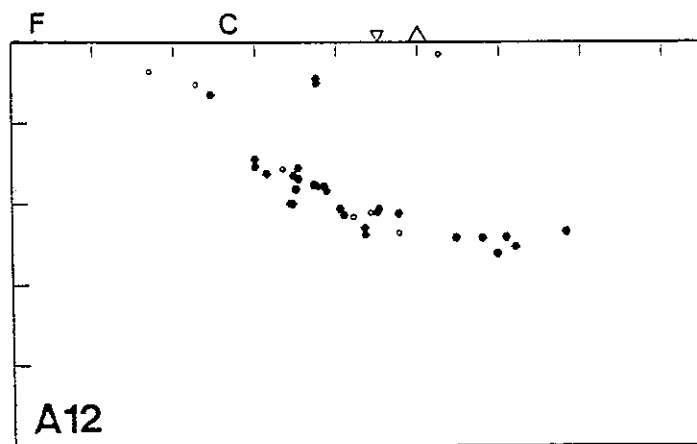
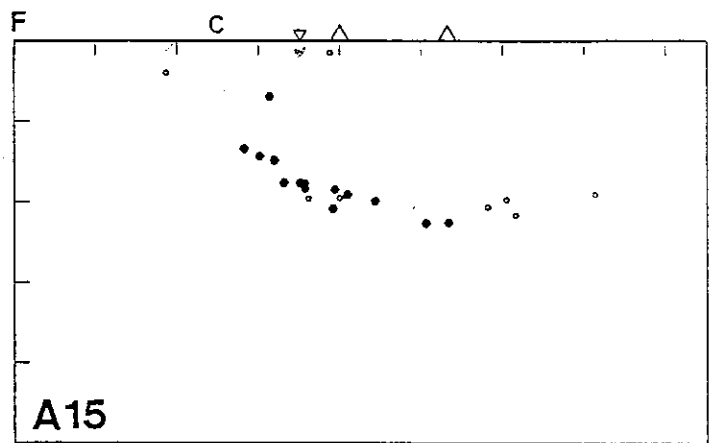
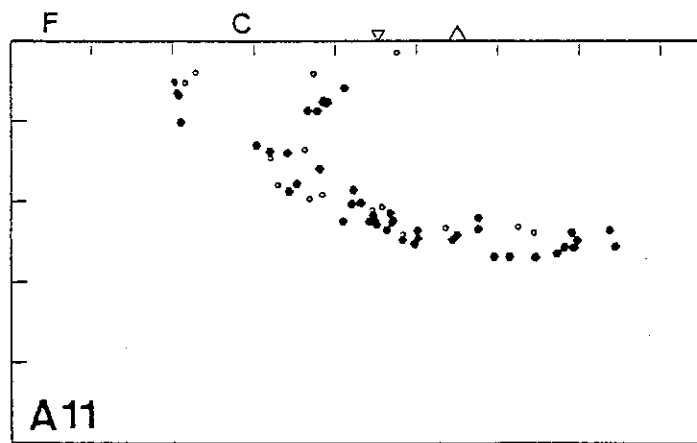
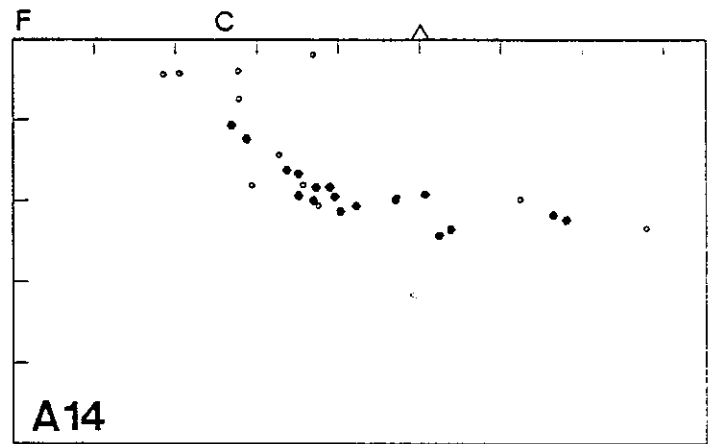
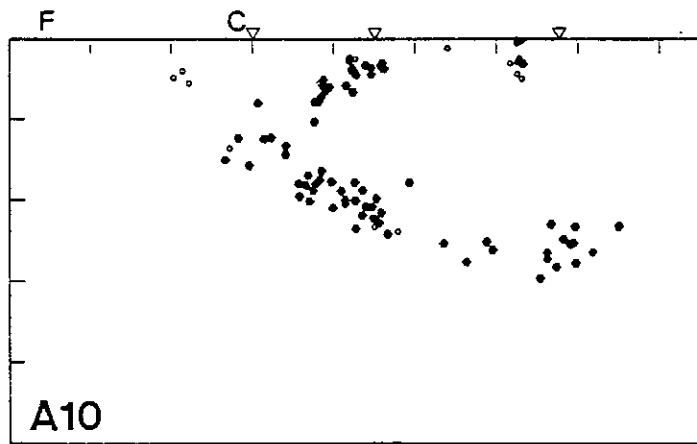
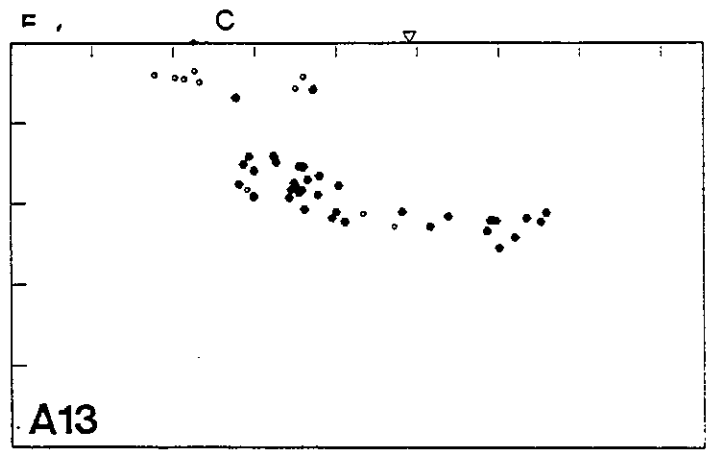
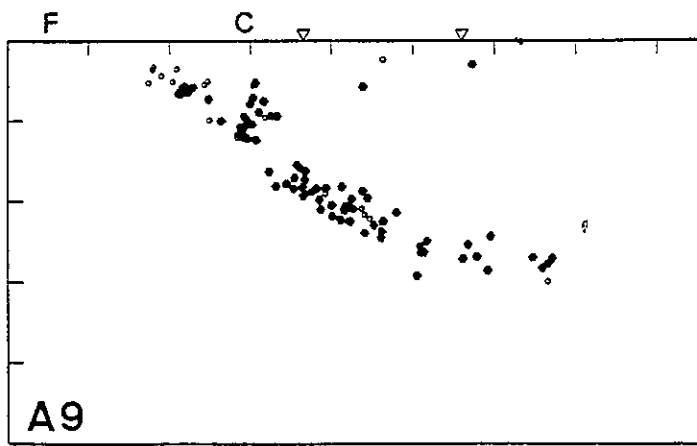
\triangle : volcans quaternaires à actuels.

Les ronds pleins indiquent les évènements les mieux localisés.

Les échelles horizontale et verticale sont identiques.

Graduation des axes en distance: 50 km.





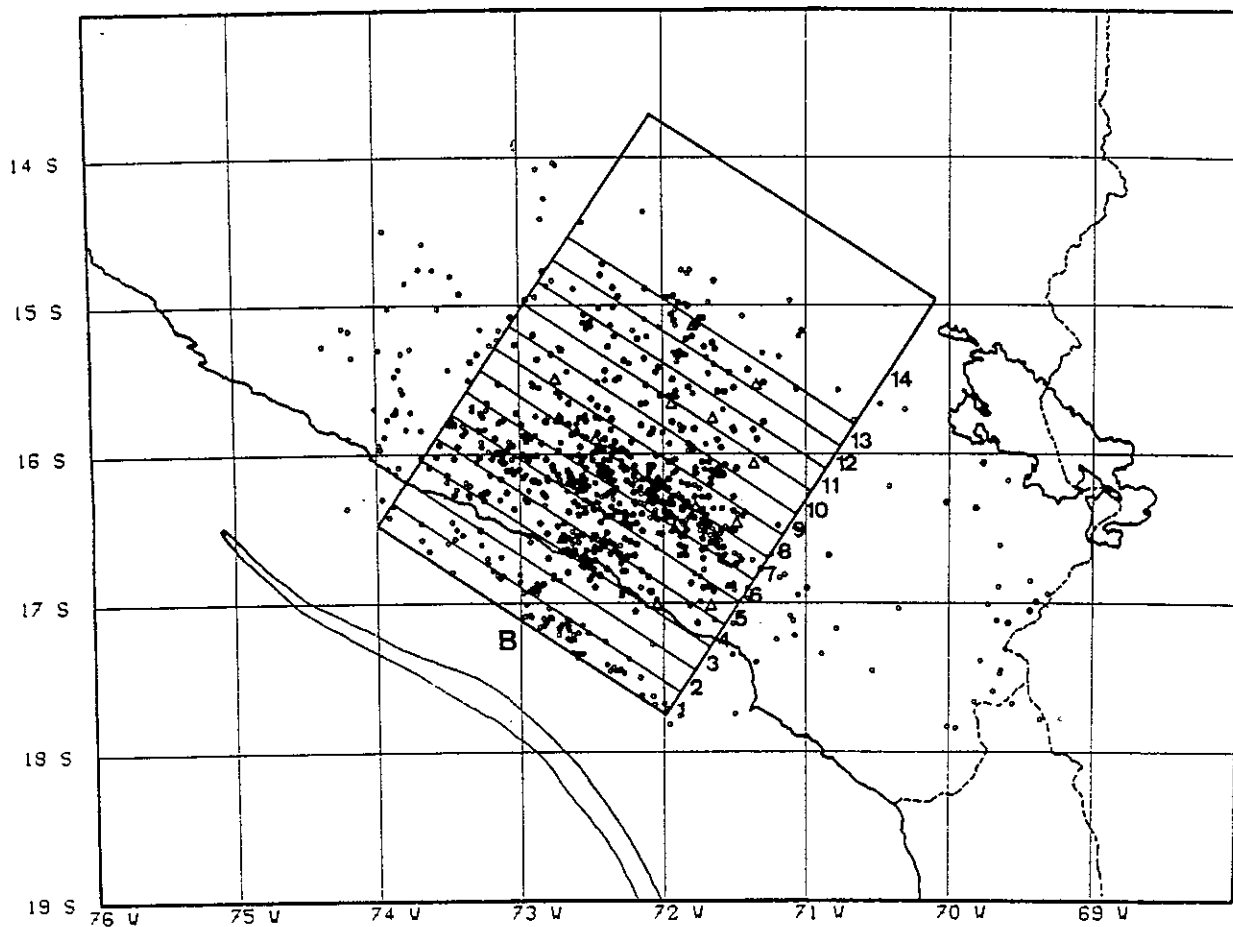
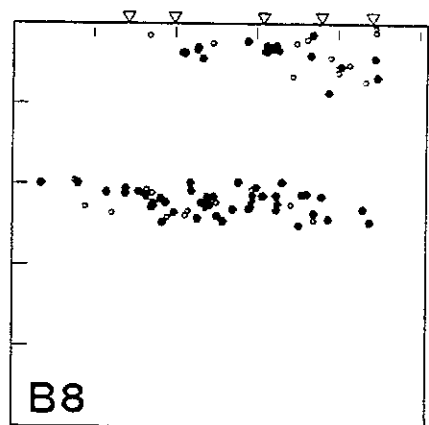
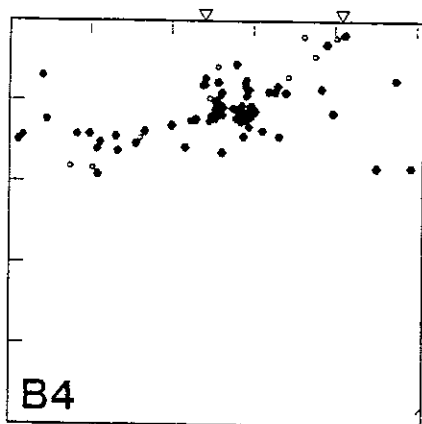
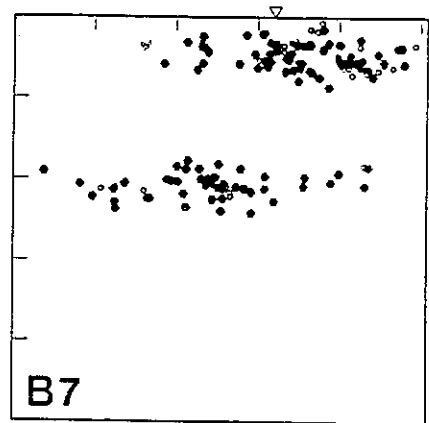
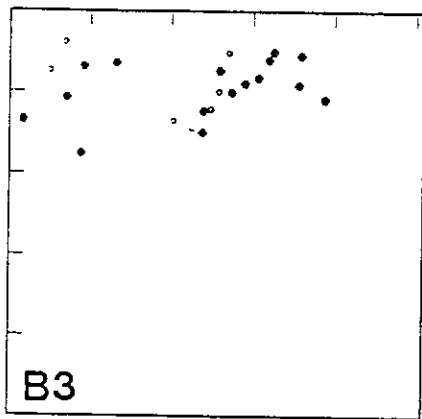
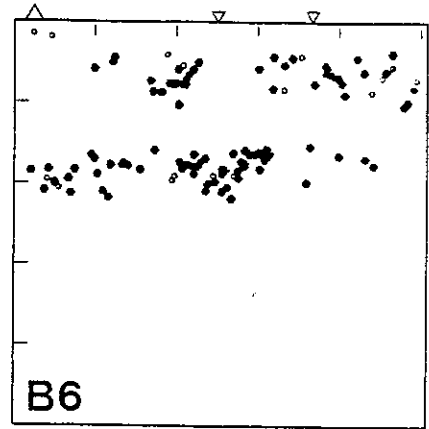
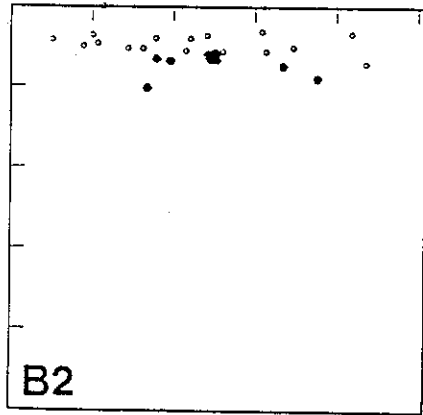
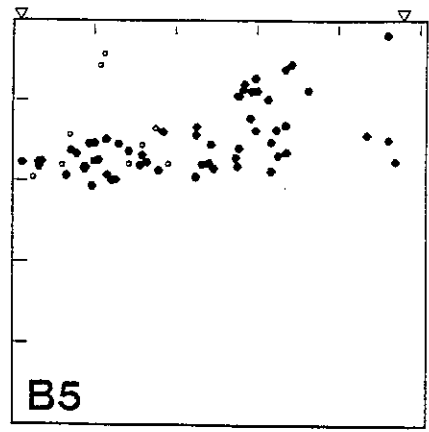
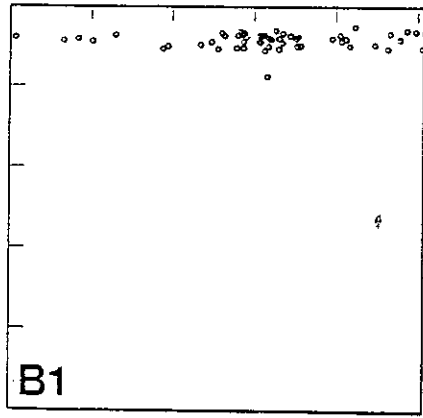
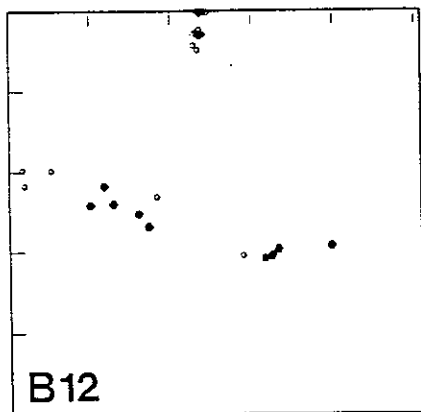
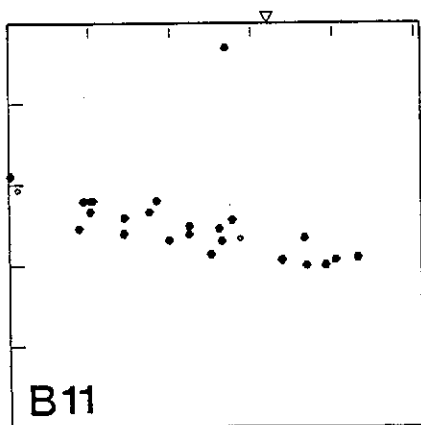
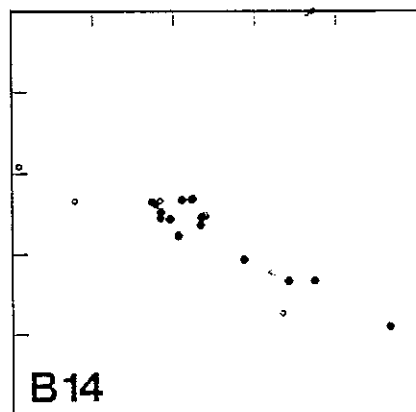
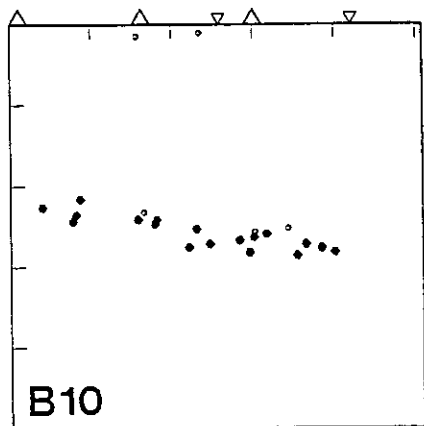
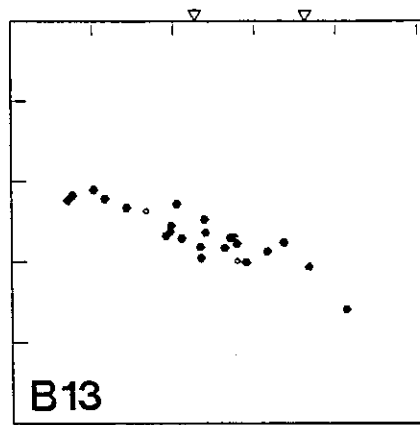
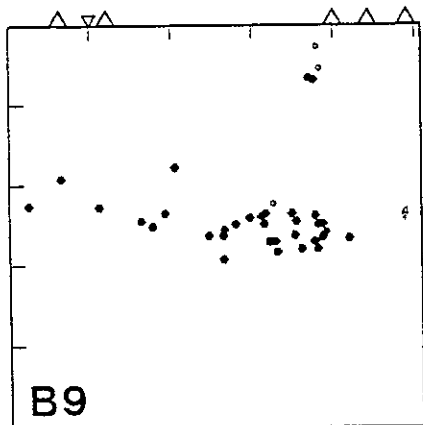


Figure IV.7 - Pages suivantes: coupes B, suivant les sections situées sur la carte ci-dessus.

Coupes verticales de sismicité dans une direction d'azimut $N 123^{\circ} E$, approximativement parallèle à la fosse. Les sections 1 à 13 ont 20 km de largeur.

Légende des symboles en figure IV.6 .





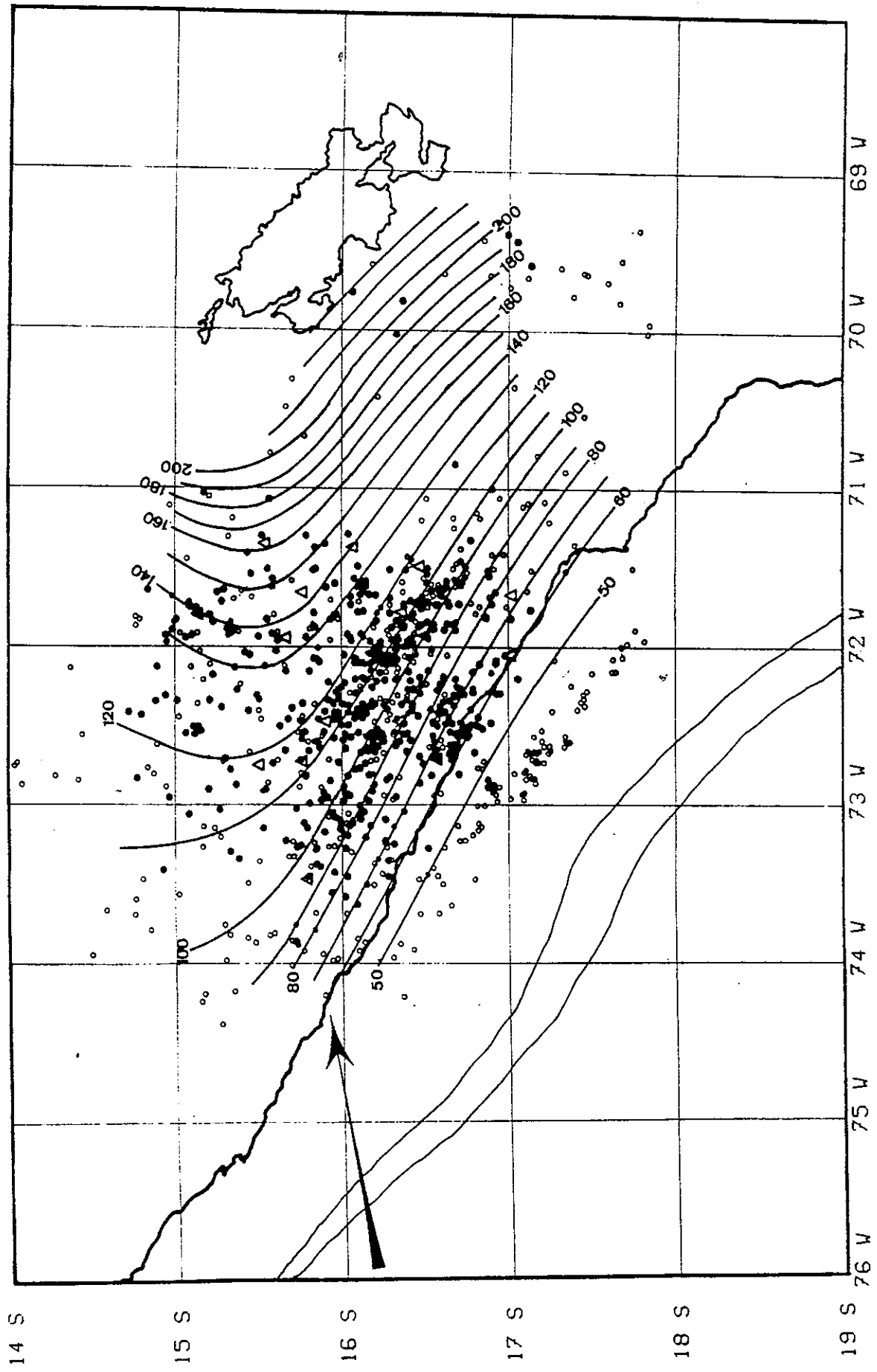


Figure IV.8 - Isobathes (en km) de la zone sismique intermédiaire. La flèche indique la direction de convergence des plaques Nazca et Amérique du Sud (selon Minster et al., 1978).

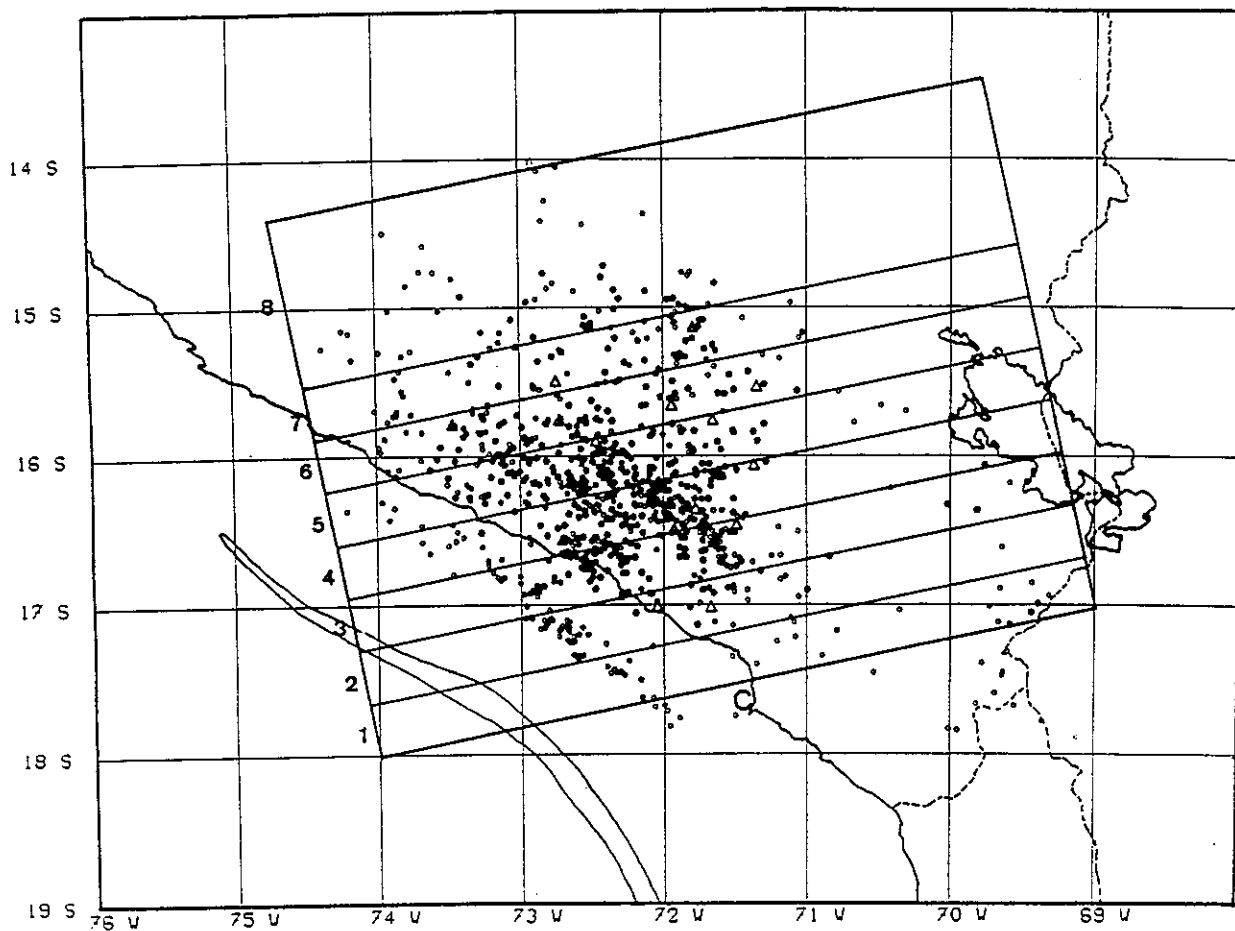
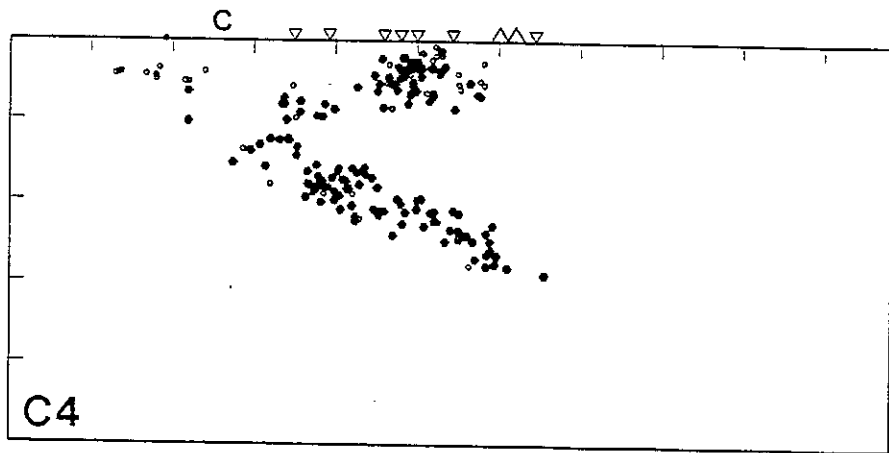
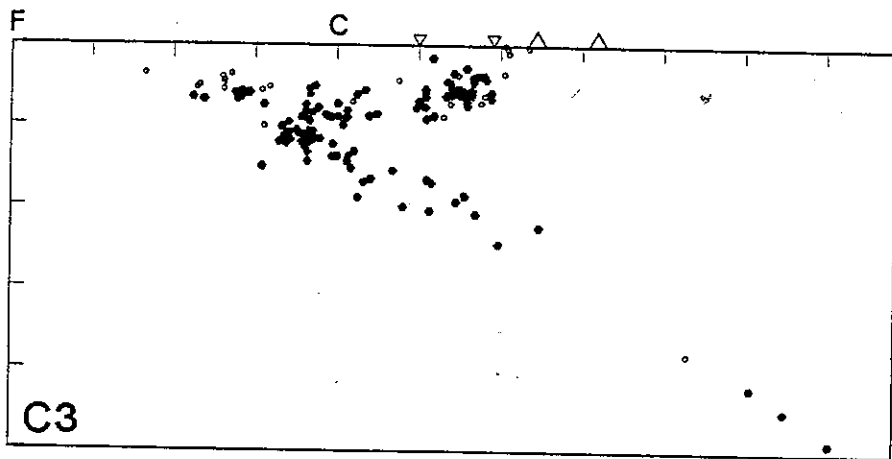
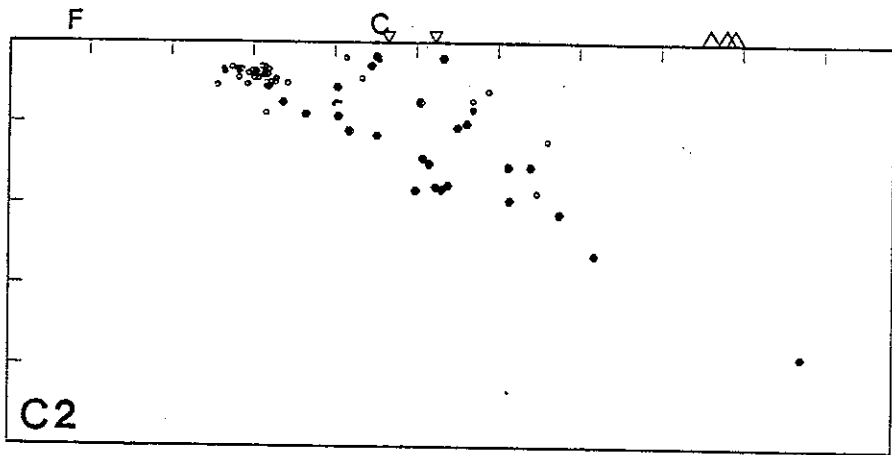
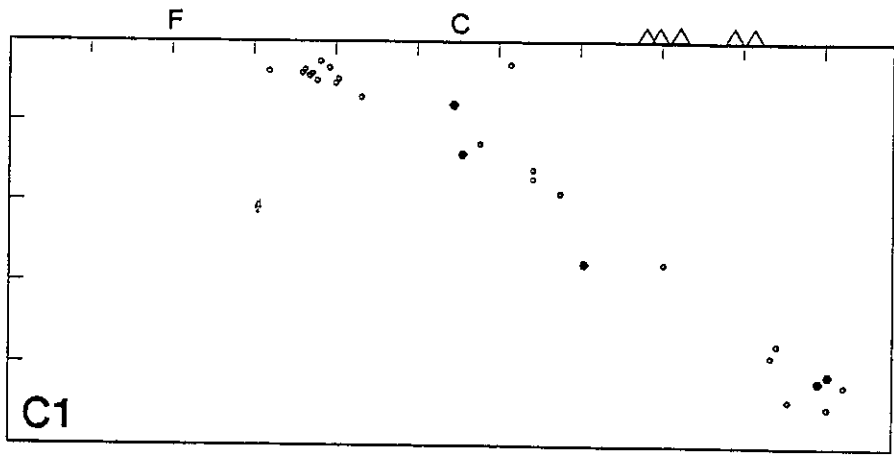
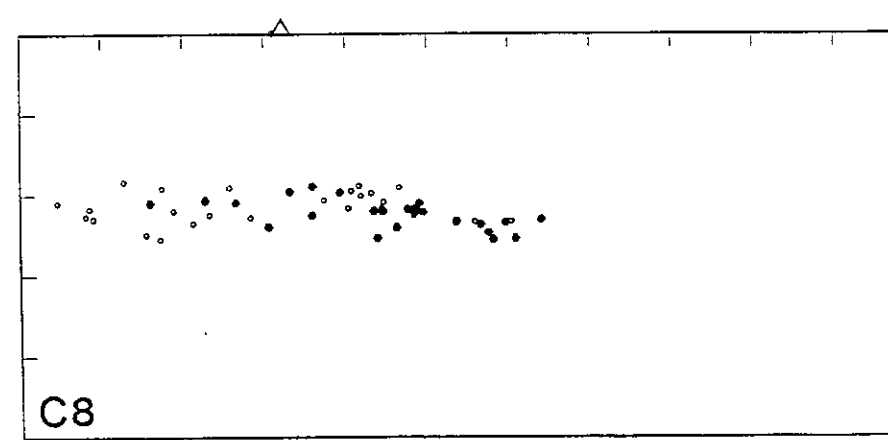
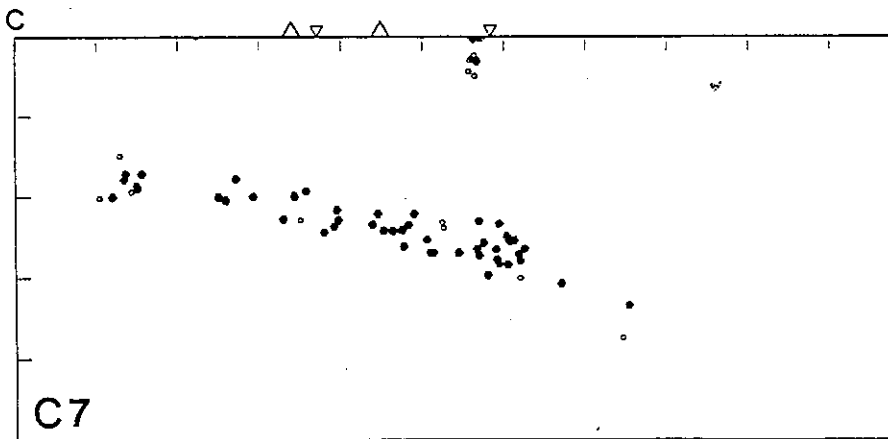
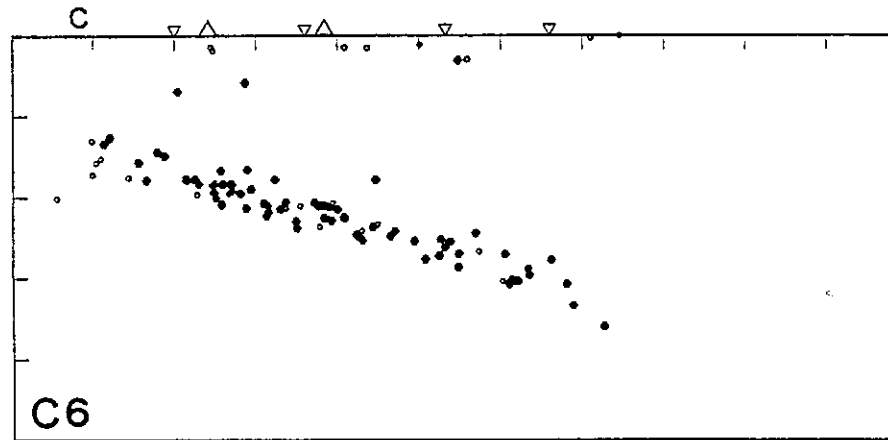
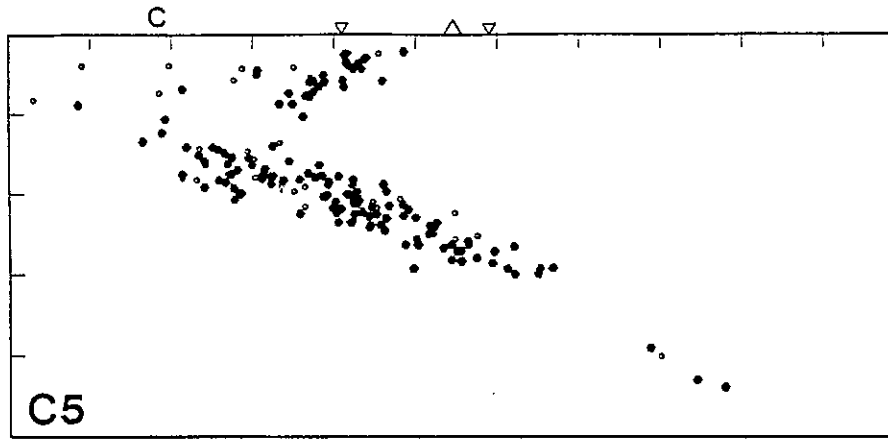


Figure IV.9 - Pages suivantes: coupes C, suivant les sections situées sur la carte ci-dessus.

Coupes verticales de sismicité dans une direction d'azimut $N 78^{\circ} E$, parallèle à la direction de convergence des plaques Nazca et Amérique du Sud. Les sections 1 à 7 ont 40 km de largeur.

Légende des symboles en figure IV.6 .





C H A P I T R E V
L E S M É C A N I S M E S A U F O Y E R

1 - INTRODUCTION.

2 - L'ACTIVITE SUPERFICIELLE.

2.1 - Le groupe continental.

2.2 - Le groupe côtier.

2.3 - Le groupe "Chonta".

3 - LA ZONE DE WADATI-BENIOFF.

3.1 - La zone de variation de pendage.

3.2 - La zone de plongement uniforme.

4 - RESUME.

LES MECANISMES AU FOYER

1 - INTRODUCTION

Nous nous ramenons toujours dans les études de mécanismes au foyer au modèle de rupture fragile suivant une fracture de cisaillement: un séisme libère par une fracture dans le milieu une partie de l'énergie accumulée localement par des contraintes anisotropes (déviatoriques). Ce mécanisme génère des ébranlements (déplacements des particules autour d'une position d'équilibre) au sein du milieu. Les ébranlements longitudinaux sont des compressions (condensations) ou des dilatations locales de la matière qui se propagent sous forme d'ondes longitudinales (ondes P) du fait de l'élasticité du milieu.

On peut reconnaître la nature de l'ébranlement émis en lisant le sens de premier mouvement du sol capté par un sismomètre: un premier mouvement du sol vers le haut (resp. vers le bas) indique qu'un ébranlement en compression (resp. en dilatation) a été émis en premier au foyer. En général, les ébranlements en compression et en dilatation rayonnés par la source se répartissent suivant une distribution en quadrants séparés par deux plans "nodaux" orthogonaux.

Nous utilisons pour interpréter les données le modèle du double couple sans moment associé (Burridge et Knopoff, 1964) à la disparition lors du séisme d'un état de contraintes caractérisé par deux contraintes extrémales orthogonales: la compression minimale ou "tension" T dirigée suivant l'axe bissecteur des quadrants de compressions et la compression maximale ou "compression" P dirigée suivant l'axe bissecteur des quadrants de dilatations. Il est utile de dissiper cette ambiguïté dans le vocabulaire qui associe une extension (contrainte) à des compressions (ébranlements) et une compression (contrainte) à des dilatations (ébranlements).

Nous sommes ainsi en mesure - en théorie - de déterminer l'état des contraintes responsables des séismes étudiés. En s'appuyant sur la géométrie des rais, on place sur une sphère centrée au foyer les sens de premier mouvement observés. Sur une projection plane stéréographique (en l'occurrence, la projection équiaréale de Schmidt), on cherche à reconstituer la distribution en quadrants en respectant l'orthogonalité des plans nodaux.

LES MECANISMES AU FOYER

Les plans nodaux indiquent les directions le long desquelles un ébranlement "nul" est émis à la source. En revanche, un "maximum d'énergie" y est émis sous forme d'ondes de cisaillement (ondes S), tout au moins dans le modèle envisagé. Ainsi un démarrage incertain du train d'ondes P et une forte arrivée S peuvent-ils être considérés comme des indices de voisinage d'un plan nodal: j'ai parfois exploité ces indices pour fixer la position des plans nodaux, tout au moins quand ils se manifestent à des stations peu éloignées du séisme et présentant par ailleurs une bonne réponse (p.e. LLU, CAY, TOR, CRV, SIS).

L'un des plans nodaux est associé à la fracture elle-même et contient le vecteur glissement ("plan de faille"). En l'absence de toute information complémentaire (géologique, tectonique) il est impossible de reconnaître à priori le plan de faille, en raison de la symétrie du modèle. Nous excluons d'emblée les cas qui ne peuvent se ramener au modèle choisi (plans nodaux non orthogonaux); en fait, l'expérience montre que ces situations se présentent très rarement (Ritsema, 1970).

La figure V.1 illustre la procédure utilisée et montre quelques cas typiques de failles: faille normale ou inverse, faille de coulissage. En fait, cette terminologie est héritée des observations géologiques de surface, où l'on ne considère, en général, que la projection horizontale. Or, il est toujours loisible de choisir n'importe quel plan de projection et ce vocabulaire montre alors ses limites: un mécanisme "en coulissage" sur une projection horizontale pourra être vu en "faille inverse" sur une projection verticale. Pour lever toute ambiguïté, nous représenterons toujours nos solutions focales par une projection sur le plan de la figure: projections horizontales de l'hémisphère inférieur sur les cartes, projections verticales de l'hémisphère "arrière" sur les coupes (figure V.1).

En pratique, les solutions focales ne peuvent être bien contraintes que dans des cas très favorables (nombre suffisant de bonnes lectures des deux types avec une bonne couverture azimutale). Cela explique le nombre relativement réduit de solutions obtenues: environ 70, dont une trentaine seront à considérer avec prudence.

Citons quelques restrictions au schéma simple développé plus haut. En toute rigueur, pour que les axes P et T fournis par la solution focale correspondent aux axes des contraintes responsables du séisme, il faut que la totalité du déviateur des contraintes disparaisse lors du séisme et que la fracture soit générée dans un milieu

Répartition en quadrants des premiers mouvements et modèle du double couple sans moment.

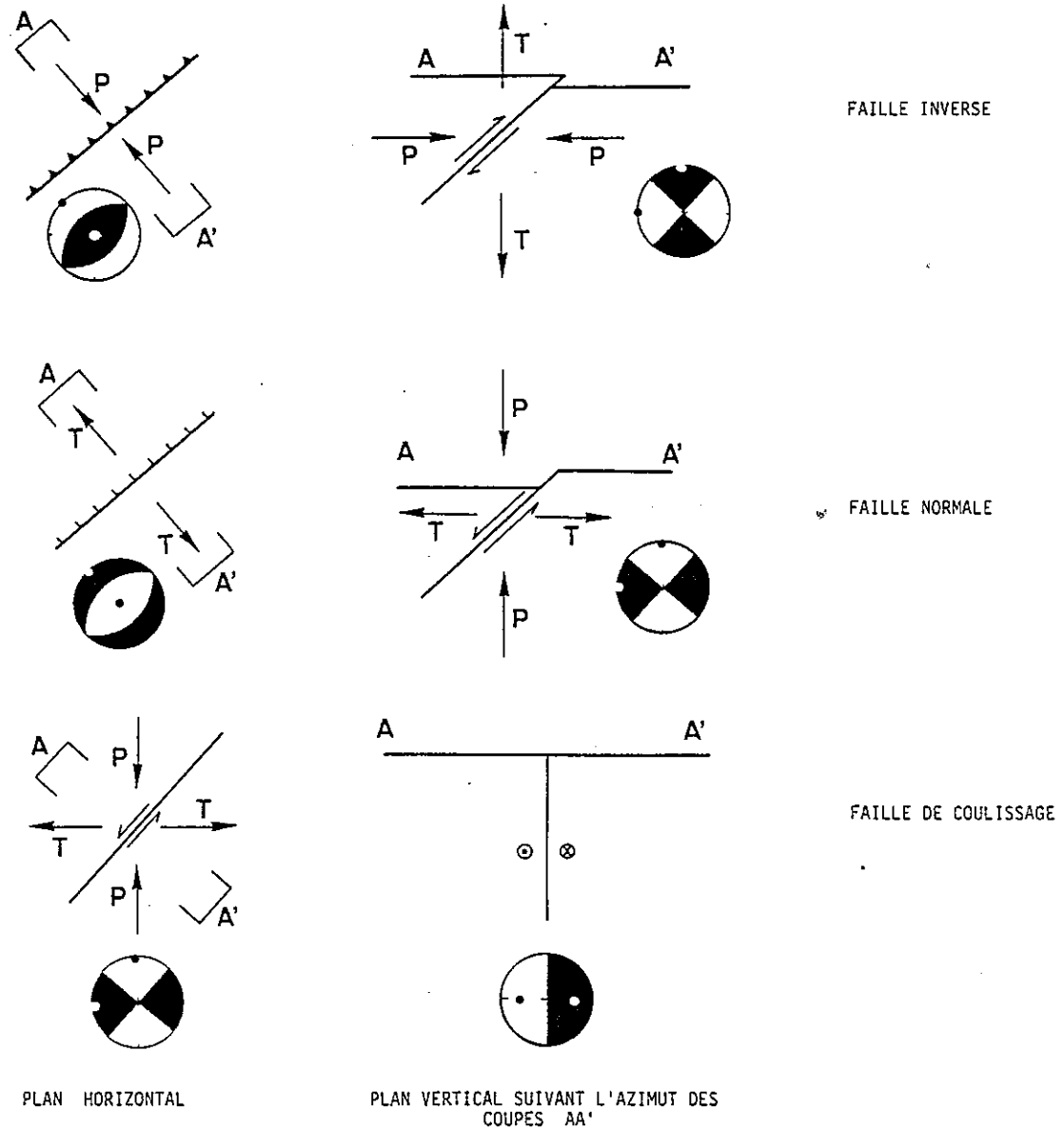
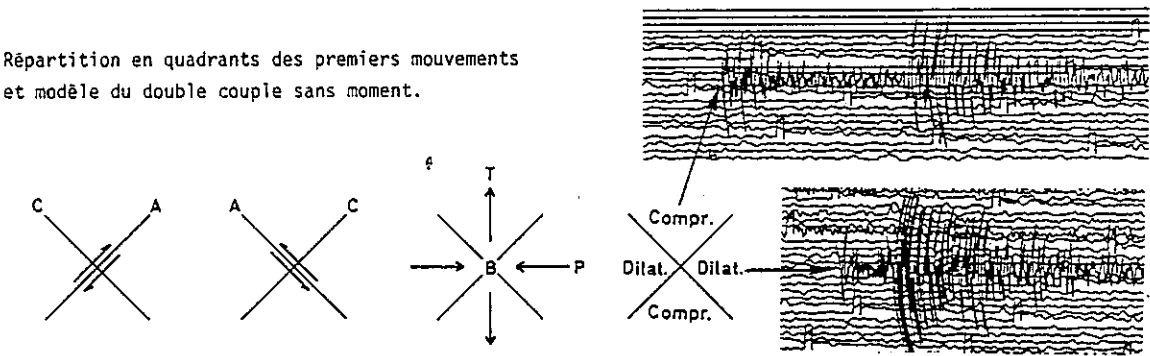


Figure V.1 - Premiers mouvements et mécanismes au foyer.

Les aires noires (resp. blanches) sont les quadrants de premiers mouvements en compression (resp. dilatation); point blanc: axe T; point noir: axe P.

Projections équiaréales de Schmidt de l'hémisphère inférieure sur plan horizontal et de l'hémisphère "arrière" sur plan vertical.

LES MECANISMES AU FOYER

isotrope. Or, on conçoit aisément que dans la réalité nombreux sont les facteurs qui peuvent venir compliquer ce schéma et ce, d'autant plus probablement que l'on s'intéresse aux plus petits séismes. Ainsi des accidents préexistants, de fortes discontinuités dans le milieu peuvent guider la rupture sur une orientation plus ou moins éloignée de celle qui serait générée en leur absence. Les expériences de mécanique des roches indiquent en outre que l'orientation à 45° du plan de rupture par rapport aux directions principales de contraintes n'est pas le cas général: l'effet de la résistance interne au cisaillement propre à la roche tend à rapprocher ce plan de l'axe de compression maximale (voir par exemple Bles et Feuga, 1981). On admet donc que cet effet est négligeable et que la rupture se fait suivant les plans de cission maximale; ceci est d'autant plus vrai, du reste, que la pression de confinement et la température sont élevées (grandes profondeurs): le matériau devient plus ductile.

En fait, une solution focale, si elle est bien contrainte, ne délivre d'une manière sûre que l'orientation des plans nodaux; si l'on peut faire le choix du plan de faille, on connaît le vecteur glissement associé au séisme. L'extension à une échelle régionale, en termes de contraintes tectoniques, des observations ponctuelles délivrées par les mécanismes au foyer reste une hypothèse de travail, sur laquelle nous nous appuyerons.

Malgré ces restrictions, l'étude des mécanismes au foyer reste l'unique approche possible de l'état de contrainte dans une zone sismique et de la dynamique du système. Nous tenterons donc, sur cette base, d'interpréter les résultats obtenus.

Les solutions focales obtenues sont rassemblées sur des cartes, par tranches de profondeur (figure V.2, a à f), et sur des coupes verticales reprenant quelques unes des coupes A (figure V.3), B (figure V.4) et C (figure V.5) commentées en chapitre IV.

Pages suivantes: ensemble des solutions focales obtenues présentées sur des cartes et des coupes commentées au chapitre IV.

Figure V.2 - Répartition sur cartes par tranches de profondeur.

Projections de Schmidt de l'hémisphère inférieur.

PT1 à PT6: diagrammes (P,T) réunissant les axes P et T d'un groupe de séismes (hémisphère inférieur).

C1 à C6: sur les cartes 2a et 2b, groupes de séismes utilisés pour réaliser des sphères focales composites (figure V.6).

Figure V.3 - Répartition sur les coupes A de la figure IV.6 (chapitre IV).

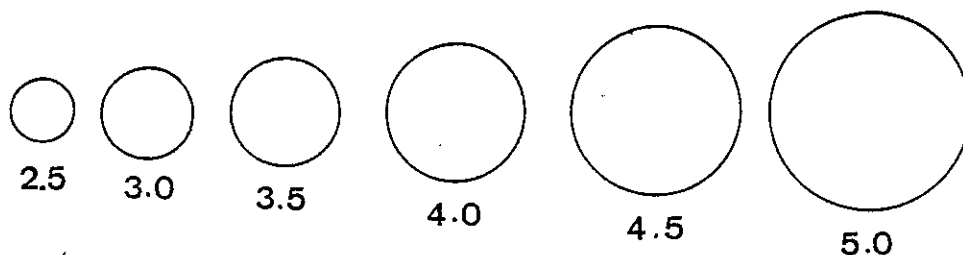
Projections de Schmidt de l'hémisphère "arrière" sur le plan vertical dans l'azimut de la coupe (plan de la figure).

Figure V.4 - Répartition sur les coupes B de la figure IV.7 .

Figure V.5 - Répartition sur les coupes C de la figure IV.8 .

Les aires noires représentent les quadrants de premiers mouvements en compression (point blanc: axe T; point noir: axe P).

La taille des sphères focales est fonction de la magnitude locale des séismes:



Les losanges indiquent les mécanismes les mieux contraints.

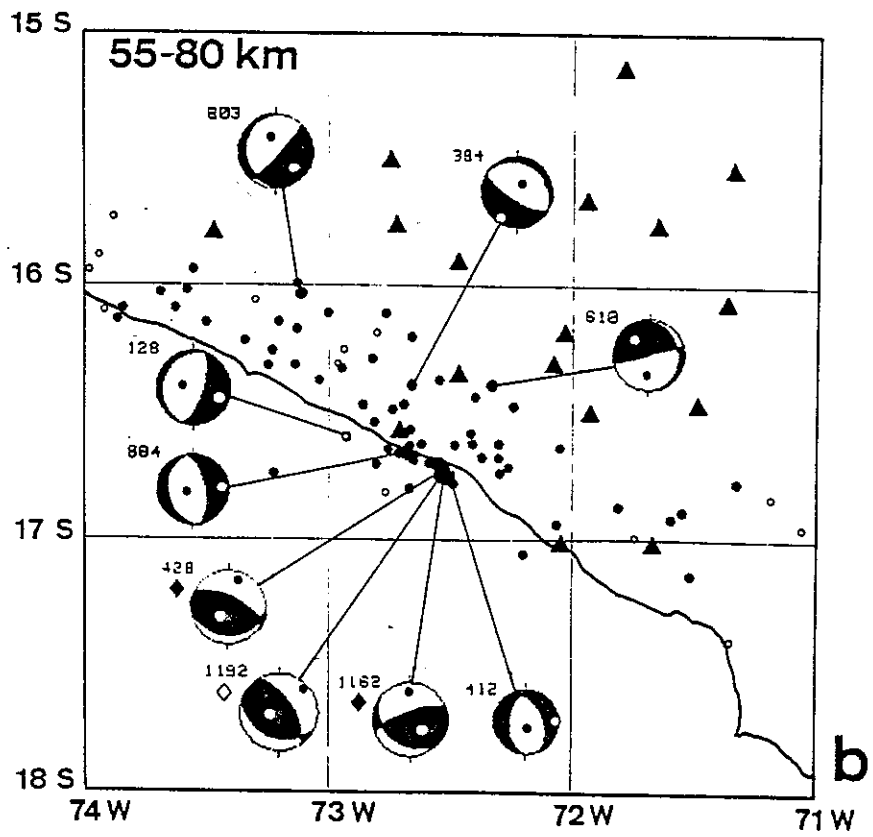
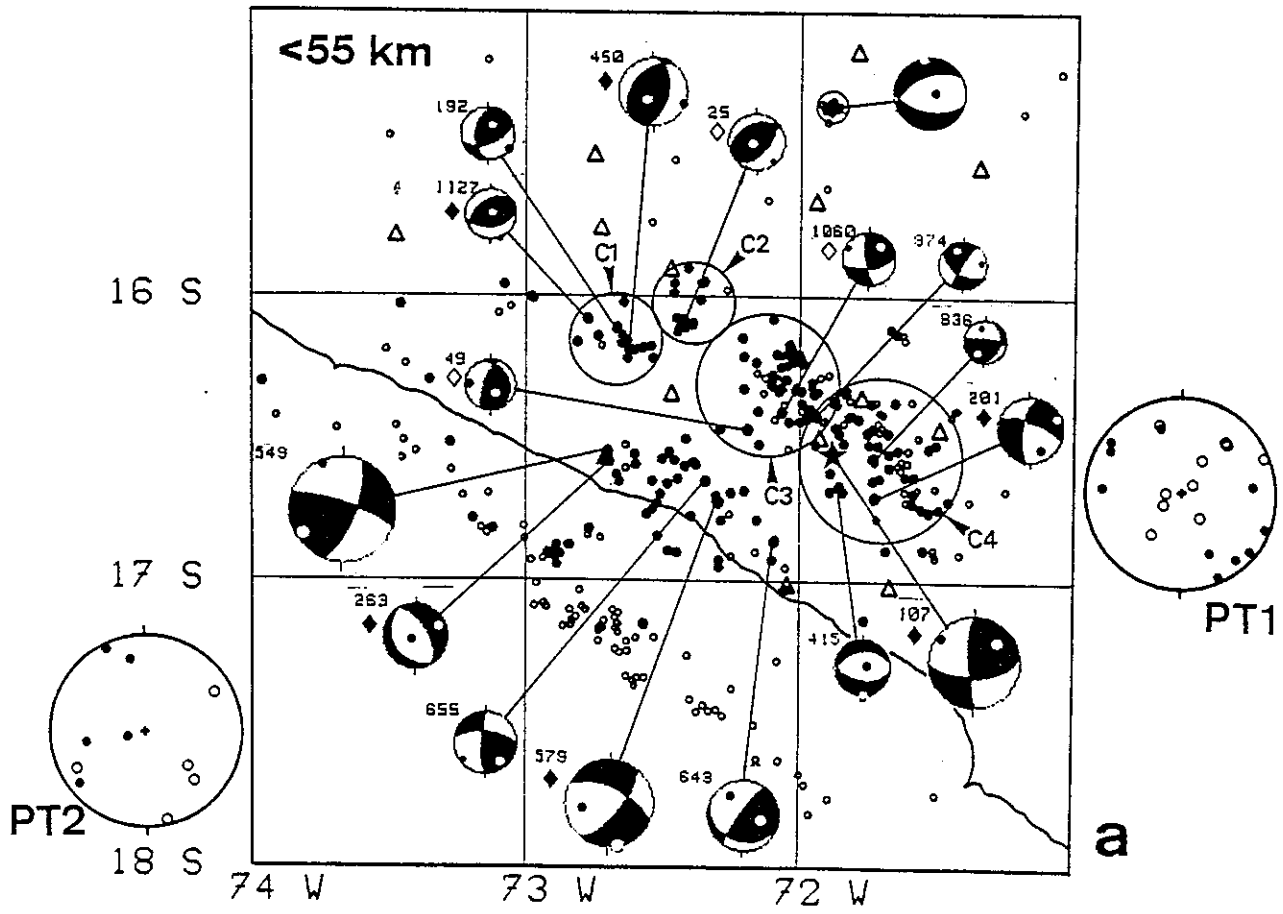


Figure V.2

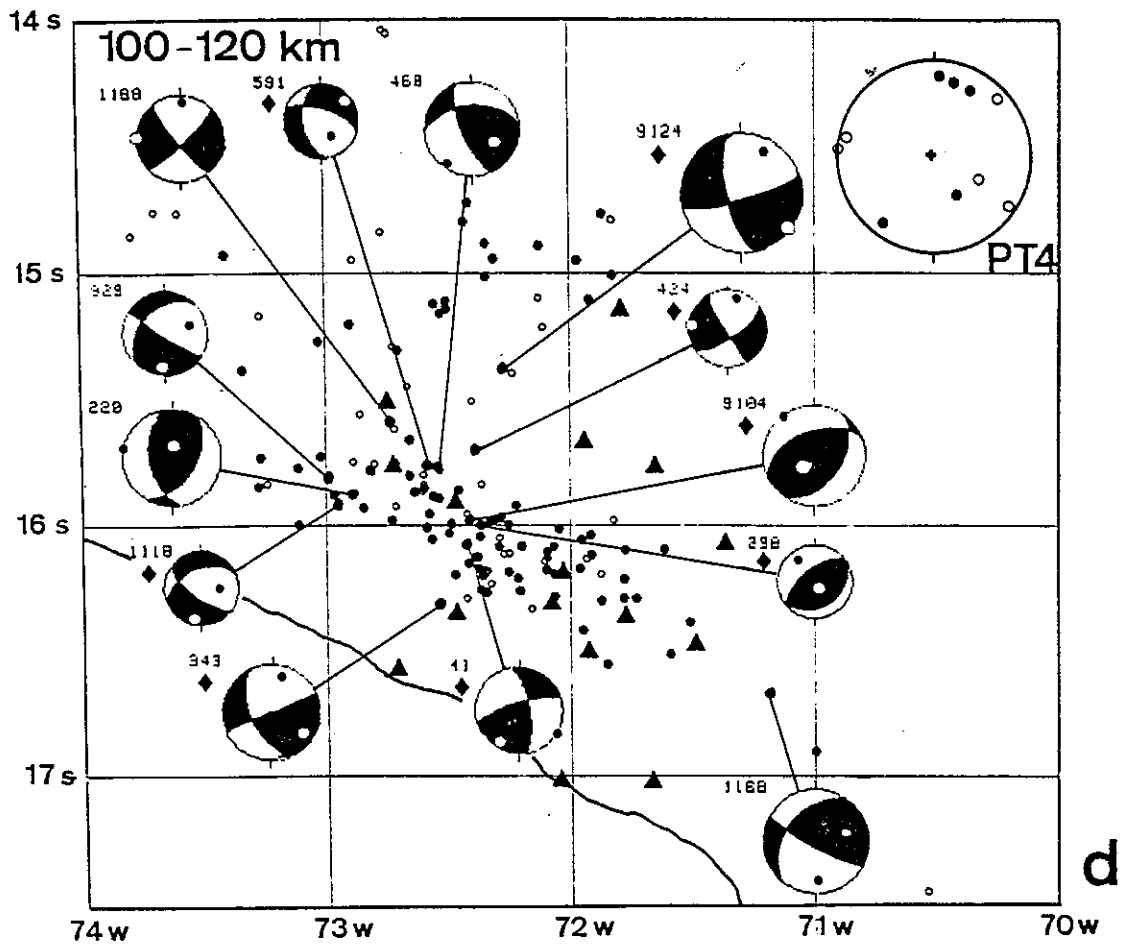
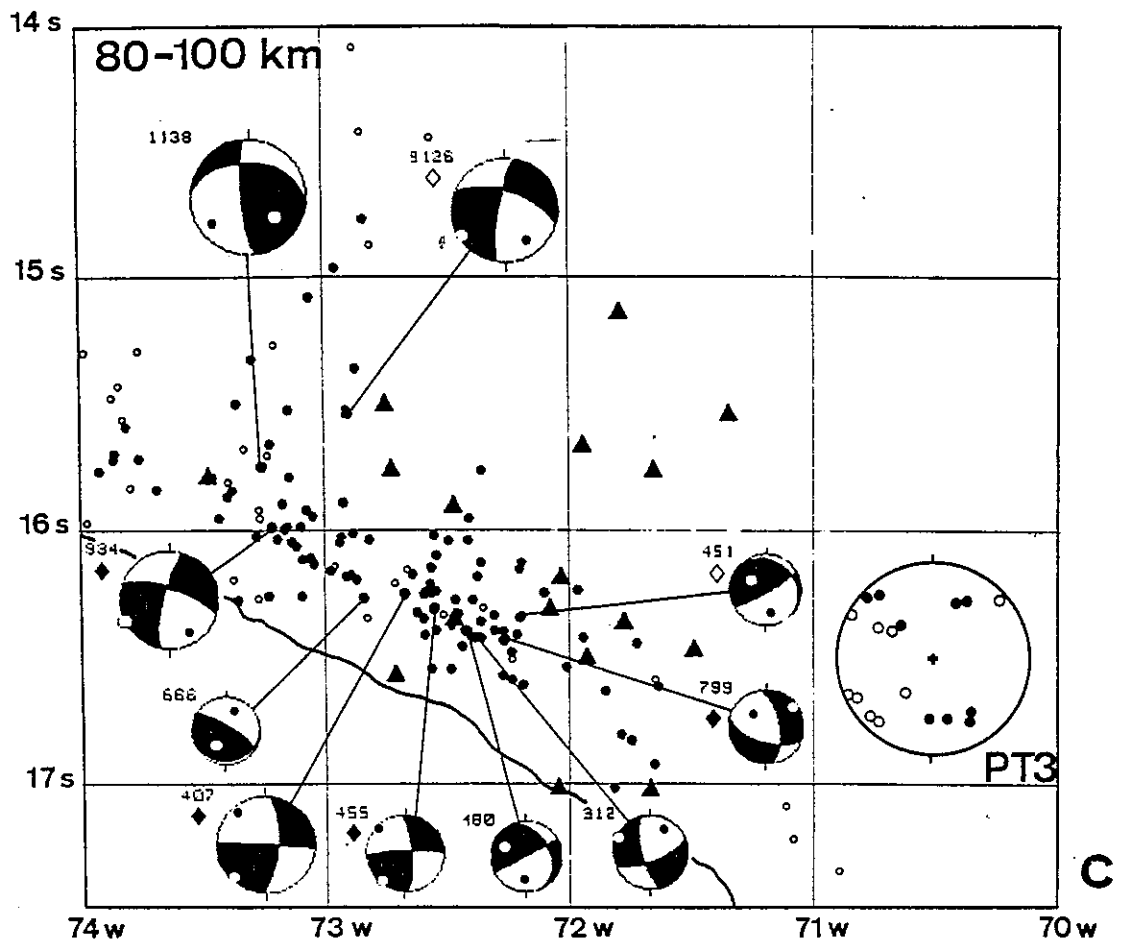


Figure V.2 (suite)

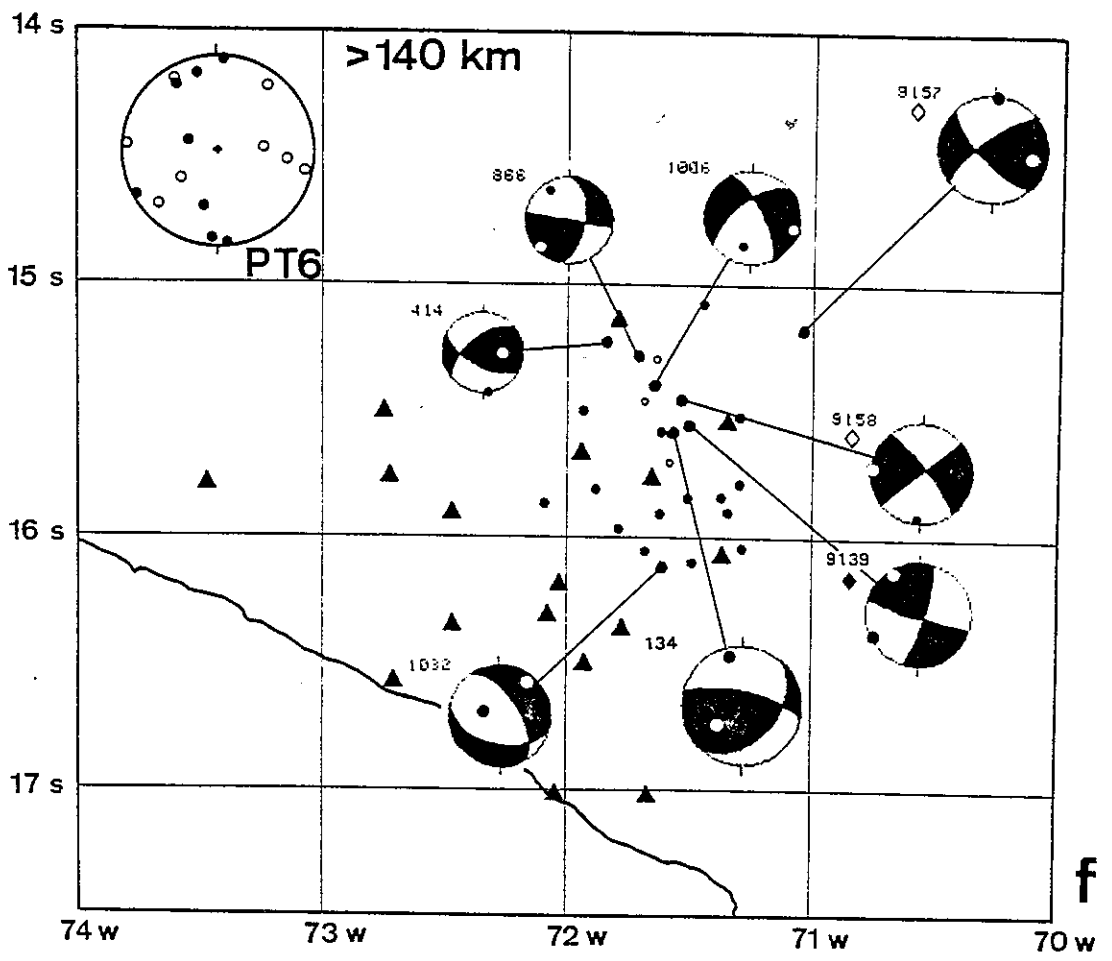
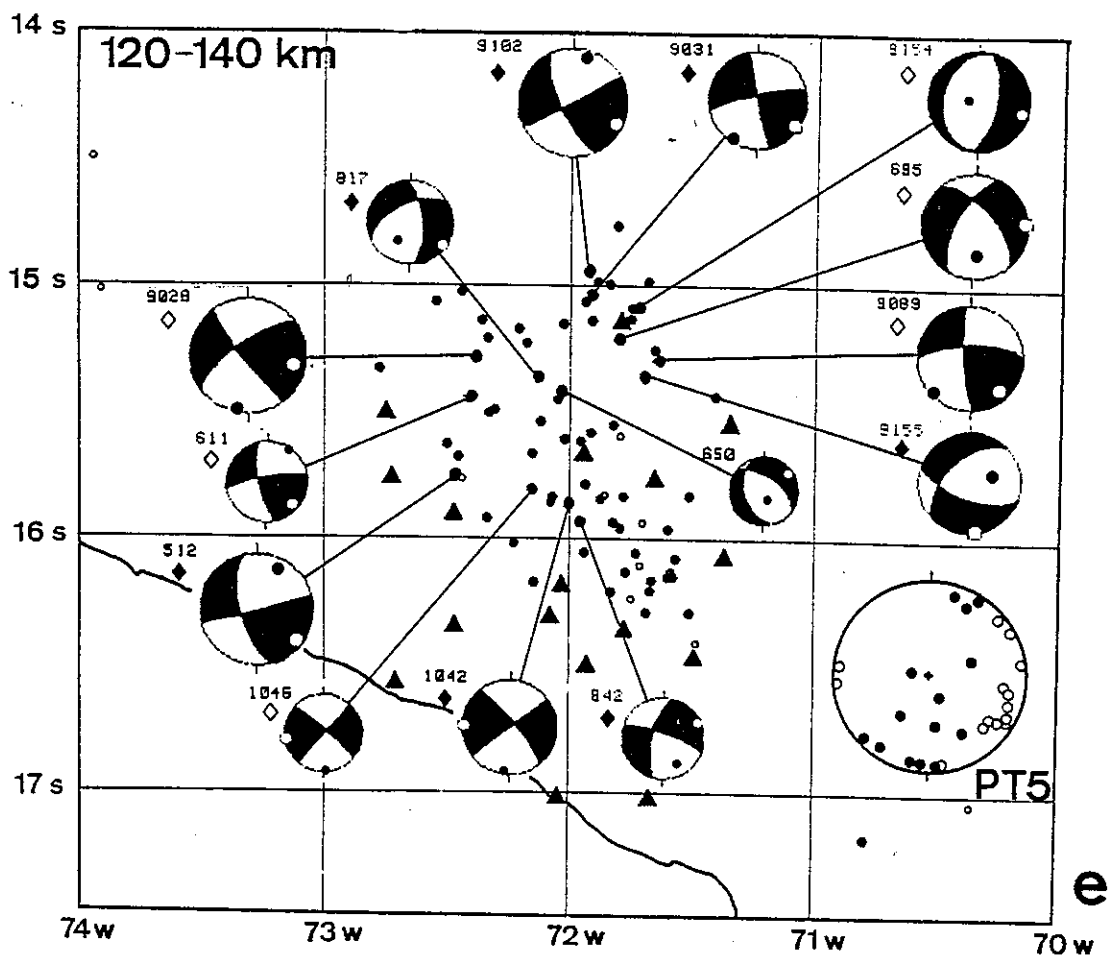


Figure V.2 (suite et fin)

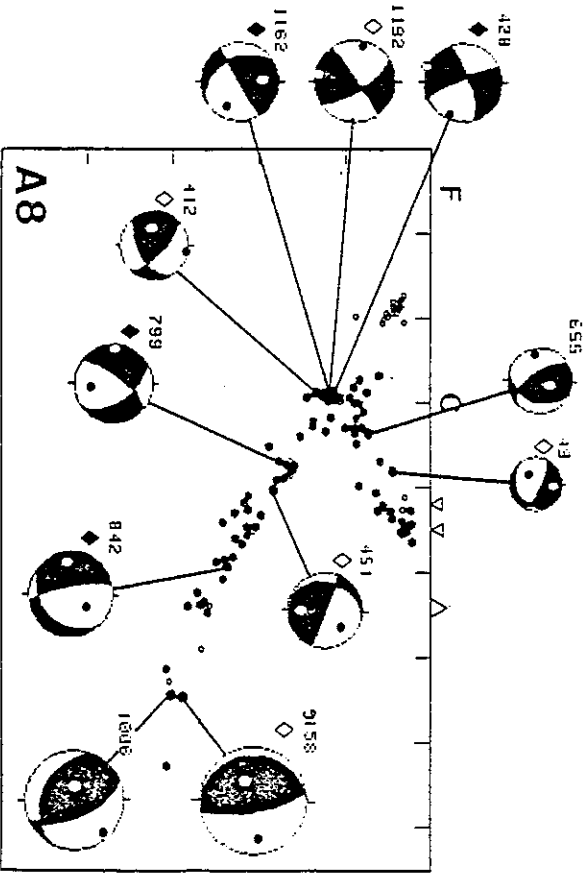
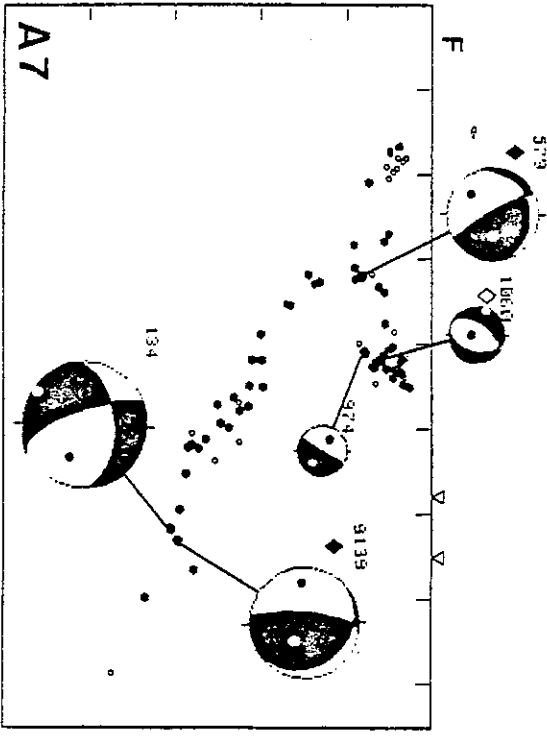
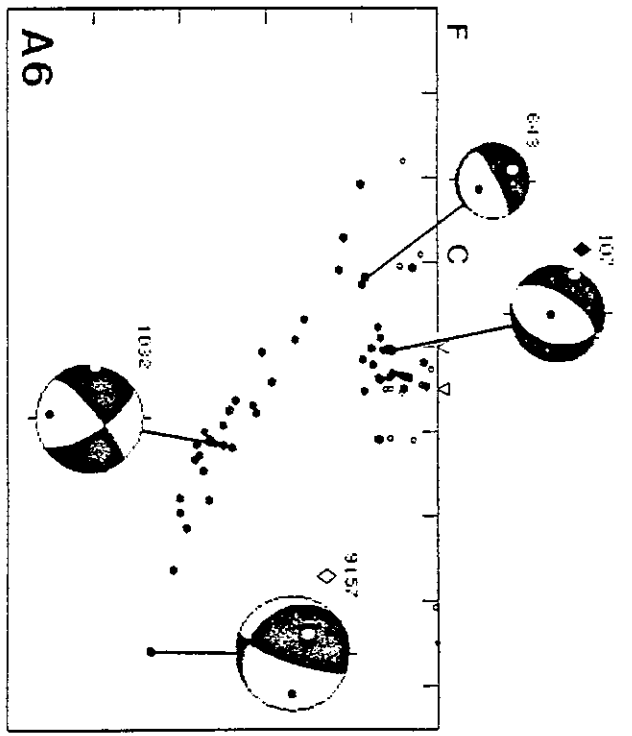
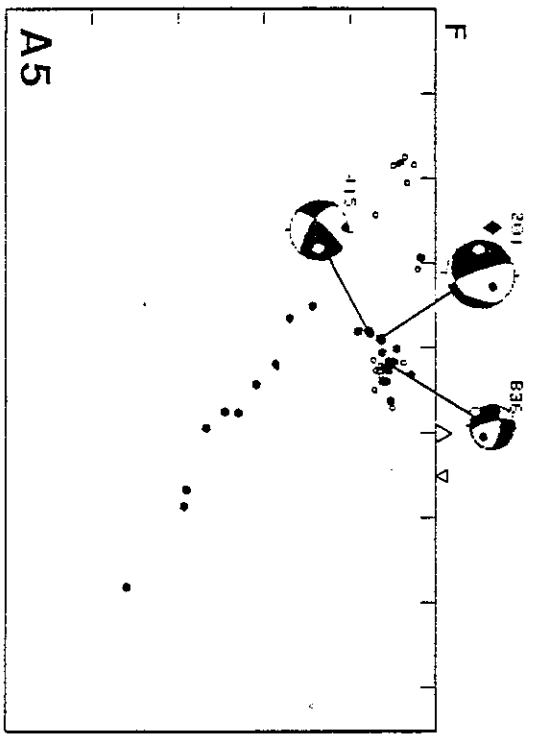


Figure V.3

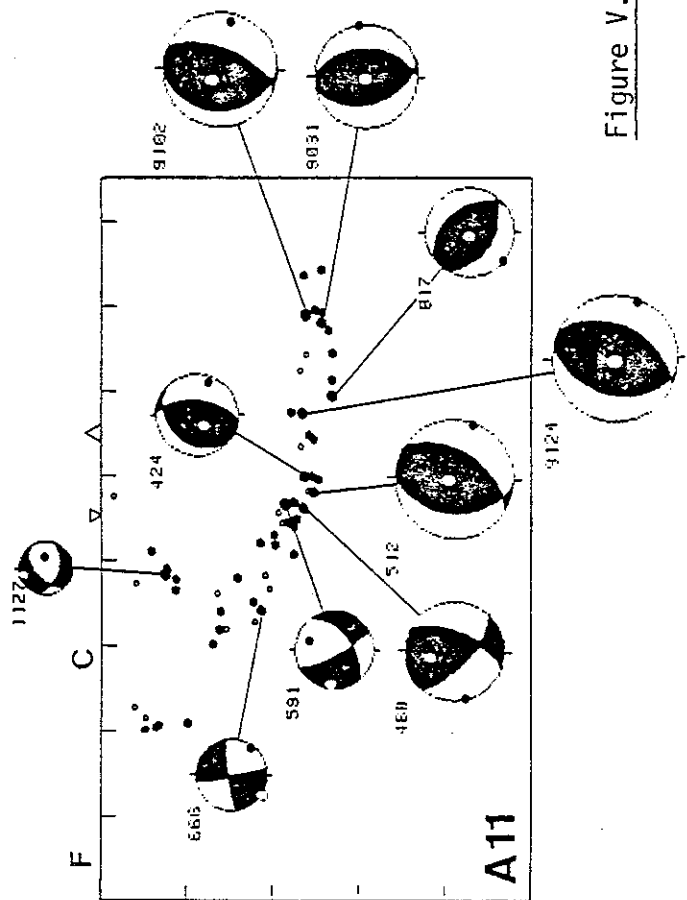
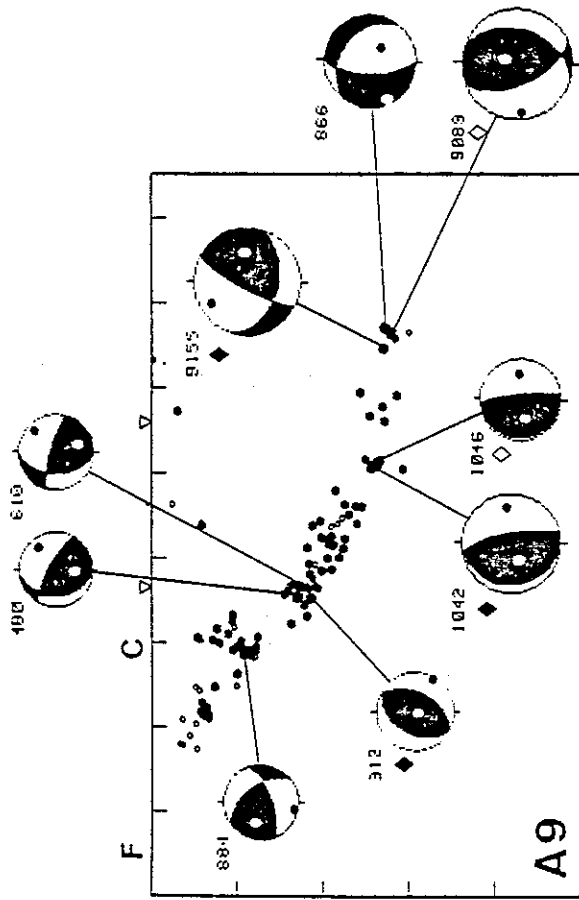
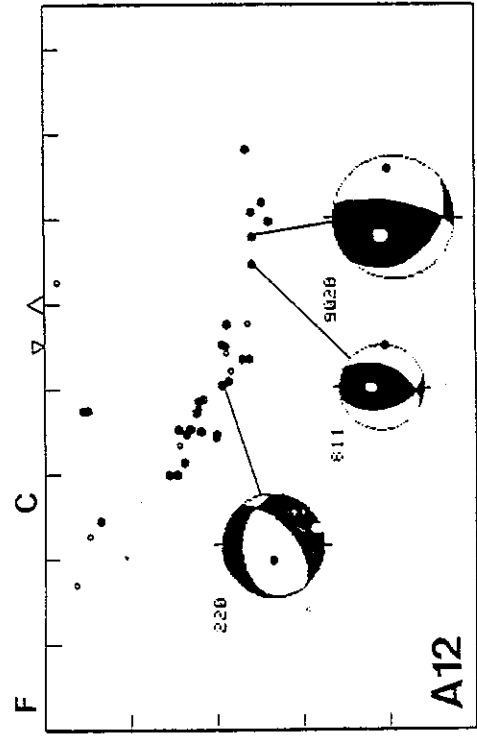
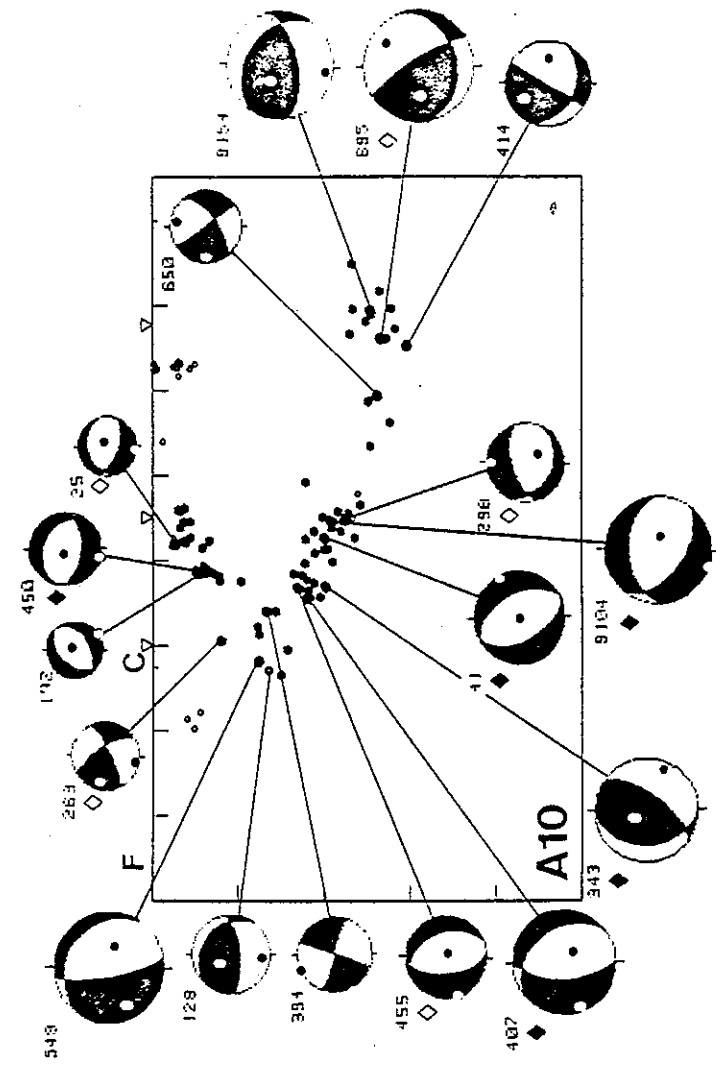


Figure V.3 - (suite)

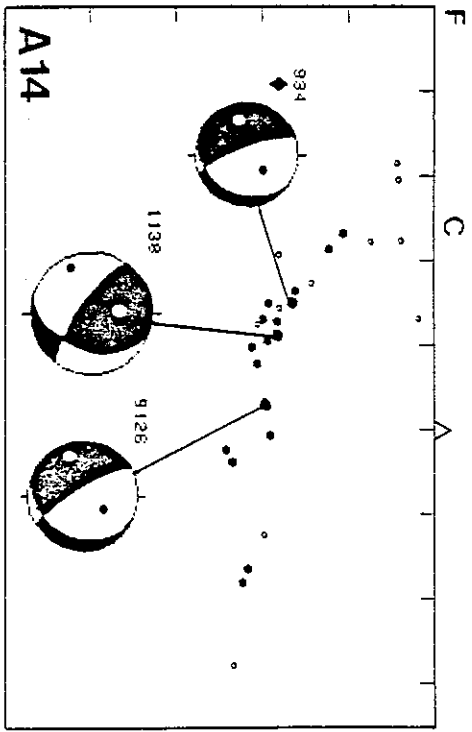
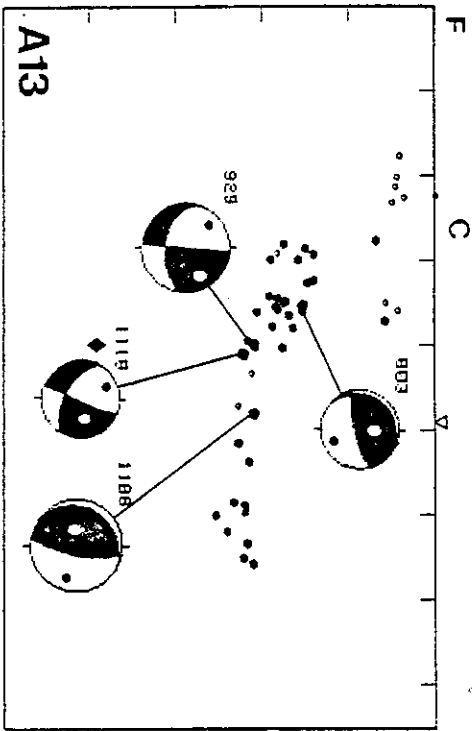


Figure V.3 - (suite et fin).

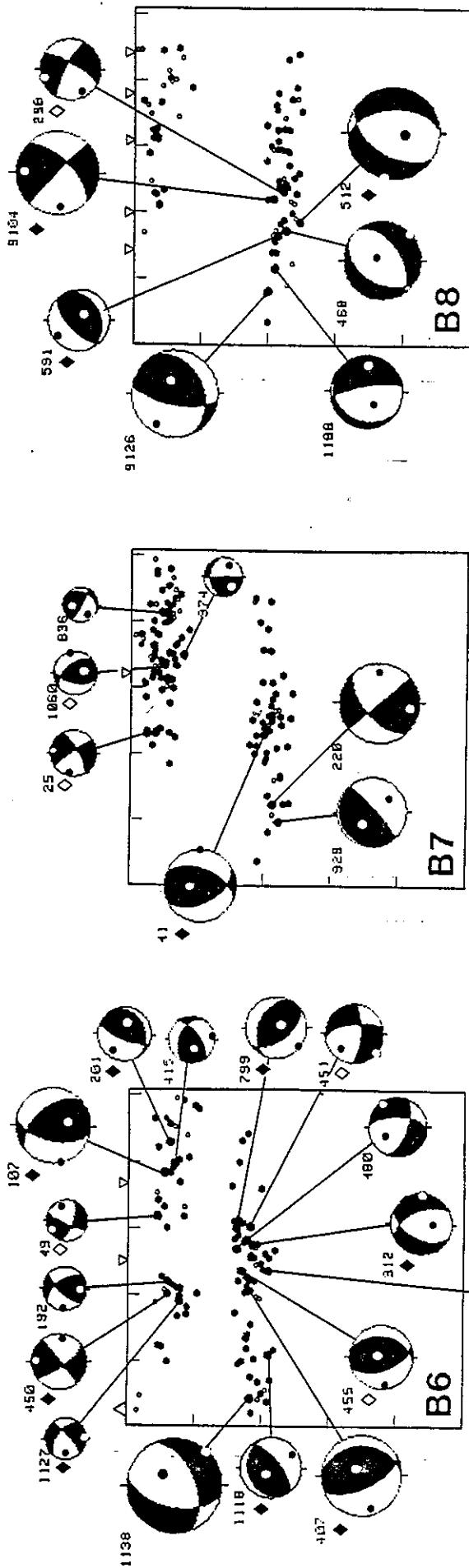
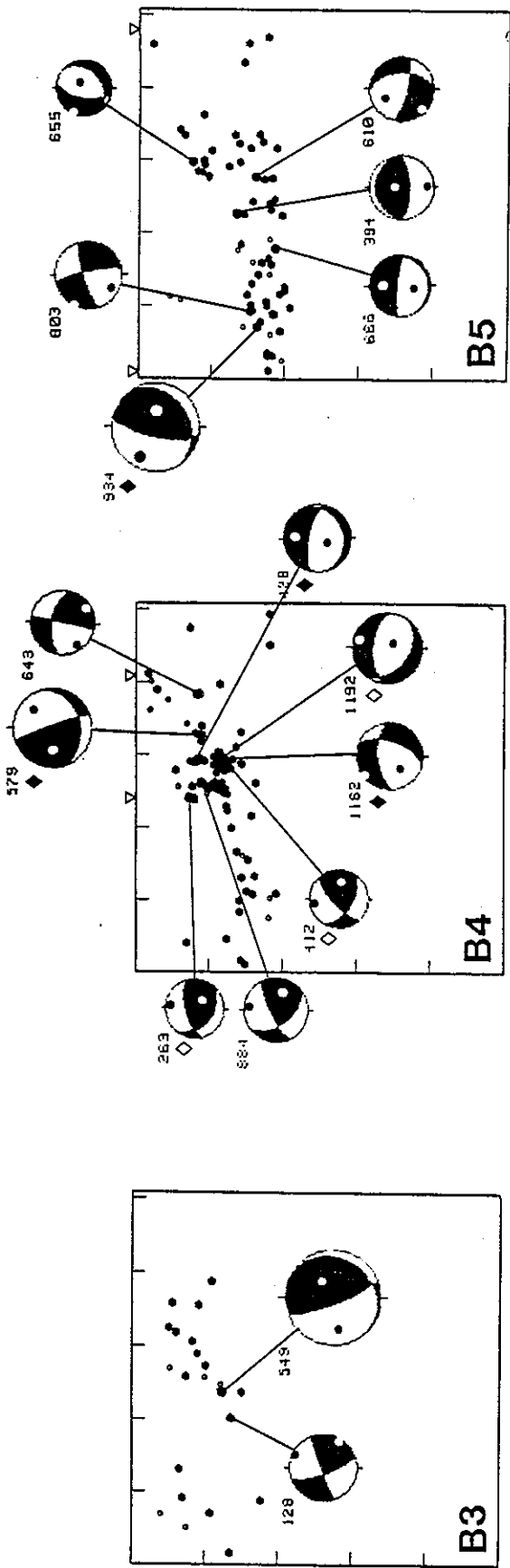


Figure V.4

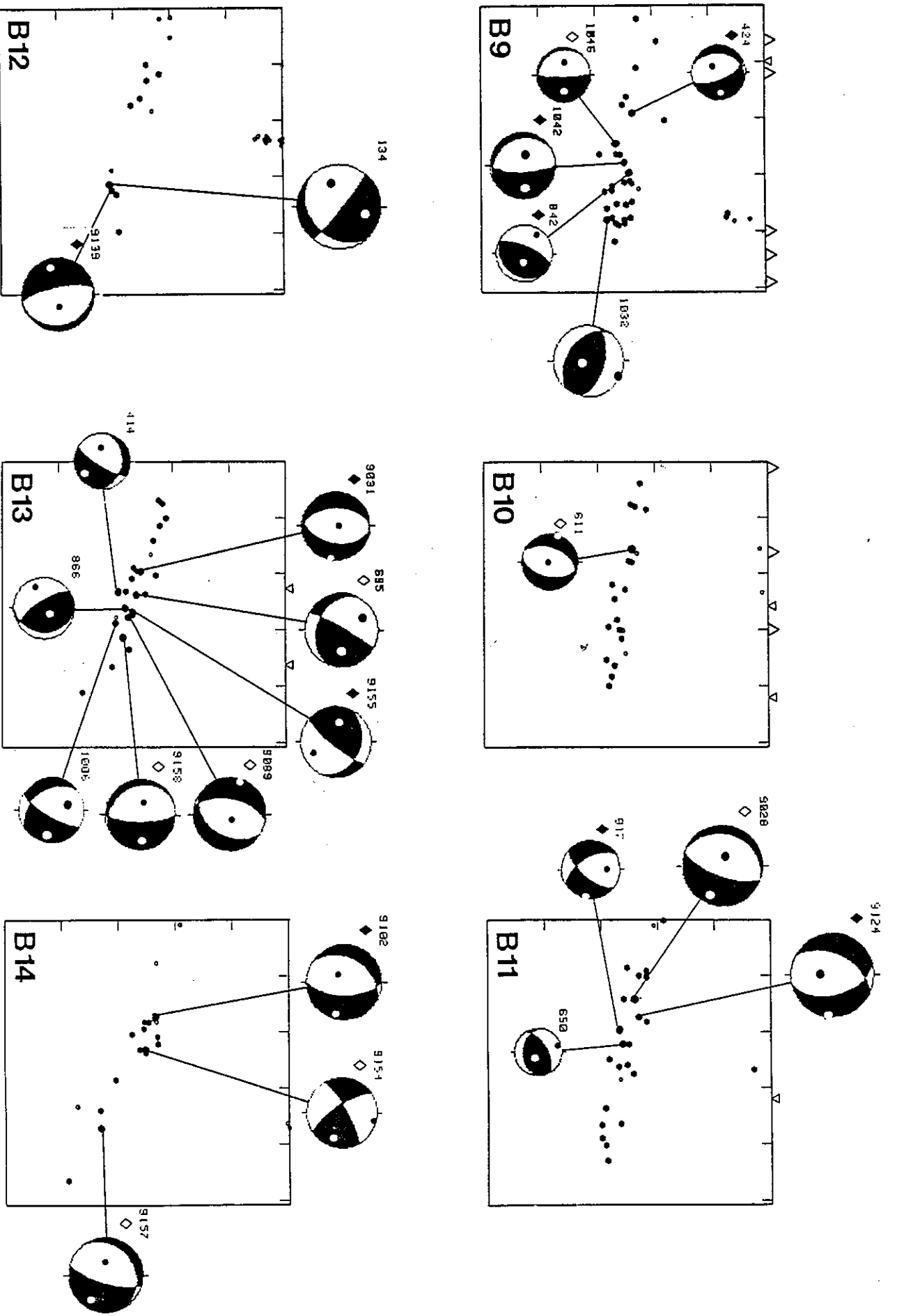


Figure V.4 - (suite et fin).

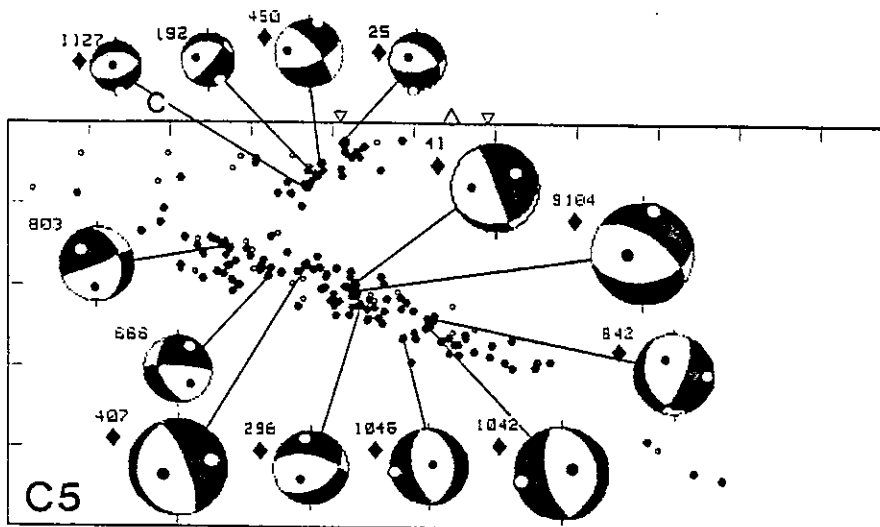
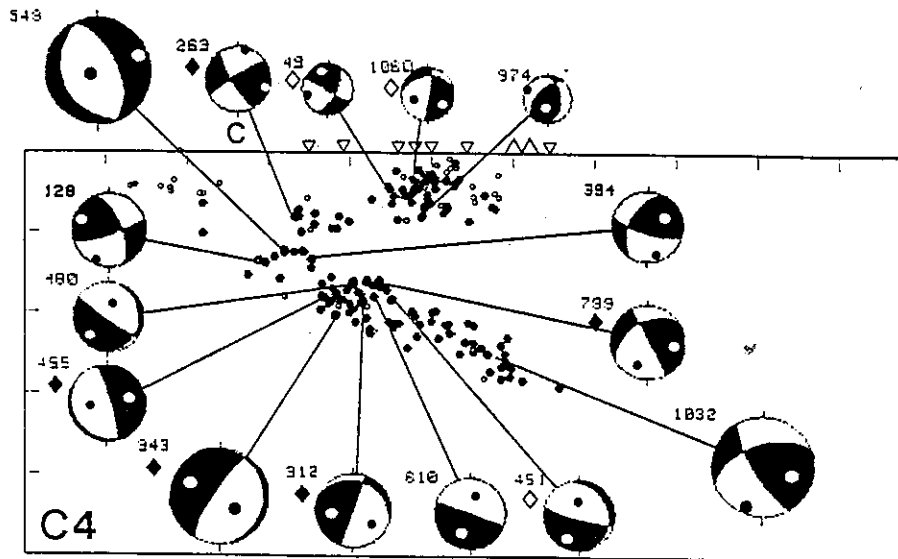
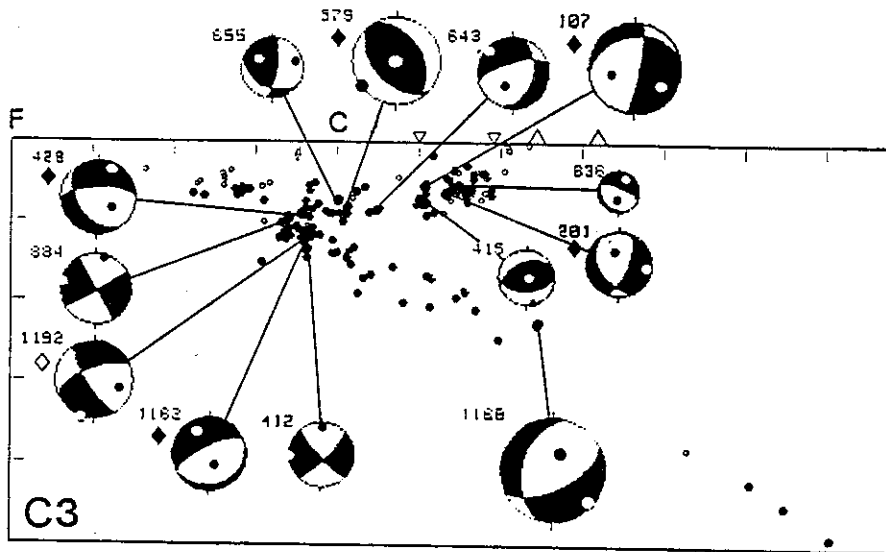


Figure V.5

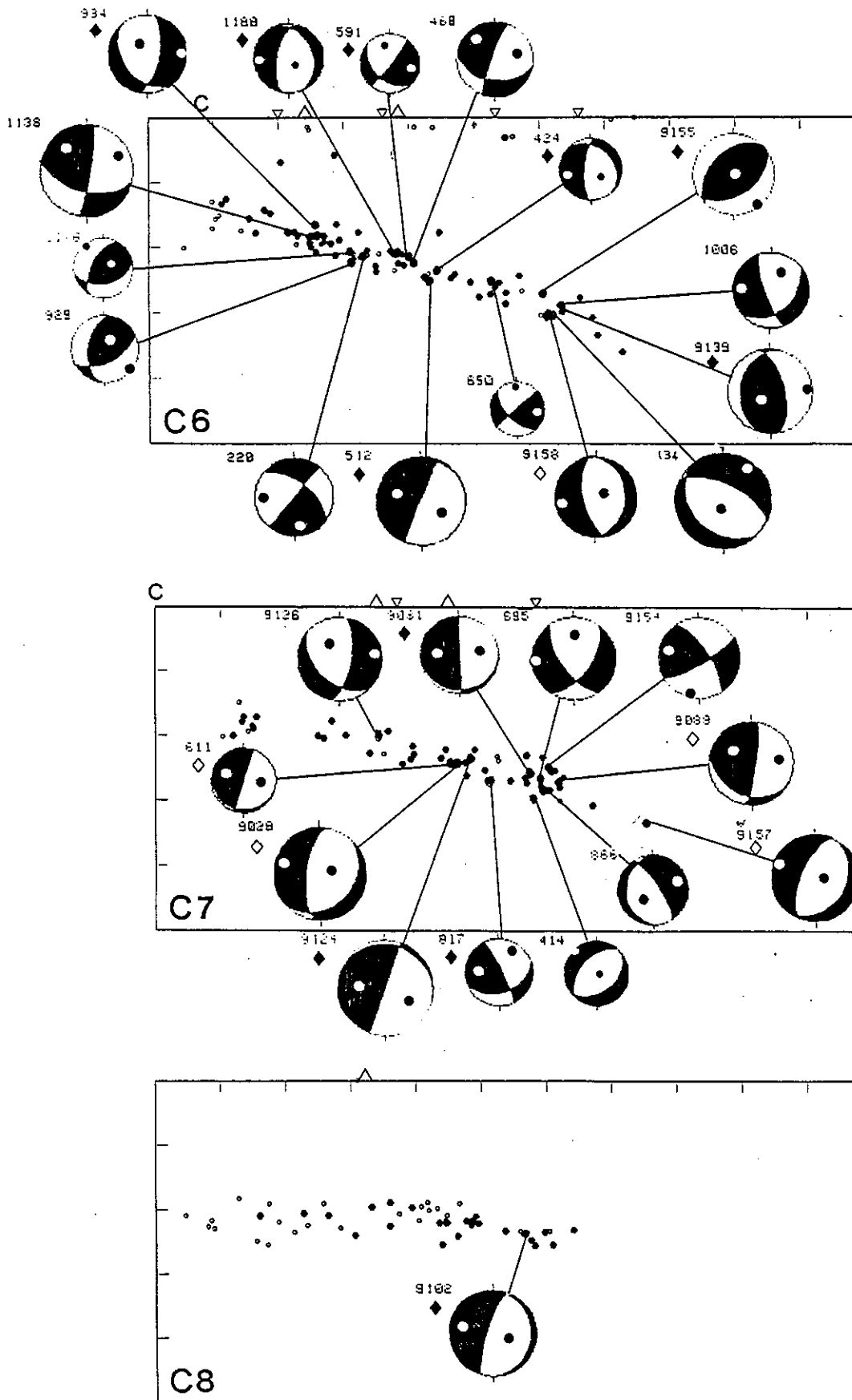


Figure V.5 - (suite et fin)

2. L'ACTIVITE SUPERFICIELLE.

Comme nous l'avons vu, elle présente des caractéristiques qui rendent difficile une étude précise: la plupart des séismes sont de très faible magnitude et les solutions focales individuelles sûres sont peu nombreuses, le réseau n'étant pas assez dense. Nous serons ainsi amenés à tenter de dégager une tendance générale, si elle existe, à l'aide de sphères focales composites: on reporte sur la même sphère l'ensemble des lectures de premiers mouvements relatives à un groupe de séismes supposés être réglés par un mécanisme donné. S'il se dégage une certaine cohérence, on admet a posteriori la validité de ce mécanisme à l'échelle de la région étudiée.

Précisons enfin que les erreurs de localisations affectent particulièrement les sphères focales des séismes superficiels: les erreurs sur l'inclinaison du rai peuvent atteindre 20° pour une erreur de 5km sur la profondeur (Ouyed, 1981).

Nous distinguerons dans la discussion qui suit trois groupes (carte de la figure V.2a): un groupe majeur "continental" que nous avons associé à un accident géologique connu, un groupe "côtier" et le petit groupe "Chonta" près de la station CHO (Chonta).

2.1 - Le groupe continental.

En termes de contraintes, les mécanismes individuels ne présentent une certaine cohérence que pour la direction de l'axe de pression P: il est toujours subhorizontal, son azimut variant de 20° de part et d'autre d'une direction moyenne NW-SE. Sur la figure V.2a, le diagramme PT1 rassemble pour cet ensemble la position des axes P et T en projection stéréographique. La dispersion des axes de tension T n'est pas incompatible avec notre observation: elle traduit simplement que l'on ne peut associer ces mécanismes à un accident simple qui imposerait aux fractures une orientation privilégiée. Seul le sous-groupe isolé du NW (événements (192, 1127, 450, 25) pourrait être corrélé à une faille inverse de direction à peu près perpendiculaire à la côte (voir en particulier les coupes verticales B6 et B7 figure V.4).

Le mécanisme 107 nous fournit l'information la plus sûre: il rassemble les données relatives à un fort événement (magnitude 4.4) et 4 répliques (magnitudes 4, 3.4, 3.2, 3.1). Ce mécanisme et les solutions voisines 1060 et

201 montrent des décrochements entre 25 et 30km de profondeur. Le séisme 415 se distingue nettement de l'ensemble et peut être dû à un réajustement local faisant suite à la séquence principale. La direction de compression associée à ces événements est très nettement parallèle à la fosse.

L'observation principale pour cet ensemble est certainement la prépondérance d'une compression dirigée SE-NW à E-W. L'origine régionale de cet état de contrainte étant la convergence des plaques, on doit voir là un effet de l'obliquité de cette dernière par rapport à la fosse: dans le cas présent, la compression est plus importante dans la direction parallèle à la fosse; la résistance opposée à la subduction par le continent se montre donc plus forte dans cette direction, ce qui se traduit en retour par une orientation préférentielle des contraintes compressives dans la plaque continentale.

En réalité, nous nous trouvons typiquement dans une situation où la relation directe entre les axes de contrainte délivrés par les mécanismes au foyer et un champ de contrainte unique à l'échelle régionale risque d'être abusive: ce sont pour la plupart de petits séismes et le milieu est très fracturé. Les mécanismes au foyer donnant en toute rigueur une image de la fracturation du milieu (déformations), nous dirons que nos observations traduisent à l'échelle régionale une direction de raccourcissement E-W à NW-SE. Elle est compatible avec un état de contrainte en cisaillement lui-même d'échelle régionale, beaucoup plus cohérent avec la direction de convergence des plaques que la seule compression horizontale parallèle à la fosse déduite des mécanismes au foyer.

Dans le but de voir si cette observation est cohérente avec le plus grand nombre de données disponibles, j'ai constitué des sphères focales composites pour les groupes C1 à C4 (encerclés sur la figure V.2a). Il n'est pas question de tenter (sauf peut-être pour C2) d'en déduire des solutions focales composites: toutes les lectures sont reportées, sans le moindre "filtrage", même pour les plus petits événements. On y retrouve (figure V.6) une bonne cohérence dans la distribution des premiers mouvements en dilatation (i.e. zones de contraintes compressives à la source). En revanche, les premiers mouvements en compression sont plus dispersés (et plus rares, sauf pour C3), ce qui est compatible avec une proportion importante de décrochements. La sphère C3 montre toutefois une forte concentration centrale de premiers mouvements en compression indiquant dans un contexte compressif E-W une prépondérance de fractures en faille inverse dans ce secteur.

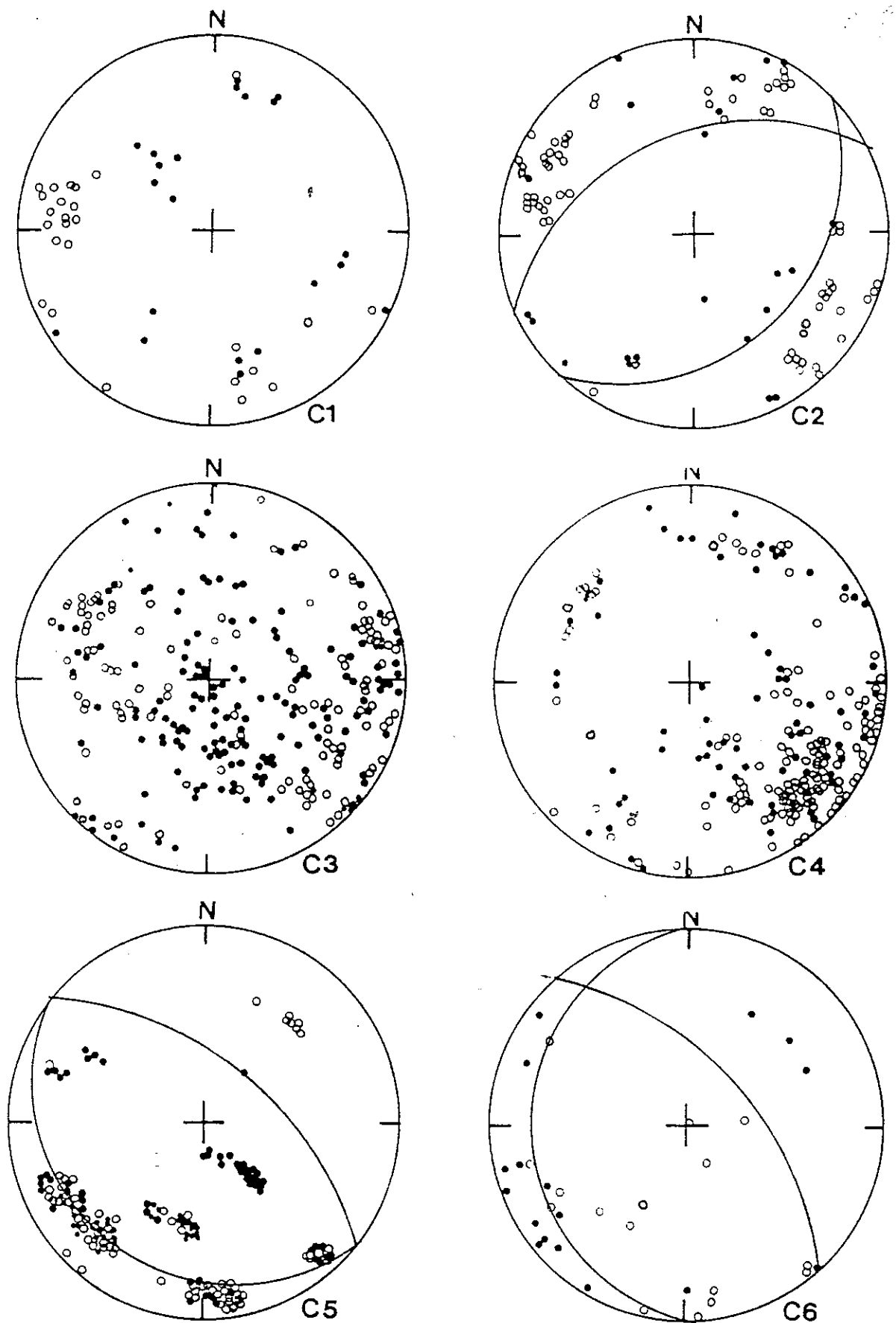


Figure V.6 - Sphères focales composites: C1 à C6 (carte figure V.2, a et b).
 Les ronds pleins (resp. vides) sont les premiers mouvements en compression
 (resp. dilatation).

Projections de l'hémisphère inférieur.

Dans ce contexte, la distribution spatiale des séismes traduit les réactivations du système de failles précédemment décrit, ainsi que son enracinement jusqu'à 35 km de profondeur au moins. Les mécanismes au foyer révèlent la diversité des orientations des fractures qui en résultent: ces observations nous conduisent à abandonner l'idée du jeu actuel d'un grand accident majeur actif profondément enraciné dans le socle, tel qu'on l'observe par exemple en zone subandine au Pérou Central (Suarez et al., 1982). Nous observons plutôt le rejeu complexe d'un ensemble préfaillé et la distribution spatiale, assez remarquable, doit être fortement influencée par la géométrie des structures héritées de l'histoire géologique de cette zone.

2.2 - Le groupe côtier.

Aucun caractère général ne peut être dégagé de cet ensemble (263, 655, 579, 643 figure V.2a). En particulier, rien ne vient confirmer le modèle proposé par Sacks et al. (1978) (cf. chapitre IV, figure IV.4). Il est vrai que ces derniers n'avaient pas inclus dans leur modèle la composante parallèle à la fosse de compression. Celle-ci peut par contre être à l'origine des séismes 655 et 579 qui traduisent du coulissage sénestre NW-SE.

Nous suggérons d'inclure dans ce groupe côtier un ensemble comprenant des séismes associés à la plaque Nazca: une forte concentration bien visible en carte V.2b et un groupe reliant le tout à l'activité au large. Ces particularités ont été commentées au chapitre IV (§ 1.1). Cet ensemble révèle la présence d'une augmentation très localisée de l'interaction de contact entre les plaques convergentes. On y trouve, dans un contexte en extension subhorizontale (mécanismes 549, 263, 128, 884, 412), un groupe très nombreux remarquablement concentré (carte figure V.2b et coupe AB figure V.3) contenant les solutions 428, 1192, 1162; ces dernières indiquent un faillage inverse suivant un plan très raide (80° environ) avec un axe de compression SW-NE. Ce mécanisme est de loin le plus fréquent dans ce groupe, comme le montre la sphère composite C5 (figure V.6 et carte figure V.2b). Nous observons dans ce même groupe trois mécanismes en extension (dont le n° 128) réunis sur la sphère composite C6 (figure V.6 et carte figure V.2b).

Un morceau de la marge continentale, entraîné par la subduction, peut rendre compte des mécanismes en failles inverses observés dans ce groupe côtier, par le frottement direct sur la plaque continentale. Ce modèle

LES MECANISMES AU FOYER

permet d'expliquer la remarquable concentration dans l'espace des phénomènes. Il permet d'interpréter quelques séismes (263, 579, 884, 643, 655) par l'effet d'une composante verticale de compression (poussée vers le haut du continent sus-jacent) plutôt que par une extension subhorizontale, difficile à expliquer dans cette partie de la croûte continentale (figure V.7a).

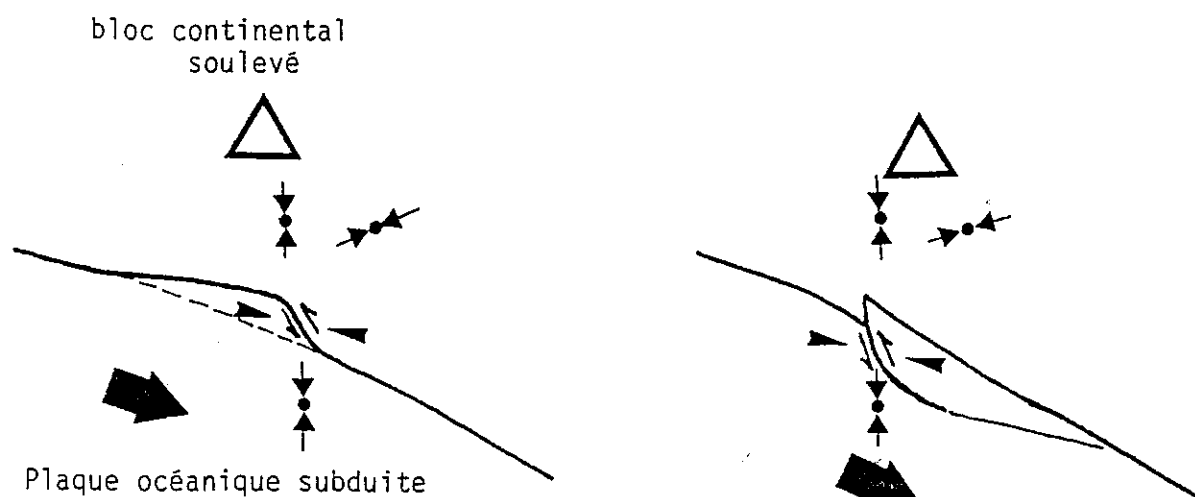


Figure V.7 - Interprétations possibles pour les failles inverses au sommet de la plaque subduite.

- a: Morceau de la marge entraîné par la subduction;
- b: Ecaillage au sommet de la plaque.

La distribution en profondeur des séismes en faille inverse semble montrer que la plaque océanique subit là une rupture majeure (voir coupe A8 figure V.3). De telles failles inverses au sommet d'une plaque en cours de subduction peuvent être produites par le dépliage de la plaque faisant suite au pliage avant la fosse. Ce processus doit exercer des contraintes extensives plus profondément dans la plaque. Quelques séismes (407, 455, 412, 799 coupes

A8, A9, A10, C3, C4) en révèlent l'existence, mais on trouve aussi des compressions (312, 343) et on ne peut clairement mettre en évidence une séparation des plans d'extension et de compression. Le dépliage agit très probablement à ce niveau, mais il n'est pas clairement établi. Il fournit néanmoins une alternative voisine de la précédente par ses effets mais peut-être plus réaliste. Il peut conduire à un écaillage au sommet de la plaque (figure V.7b) facilité par le rejeu en faille inverse de failles d'extension héritées du pliage au début de la subduction.

Quelle que soit l'origine de cette zone de compression à la limite des plaques, elle doit se traduire par un épaississement des structures concernées et donc un soulèvement du bloc continental côtier; ce soulèvement enfin peut expliquer les extensions observées en surface dans ce secteur.

Précisons pour conclure qu'il convient de limiter la portée régionale de ces conclusions, en raison du caractère très local et peut-être fortuit des observations dont elles découlent.

2.3 - Le groupe "Chonta"

Très remarquable par son isolement, ce groupe est difficile à expliquer du point de vue tectonique car la plupart des lectures sûres de premiers mouvements sont des compressions. En revanche, ces lectures sont remarquablement identiques dans l'ensemble, très nombreux, des séismes de ce groupe. Une solution composite est proposée avec la plus grande réserve, d'autant que les localisations elles-mêmes sont peu fiables en profondeur. Divers indices (forme des signaux, fréquence d'occurrence, magnitudes) me font écarter l'hypothèse d'explosions de chantier. Par contre, il ne faut pas exclure une origine non tectonique pour ces séismes (p.e. activité volcanique).

Si l'on retient la solution tectonique, nous avons là un mécanisme de surface en faille normale avec une extension N-S. Nous ne disposons pas d'information géologique locale propre à compléter cette observation mais on a signalé l'existence de failles normales du même type environ 50 km plus au Sud, vers la station CAB (Sébrier, 1978).

En fin de compte, ce dernier groupe constitue, si son origine tectonique se vérifie, notre seule observation superficielle susceptible d'être directement reliée à la géologie.

3 - LA ZONE DE WADATI-BENIOFF.

L'étude de la géométrie de la zone sismique (chapitre IV) en a mis en évidence les notables particularités. Nous nous intéresserons d'abord aux mécanismes mis en jeu au sein de la transition elle-même, car ils présentent l'ensemble le plus cohérent.

3.1 - La zone de variation de pendage.

La figure V.2d (séismes entre 120 et 140 km de profondeur) rassemble les événements de la zone où la variation de pendage manifeste ses effets de la manière la plus nette (cf. figure IV.8. chapitre IV). De fait, les solutions obtenues présentent en majorité un type commun : un axe de tension T subhorizontale de direction moyenne WNW-ESE avec un mécanisme en coulissage (voir aussi les diagrammes PT4, PT5 et PT6 figure V.2d,e,f). Les séismes 424, 9124 (figure V.2d) et 1006, 9157, 9158, 9139 (figure V.2f) peuvent être associées à cet ensemble, avec des mécanismes comparables.

Nous avons là une configuration très particulière, bien éloignée du modèle bidimensionnel de subduction. Si l'on observe les mécanismes de ces événements sur les coupes verticales (A8 à A12, figure V.3; B9 à B14, figure V.4; C6 à C8, figure V.5), on constate qu'ils traduisent:

- de la compression approximativement parallèle à la plaque dans la direction perpendiculaire à la fosse (coupes A);
- de l'extension dans une direction parallèle à la fosse (coupes B).

Cette observation confirme, du point de vue mécanique, l'idée émise au chapitre IV sur des considérations géométriques selon laquelle il existe une composante active de subduction dans une direction parallèle à la fosse. Tout ceci reste compatible avec le modèle de l'entraînement par gravité d'une plaque en cours de subduction: le tenseur subit ici une rotation au niveau de la transition. On se trouve dans un contexte régional requérant de l'extension au sein de la plaque en cours de subduction. Les compressions qui résultent de la transition et qui se manifestent le long des coupes A contribuent à compenser l'extension due à la gravité et à faire naître la zone asismique qui apparaît au NE.

Ces données confortent l'idée d'une contorsion de la plaque plutôt qu'une déchirure, tout au moins jusqu'à 150 km de profondeur environ. En effet, les mécanismes au foyer montrent clairement l'étirement vers le SE que subit la plaque (figure V.2d). La persistance de l'occurrence des séismes montre aussi la continuité du matériel lithosphérique jusqu'à ces profondeurs. Cependant, il est probable qu'une déchirure doive survenir tôt ou tard, mais elle n'est pas clairement mise en évidence par la sismicité, du fait de l'apparition de la lacune de sismicité.

Notons que l'étirement dû à la torsion devant s'accompagner d'un amincissement de la plaque, celle-ci est susceptible de se réchauffer plus rapidement le long de la transition. Ce processus peut également contribuer à faire apparaître rapidement une zone aiséismique.

Nous pouvons observer sur la carte de la figure V.2e une bonne cohérence dans les orientations des plans de coulissage: la transition fait naître au sein de la plaque plongeante une grande zone de cisaillement compatible avec l'étirement vers le SE. Les fractures s'orientent préférentiellement dans la direction de convergence des plaques (p.e. 512, 9158, 9139, 424, coupe C6; 9081, 9028, 9124, 9089, 9157, coupe C7; 9102, coupe C8): nous mettons en évidence les effets du ralentissement de la subduction au NW dû à l'horizontalité de cette dernière.

3.2 - La zone de plongement uniforme.

Nous désignons ainsi la partie de la zone sismique comprise entre 60 et 100 km de profondeur: elle présente une géométrie à peu près plane. En revanche, les mécanismes au foyer obtenus montrent une grande dispersion. Il est vrai que cette zone réunit un grand nombre de facteurs susceptibles de créer des situations particulières. Citons par exemple:

- un contact plus ou moins ferme entre les deux plaques convergentes, qui peut varier aussi bien horizontalement que verticalement; cette interaction doit se poursuivre au moins jusqu'à 80 km de profondeur en raison de la grande épaisseur (variable) de la plaque continentale et du faible pendage (variable) de la subduction;

- importance des effets latéraux dus à l'obliquité de la direction de convergence des plaques par rapport à la fosse;

LES MECANISMES AU FOYER

- influence de la géométrie de la marge continentale;
- existence possible d'éléments allochtones entraînés par la subduction (p.e. morceaux de la marge continentale, cf. § 2.2);
- processus de dépliage de la plaque subduite;
- hétérogénéités héritées de structures portées par la plaque subduite (p.e. zone de fracture).

Nos observations sont à l'image de cette diversité et révèlent un grand nombre de situations locales le plus souvent contradictoires à une échelle régionale. La coupe B6 (figure V.4) par exemple montre une séquence indiquant des contraintes latérales (parallèle à la fosse) successivement compressives, extensives puis compressives sur 150 km de distance.

Notons qu'un grand nombre de ces mécanismes montrent un point commun: ils ont un plan nodal dans le plan de projection des coupes C (figure V.5, coupes C4, C5), le long de la direction de convergence des plaques. Cette tendance se montre assez générale, et indique que le mouvement d'ensemble de la plaque peut exercer une contrainte sur l'orientation des fractures provoquées par des effets latéraux. C'est le cas, par exemple, des cisaillements de la transition (§ 3.1).

3 - RESUME.

L'exploitation des mécanismes au foyer pour comprendre la dynamique d'une région soumise à des contraintes tectoniques implique le plus souvent une approche statistique: toute conclusion doit s'appuyer sur le plus grand nombre possible de données présentant une bonne cohérence. Nous avons mis en oeuvre une instrumentation qui nous a permis de rassembler un grand nombre de données nouvelles dans une région où elles faisaient particulièrement défaut. Mais nous avons ce faisant atteint un niveau de détail mettant en évidence de nombreuses particularités locales qui rendent bien difficile parfois la recherche d'une cohérence d'ensemble. Nous résumerons en trois points l'essentiel de nos conclusions:

1) Nous avons pu dégager une bonne cohérence régionale dans nos observations dans deux cas:

-La zone sismique intermédiaire, au niveau où elle montre une forte variation de pendage: la plaque subduite subit là un étirement vers le SE dû à la forte torsion et les mécanismes au foyer révèlent en outre un grand cisaillement suivant la direction de convergence des plaques, traduisant le freinage de la subduction au NW (subduction devenant subhorizontale).

-La sismicité crustale intracontinentale: la quasi-totalité des solutions focales obtenues est cohérente avec un état de contrainte en compression subhorizontale dans une direction E-W à NW-SE. Cependant, estimant que cette sismicité est très sensible aux caractéristiques locales des structures qu'elle affecte, nous pensons que les mécanismes au foyer doivent être interprétés en termes de fractures et non pas de contraintes. Nos observations révèlent ainsi une direction de raccourcissement E-W à NW-SE compatible avec un champ de contrainte en cisaillement d'échelle régionale bien mieux relié lui-même à l'obliquité de la convergence des plaques. Nous reviendrons sur ce point au chapitre suivant. Des séismes en faille inverse ou en décrochement traduisent les réactivations d'un grand accident faillé préexistant. Il s'agit surtout d'une activité crustale profonde (10 à 35 km de profondeur) non associée à des failles actives en surface. Quand on les observe, celles-ci indiquent en général de l'extension. Les données fournies par notre réseau ne permettent pas d'établir une relation entre le champ de contrainte profond et les accidents actifs de surface, en raison du manque d'informations aux faibles profondeurs (0 à 15 km).

LES MECANISMES AU FOYER

2) Deux situations locales peuvent recevoir une explication:

-Un groupe très concentré d'événements très superficiels dans la Cordillère Occidentale (près de Cailloma) indique un faillage normal avec une direction d'extension N-S. Les données sismologiques méritent d'être complétées, mais elles sont remarquablement cohérentes entre elles ainsi qu'avec d'autres observations de surface faites dans la région (failles normales vers Huambo).

-La marge continentale au niveau de notre zone d'étude montre une notable concentration d'événements mettant en jeu la plaque subduite et le bord de la marge. La sismicité traduit un net renforcement très localisé de l'interaction de contact entre les plaques convergentes. Nous mettons en évidence un groupe de failles inverses très raides (80° vers le NE) dans la zone de contact entre les plaques vers 50 à 60 km de profondeur. Nous suggérons qu'il se produit, sous l'effet du dépliage de la plaque subduite, un rejeu en failles inverses de failles d'extension héritées du pliage de la plaque avant la fosse, allant jusqu'à un écaillage au sommet de la plaque subduite. Ce phénomène s'accompagne d'un soulèvement du bloc continental sus-jacent qui peut contribuer au développement des accidents en extension observés en surface.

3) La zone sismique intermédiaire entre 70 et 100 km de profondeur: les mécanismes au foyer de cette zone, assez nombreux, montrent malheureusement une très grande dispersion. Nous mettons en évidence de nombreuses situations locales trop différentes pour dégager une tendance régionale et pas assez détaillées individuellement pour susciter des interprétations fondées: nous nous trouvons à la limite de la résolution de notre instrumentation. La sismicité traduit probablement les effets d'une interaction forte entre les plaques convergentes, celle-ci devant en outre varier notablement aussi bien verticalement qu'horizontalement.

C H A P I T R E V I
C O N C L U S I O N S E T
P E R S P E C T I V E S

1 - SISMICITE CRUSTALE EN ARRIERE DE LA FOSSE.

1.1 - La sismicité "off shore" et le groupe côtier.

1.2 - Le groupe continental.

2 - SISMICITE INTERMEDIAIRE DE LA ZONE DE SUBDUCTION.

3 - PERSPECTIVES.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nos expériences du Pérou nous ont permis de rassembler une grande quantité de données de qualité et le présent travail ne constitue qu'une première étape de leur exploitation. Je me propose dans ce dernier chapitre d'en faire un bilan, au regard de nos objectifs initiaux. Ceux-ci peuvent se réduire à deux points principaux, comme on aura pu le constater tout au long de ce mémoire: 1) étude de la sismicité crustale en arrière de la fosse et 2) étude de la zone de Wadati-Benioff.

1 - SISMICITE CRUSTALE EN ARRIERE DE LA FOSSE.

1.1 - Le groupe continental.

L'activité crustale intracontinentale que nous avons enregistrée affecte presque exclusivement un bloc précambrien recoupé de plutons tertiaires et semble bien guidée par le grand accident faillé qui longe une grande partie de la chaîne andine dans cette région. Les mécanismes au foyer sont dans l'ensemble cohérents avec un raccourcissement de direction E-W à NW-SE au sein des structures crustales profondes. Il en résulte des failles inverses et des décrochements entre 10 et 35 km de profondeur.

Rappelons que les observations de surface indiquent en revanche des efforts en extension, le plus souvent dans une direction N-S: nous avons un seul cas cohérent avec un failage normal actif (groupe Chonta, Cordillère Occidentale). En fait, il faut insister sur le fait que nous discutons d'une activité crustale profonde et nous constatons qu'il ne faut pas chercher une similitude directe avec la néotectonique. Si une relation peut être établie, elle devra s'appuyer sur des informations précises relatives à l'activité aux faibles profondeurs (0 à 15 km): notre réseau n'est pas assez dense pour les délivrer. En fait, une origine commune pour ces faits localisés, d'échelle régionale, nous paraît plus vraisemblable que des relations de cause à effet entre eux.

Nous pouvons admettre que ces phénomènes ont pour origine première, à grande échelle, la convergence des plaques. Notons que les réponses du système à cette excitation présentent elles-mêmes des échelles très variables et nous devons pondérer en conséquence les conclusions que l'on peut tirer de leur mise en évidence.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous insisterons à nouveau sur le rôle de l'angularité de la direction de convergence des plaques par rapport à la fosse (environ 45°). Cette particularité contribue à faire de la zone côtière une grande zone de cisaillement sénestre. Ajoutons que l'avancée du front de subduction vers la fosse, évoquée plus haut, ne peut que favoriser cette circonstance, comme le montre du reste l'augmentation locale de la sismicité au niveau du chevauchement des plaques. A ce cisaillement horizontal, se superpose en outre le grand cisaillement incliné provoqué par la subduction elle-même dans une direction perpendiculaire à celle du cisaillement horizontal.

De nombreuses études ont été réalisées, intégrant des observations de terrain et des expériences de laboratoire, sur la répartition des fractures dans une zone de cisaillement (Bles et Feuga, 1981; Gamond et Giraud, 1982; Gamond, 1983). Ces travaux ont montré en particulier la validité de cette répartition dans la nature, à des échelles très variables (centimétriques à plurikilométriques). La figure VI.1 montre comment l'on peut appliquer ces résultats à notre problème: la variété des fractures développées dans une zone de cisaillement et la combinaison dans notre cas des composantes horizontales et inclinées rendent possibles un très grand nombre de situations locales susceptibles de rendre compte des observations.

Dans l'état présent de nos observations, cette idée reste spéculative, mais remarquons déjà que:

-elle fournit un moyen d'intégrer dans un même contexte les failles d'extension observées en surface et le régime compressif révélé par la sismicité: les fractures de traction T (figure VI.1) coexistent, dans une zone de cisaillement, avec un état de compression. La composante horizontale du cisaillement est capable de créer en surface les failles d'extension.

-la géométrie particulière de la convergence des plaques doit bien provoquer une zone de cisaillement dans la zone côtière. La direction générale de raccourcissement (E-W à NW-SE) observée confirme l'importance d'un effet latéral.

-les failles inverses observées peuvent traduire une prépondérance de la composante inclinée du cisaillement: c'est la fracture "P" (figure VI.1) qui jouerait alors.

-les décrochements sénestres du groupe côtier sont conformes au jeu horizontal d'une fracture "R".

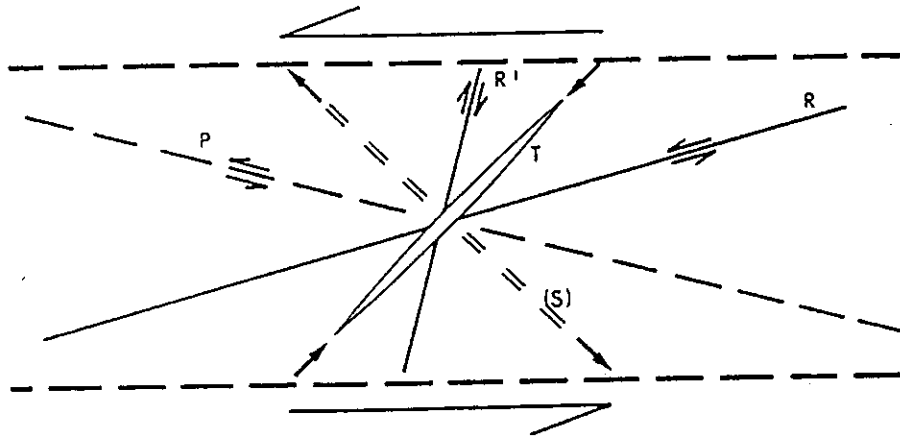


Figure VI.1 - Développement des fractures dans une zone de cisaillement.

R et R': fractures de Riedel
 P: fractures de Skempton
 T: fractures par traction
 s: schistosité

(D'après Bles et Feuga, 1981)

Il faut ajouter enfin à ce modèle idéal les effets de la géométrie des structures affectées capables d'influencer fortement les orientations des fractures et même de modifier localement la direction de raccourcissement (voir par exemple: Mattauer, 1980).

En tout état de cause, nous sommes en présence d'une zone d'étude extrêmement intéressante car elle fournit une base expérimentale d'étude des relations entre la sismicité crustale profonde et les accidents actifs observés en surface. Compte tenu de la nature de la sismicité, il serait nécessaire alors de mettre en oeuvre un réseau beaucoup plus dense (10 km de distance entre stations).

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

1.2 - La sismicité "off shore" et le groupe côtier.

Une très forte activité trace, 30 à 60 km au large de la côte, une bande relativement étroite et continue. En dépit des problèmes posés par la localisation de tels séismes superficiels hors réseau, la distribution spatiale obtenue est très peu dispersée. Il est vrai que tous ces séismes ont une forte magnitude (4 en moyenne) et sont enregistrés par un grand nombre de stations. Cette activité est directement associée au sous-charriage de la plaque Nazca. La concentration spatiale des séismes peut traduire l'apparition du front de la résistance qu'oppose la marge continentale à la subduction. Conjointement, la plaque subduite doit subir là un assez fort pliage pour atteindre les profondeurs de 55 à 60 km sous la côte, bien établies par la sismicité (coupe A8 figure IV.6). Notons à ce propos que Couch et al. (1981) ont proposé en se basant sur leur coupe (figure I.10) que le sommet de la plaque subduite se trouve à 18 km de profondeur sous la côte: ils ont en fait interprété ainsi le Moho continental lui-même.

La distribution épacentrale montre vers le NW un rapprochement vers la côte de l'activité du large et dessine le tracé du front. On constate que celui-ci montre, parallèlement à la fosse, une transition très nette au voisinage du point ($17^{\circ}\text{S}, 73^{\circ}\text{W}$) accompagnée d'une augmentation de la sismicité. Le front actif de la subduction montre donc une rapide avancée vers la fosse à cet endroit, bien corrélée avec l'apparition au SE, indiquée par la bathymétrie, du bassin avant-arc d'Arequipa (ou de Mollendo: voir par exemple Johnson et Ness, 1981): nous y voyons une explication de la particulière concentration de l'activité sismique du groupe côtier.

Ce groupe côtier révèle l'existence de failles inverses coupant le sommet de la plaque subduite. Nous avons interprété ce point par un effet du dépliage de la plaque. Cette situation a pu être observée par ailleurs (Aléoutiennes: Engdahl et Scholz, 1977; Chili: Malgrange et Madariaga, 1980). Nous suggérons en outre que l'épaississement qui en résulte provoque un soulèvement du bloc continental sus-jacent, pouvant induire la sismicité crustale côtière et contribuant à créer l'état d'extension en surface responsable des failles normales qu'on y observe. Sacks et al. (1978) suggèrent que l'extension résulte de la flexion de la plaque chevauchante (figure IV.4), mais leur modèle requiert de la compression subhorizontale à la base de la croûte et nos observations, bien que relativement rares, indiquent plutôt de la compression verticale. De plus, leur approche bidimensionnelle est très restrictive et ne prend pas en compte les effets de cisaillement qui

doivent pourtant être particulièrement importants à ce niveau de la subduction: une partie au moins de la sismicité continentale sous la côte peut en être une conséquence (fractures "R'", figure VI.1).

2 - SISMICITE INTERMEDIAIRE DE LA ZONE DE SUBDUCTION.

Les principaux résultats issus de notre expérience sont les suivants:

- la zone de transition est une torsion dont l'axe est dirigé, non pas perpendiculairement à la fosse, mais dans la direction de convergence des plaques;

- on n'observe pas de déchirure nette de la plaque, mais un étirement vers le SE de celle-ci combiné à une grande zone de cisaillement bien dirigée le long de la direction de convergence, traduisant le ralentissement de la subduction dans sa partie NW.

- cette transition ne se manifeste qu'au dessous de 90 à 100 km de profondeur.

Plusieurs raisons ont été proposées pour expliquer cette transition (cf. chapitre I): aucune ne peut être démontrée rigoureusement et toutes peuvent agir conjointement. On invoque en général une action directement reliée aux variations de flottabilité de la plaque subduite, elles-mêmes d'origines diverses: la densité et l'épaisseur de la plaque (en relation avec son âge), éventuellement les structures qu'elle entraîne dans la subduction (p.e. rides asismiques, zones de fracture).

Sans exclure cette action, nous insisterons sur celle de la géométrie de la marge continentale (forme de la fosse et épaisseur de la lithosphère chevauchante). La subduction résulte d'une combinaison entre les forces rapprochant les plaques et la force due à l'instabilité gravifique de plaque subduite lors de son plongement: cette combinaison est fragile ("delicate balance", Molnar et Atwater, 1978) et dans le cas du Pérou, la force gravifique n'est pas un élément dominant: la plaque subduite est relativement jeune et la vitesse relative de convergence est une des plus élevées qui soient (10 cm/an).

Dans ces conditions, l'effet de la géométrie de la marge continentale doit être important. Notons par exemple la très nette corrélation entre la géométrie de la

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

subduction et la courbure de la fosse (cartes figures I.11 et I.6): une fosse concave (face océan) correspond au fort pendage, une fosse convexe à la subduction subhorizontale. Par exemple, la très forte concavité de la fosse au niveau du coude andin peut favoriser une subduction à fort pendage d'une manière indirecte: cette géométrie conduit à créer au sein de la plaque des contraintes latérales de compression horizontale (voir par exemple la solution focale n° 20 figure I.14); celles-ci doivent créer un épaississement de la plaque qui peut être suffisant pour augmenter l'instabilité gravifique. A cela s'ajoute le fait que la subduction absorbe ici la partie la plus ancienne de la plaque Nazca (55 Ma). Notons à ce propos que Rodriguez et al. (1976) aboutissent à des conclusions à peu près opposées, mais ils se basent uniquement sur des données télésismiques (catalogue NOAA, 1963 à 1973) et surtout leur calcul utilise des courbures mesurées sur des portions de la côte et non pas de la fosse.

Remarquons enfin l'alignement de la transition qui affecte la subduction au Sud Pérou avec la zone d'inflexion de la courbure de la fosse (carte figure IV.8), en bonne conformité avec la direction locale de convergence des plaques. Nous y voyons l'effet initiateur de la transition, celle-ci étant amplifiée ensuite par les fortes variations de la flottabilité de la plaque: situation de la ride de Nazca et variation d'âge de la plaque (Wortel et Vlaar, 1978), arrivée à la fosse de la zone de fracture de Pâques (Easter F.Z., figure I.6). La réunion de tous ces éléments est fortuite et il est bien probable que la situation actuelle ne soit pas un processus stationnaire. Ce point doit être pris en compte si l'on cherche à établir des corrélations avec des observations de surface (métallogénèse, pétrogénèse).

Globalement, il apparaît que la géométrie de la lithosphère continentale chevauchante a une action sur le processus de subduction au moins aussi importante que les facteurs propres à la plaque subduite. Nous en avons d'ailleurs une illustration avec l'extrême complexité des mécanismes au foyer dans la partie supérieure de la plaque plongeante: le mouvement est forcé par la lithosphère continentale et il n'est pas exclu qu'une partie des séismes de la zone de subduction se situe dans cette dernière. Les mécanismes au foyer retrouvent en profondeur une bonne cohérence, dès que la plaque est libérée de son interaction avec la lithosphère continentale.

3 - PERSPECTIVES.3.1 - Exploitation des données.

Tel qu'il existe, l'ensemble de données nouvelles que nous avons rassemblé est capable de délivrer un bon nombre d'autres résultats avec la mise en oeuvre d'autres techniques:

a) Relocalisations relatives: chaque groupe d'évènements possède plusieurs séismes très bien enregistrés, conduisant à des localisations stables et qui pourront être les "master events" utilisés dans cette technique.

b) Inversion tridimensionnelle: elle réalise l'inversion des structures et nous pourrions obtenir une bonne connaissance de ces dernières: nous avons vu qu'en fait les informations à ce sujet ne sont peu nombreuses, surtout pour les structures profondes (profondeur du Moho, manteau supérieur).

c) Traitement des données magnétiques: le traitement numérique du signal sismique fournira des données précises sur les paramètres à la source, la distribution du facteur de qualité en profondeur. Grâce aux séismes intermédiaires, nous pourrions atteindre les structures profondes. En particulier, une meilleure connaissance de la structure du manteau supérieur sous l'Altiplano est primordiale pour en comprendre la genèse.

3.2 - Pour une autre expérience au Pérou...

La principale caractéristique de notre région d'étude est de réunir deux types de sismicité (superficielle, intermédiaire) requérant la mise en place de réseaux particuliers adaptés à chacun d'eux. Nous avons délibérément choisi un compromis de façon à recueillir des informations des deux types. Mais nous avons ipso facto réduit la résolution de notre instrumentation dans les deux cas. C'est ainsi que nous avons parfois mis en évidence un problème nouveau sans pouvoir en apporter une solution sûre; des idées peuvent être émises, mais il reste alors à les vérifier.

Il nous faut attendre les résultats qu'apportera la mise en oeuvre de techniques d'exploitation des données plus sophistiquées, mais il y a lieu de penser

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

que d'autres expériences d'acquisition de données seront nécessaires pour compléter ce travail. Citons par exemple:

-Sismicité intermédiaire au NW, pour nous assurer du prolongement de la subduction ` géométrie subhorizontale et pour en connaître la dynamique;

-Sismicité intermédiaire et superficielle au NE (Altiplano et Cordillère Orientale), certainement beaucoup plus difficile en raison de la faible activité;

-Insister avec un réseau très dense sur quelques régions limitées comme la région de Chonta ou le versant pacifique des Andes pour étudier une microsismicité superficielle.

Cela dit, les difficultés logistiques sont telles qu'une approche globale de tous ces objectifs avec un réseau temporaire de stations portables est parfaitement utopique: pour atteindre une plus haute résolution, il faut choisir entre les deux types de sismicité.

Une solution de choix serait la suivante: à l'intérieur d'un réseau à télé-détection (type système ARGOS) de très grande extension (300 km au moins) installé pour toute la campagne, une équipe mobile déplacerait un réseau dense de stations analogiques portables (type MEQ-800) aux endroits présentant une sismicité superficielle intéressante. Nous combinerions ainsi:

-des informations à grande distance, nécessaires pour une étude régionale de la sismicité intermédiaire, sans qu'il soit indispensable de subir des expéditions interminables;

-des informations dans une zone centrale, avec une plus grande densité pour des études locales de microsismicité superficielle et fournissant des arrivées d'ondes S pour compléter les informations fournies par le système à télé-détection.

La grande complémentarité de ces techniques pourrait faire de leur combinaison judicieuse une réussite, en particulier sur les terrains difficiles.

A N N E X E S

1 _ Paramètres des solutions focales.

2 - Solutions focales: projections équiareales de l'hémisphère inférieur. Les symboles pleins (resp. vides) correspondent à des premiers mouvements en compression (resp. en dilatation); les triangles indiquent les arrivées ayant des caractéristiques de voisinage d'un plan nodal.

3 - Liste des événements retenus (892 séismes): les numéros (no) supérieurs à 9000 correspondent aux séismes de 1980.

PARAMETRES DES SOLUTIONS FOCALES

No	PLAN 1		PLAN 2		AXE P		AXE T		MAG
	Az	Pe	Az	Pe	Az	Pe	Az	Pe	
25	223	56	64	35	141	10	277	78	2.9
41	170	70	73	74	122	0	212	28	3.9
49	158	29	18	66	274	18	130	64	2.7
107	358	80	263	60	305	12	43	28	4.0
128	17	20	197	70	287	65	107	25	3.5
134	103	70	221	40	347	16	235	52	4.8
192	9	50	250	60	131	6	33	54	2.8
201	112	70	14	70	155	30	66	2	3.2
220	350	50	212	50	281	0	9	65	4.2
263	330	30	150	60	240	75	60	15	3.2
298	51	60	239	31	323	24	129	75	3.5
312	348	70	250	70	30	29	300	2	3.5
343	335	56	66	90	15	24	116	24	4.2
394	304	70	124	20	34	66	214	24	3.4
407	275	90	105	70	321	14	228	14	4.2
412	6	46	158	48	177	76	82	2	3.2
414	298	60	51	50	174	0	83	48	3.7
415	75	42	280	50	70	77	178	2	2.9
424	331	84	238	70	16	20	283	8	3.6
428	270	24	115	68	18	22	220	65	3.5
450	193	56	38	37	113	5	239	74	3.3
451	131	20	240	84	167	35	309	47	3.4
455	177	74	87	84	313	5	221	16	3.6
468	338	71	87	48	218	12	115	46	4.1

PARAMETRES DES SOLUTIONS FOCALES (SUITE)

No	PLAN 1		PLAN 2		AXE P		AXE T		MAG
	Az	Pe	Az	Pe	Az	Pe	Az	Pe	
480	155	34	62	88	184	36	303	34	3.4
512	346	66	256	88	29	19	124	15	4.6
549	108	80	201	70	336	6	243	21	4.4
579	116	60	219	70	260	37	166	6	3.9
591	109	62	353	50	148	51	48	8	3.5
610	75	90	165	20	184	41	325	41	3.4
611	347	72	80	80	33	5	125	21	3.7
643	35	80	285	30	326	30	95	46	3.4
650	125	54	342	42	157	69	50	5	3.3
655	1	80	98	61	232	12	135	29	3.1
666	120	80	259	12	23	35	219	54	3.3
695	27	60	137	60	172	45	82	0	4.4
799	284	54	171	62	314	49	48	4	3.5
803	352	20	223	80	342	53	128	32	3.5
817	175	66	64	52	215	47	118	8	3.8
836	96	80	203	30	343	30	216	48	2.4
842	107	78	12	69	151	30	61	0	3.7
866	280	90	190	60	330	20	230	20	3.9
884	358	30	168	62	249	74	81	16	3.4
929	305	82	45	40	70	40	185	26	3.8
934	108	70	15	80	150	24	247	5	4.2
974	305	56	33	90	85	24	344	24	2.6
1006	154	70	52	60	196	38	102	6	4.1
1032	150	60	283	40	290	62	38	10	4.3

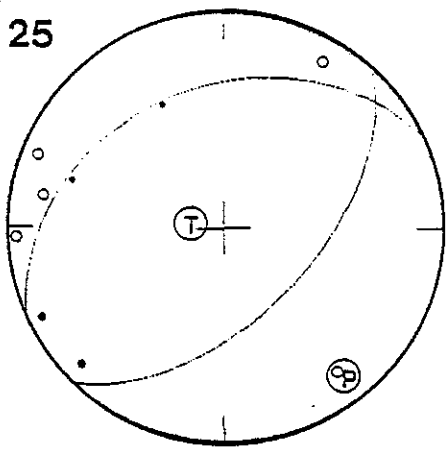
PARAMETRES DES SOLUTIONS FOCALES (SUITE)

No	PLAN 1		PLAN 2		AXE P		AXE T		MAG
	Az	Pe	Az	Pe	Az	Pe	Az	Pe	
1042	140	80	52	90	186	6	277	8	4.1
1046	41	90	132	82	176	4	266	4	3.6
1060	354	80	258	60	302	14	41	28	2.8
1118	67	44	310	66	87	51	164	12	3.5
1127	53	44	261	50	157	3	50	76	2.7
1138	354	80	96	40	234	22	121	42	4.7
1162	71	74	312	30	0	24	127	55	3.5
1168	299	80	41	40	179	25	67	40	4.4
1188	321	80	228	80	4	16	276	0	3.9
1192	296	34	148	60	45	13	270	70	3.6
9028	323	82	56	70	192	7	98	21	4.7
9031	348	90	78	80	213	8	121	6	4.2
9089	357	80	90	70	225	5	132	22	4.4
9102	335	72	63	90	17	12	110	12	4.5
9104	216	45	69	50	323	3	226	72	4.3
9124	348	70	255	80	30	22	123	6	4.8
9126	189	60	12	80	146	30	243	13	4.4
9139	287	84	196	80	242	2	332	12	4.4
9154	11	30	191	60	281	74	101	16	4.3
9155	290	62	46	51	71	52	171	7	4.3
9157	317	70	53	74	5	1	96	27	4.5
9158	141	80	50	90	185	7	277	7	4.3

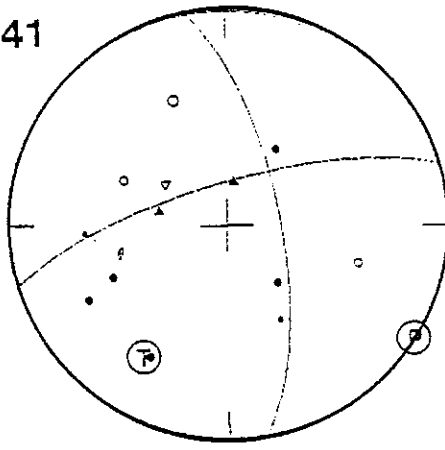
PARAMETRES DES SOLUTIONS FOCALES (SUITE)

No	PLAN 1		PLAN 2		AXE P		AXE T		MAG
	Az	Pe	Az	Pe	Az	Pe	Az	Pe	
1042	140	80	52	90	186	6	277	8	4.1
1046	41	90	132	82	176	4	266	4	3.6
1060	354	80	258	60	302	14	41	28	2.8
1118	67	44	310	66	87	51	164	12	3.5
1127	53	44	261	50	157	3	50	76	2.7
1138	354	80	96	40	234	22	121	42	4.7
1162	71	74	312	30	0	24	127	55	3.5
1168	299	80	41	40	179	25	67	40	4.4
1188	321	80	228	80	4	16	276	0	3.9
1192	296	34	148	60	45	13	270	70	3.6
9028	323	82	56	70	192	7	98	21	4.7
9031	348	90	78	80	213	8	121	6	4.2
9089	357	80	90	70	225	5	132	22	4.4
9102	335	72	63	90	17	12	110	12	4.5
9104	216	45	69	50	323	3	226	72	4.3
9124	348	70	255	80	30	22	123	6	4.8
9126	109	60	12	80	146	30	243	13	4.4
9139	287	84	196	80	242	2	332	12	4.4
9154	11	30	191	60	281	74	101	16	4.3
9155	290	62	46	51	71	52	171	7	4.3
9157	317	70	53	74	5	1	96	27	4.5
9158	141	80	50	90	185	7	277	7	4.3

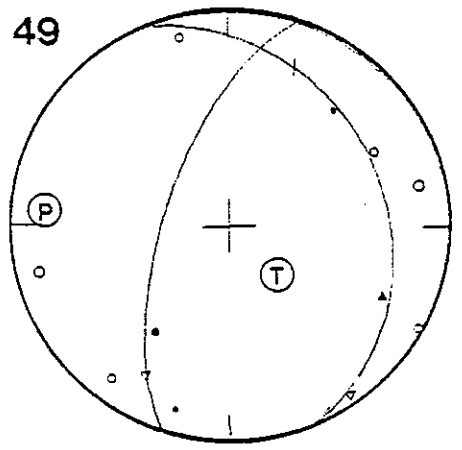
25



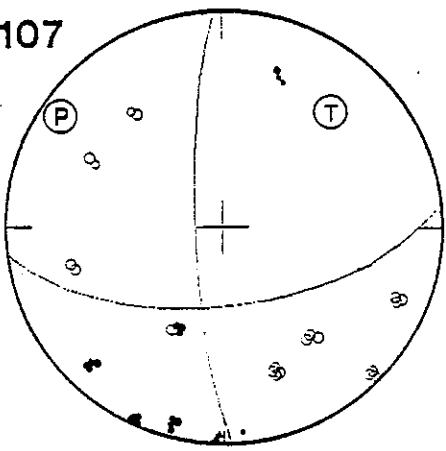
41



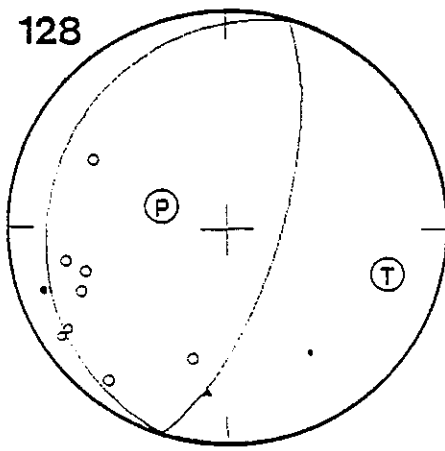
49



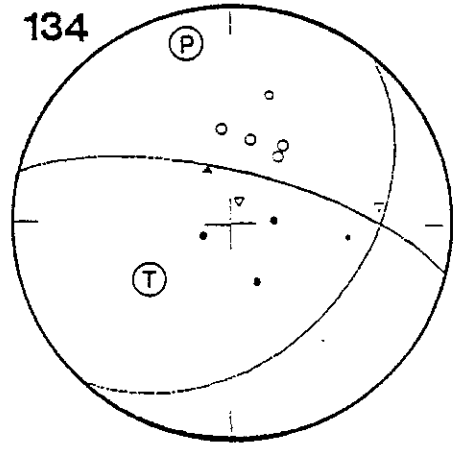
107



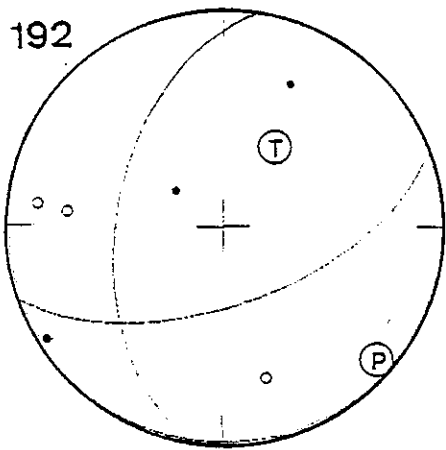
128



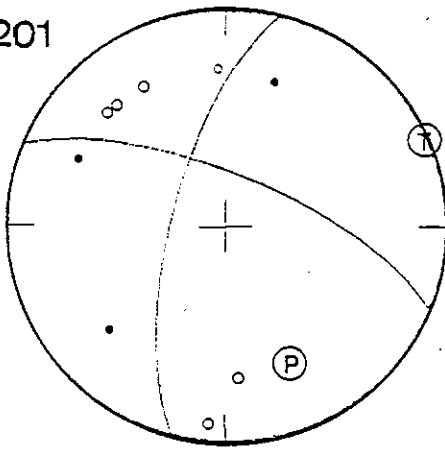
134



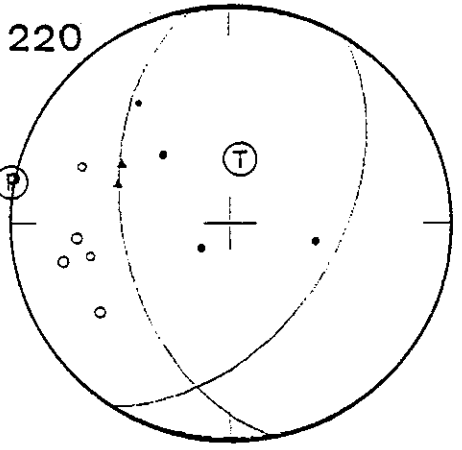
192



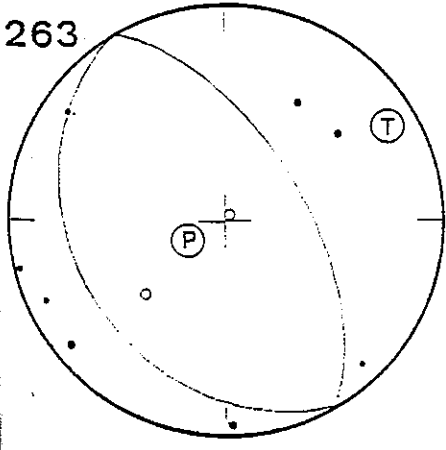
201



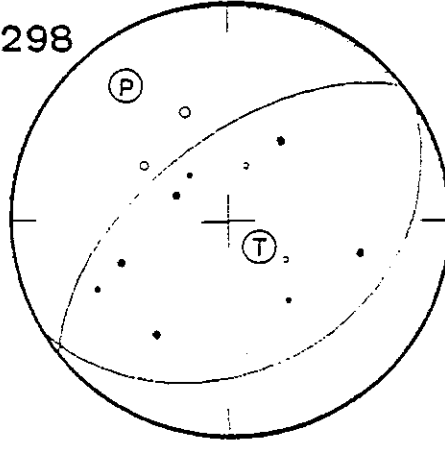
220



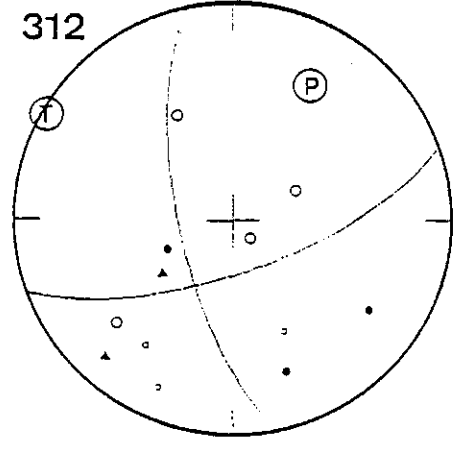
263



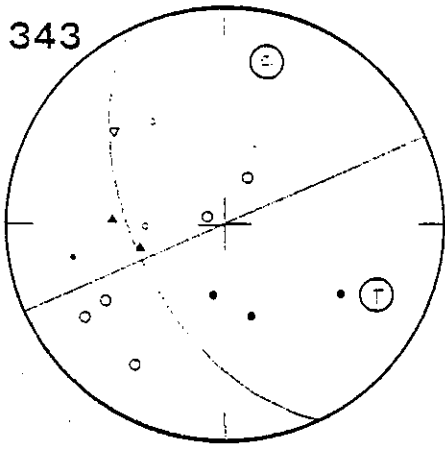
298



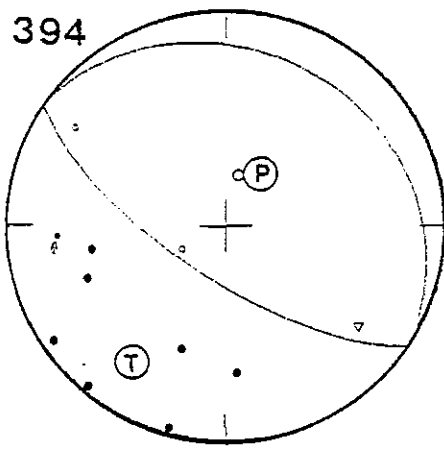
312



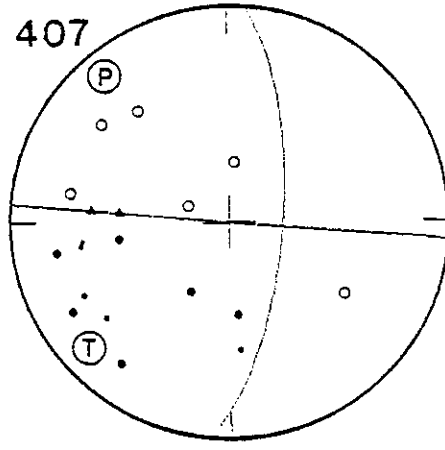
343



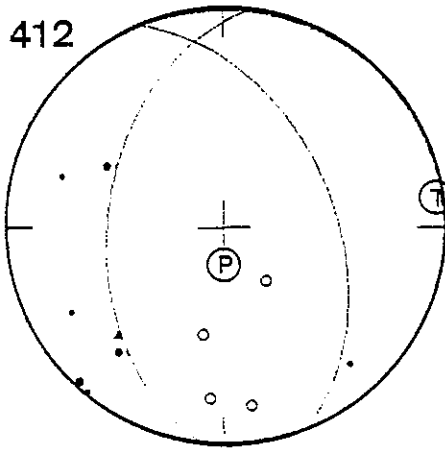
394



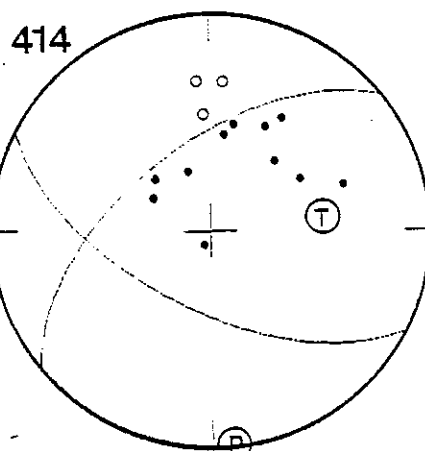
407



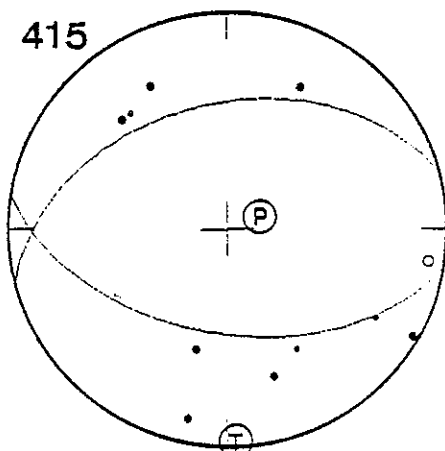
412



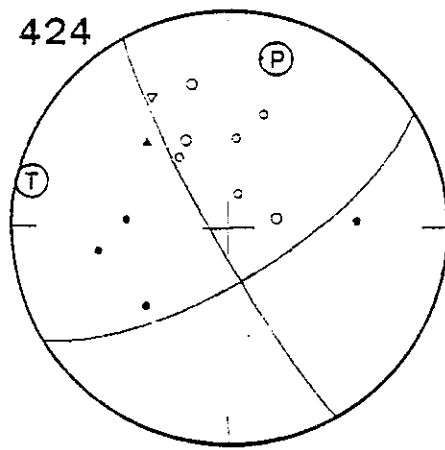
414



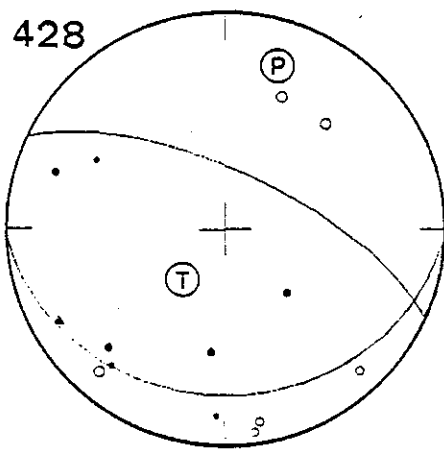
415



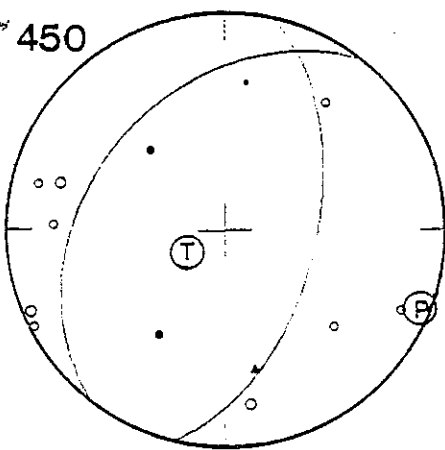
424



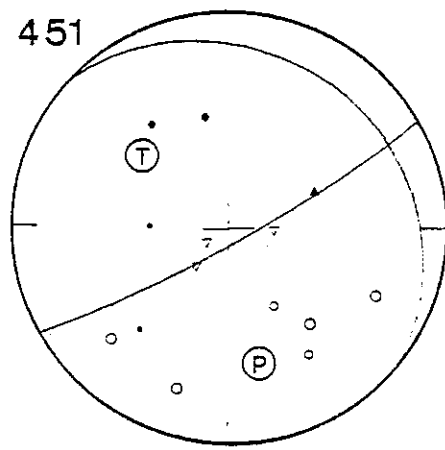
428



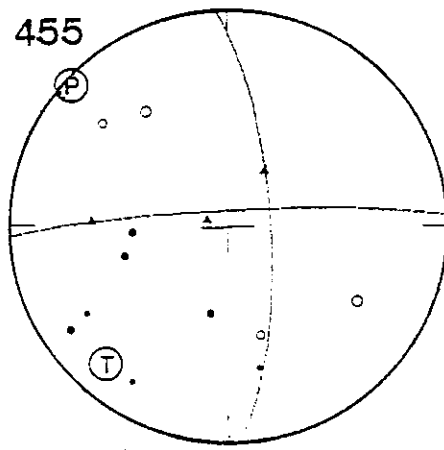
450



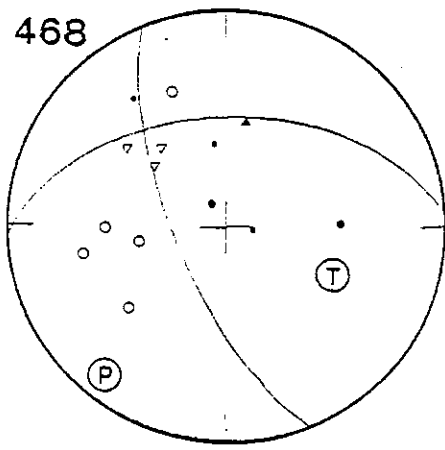
451



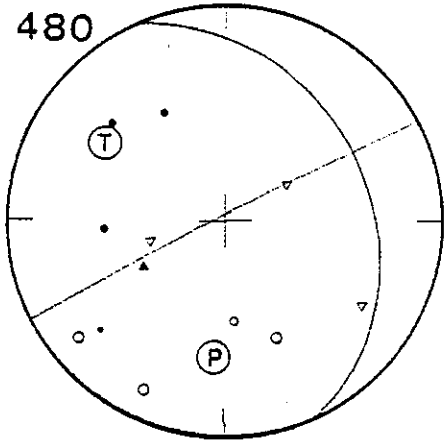
455



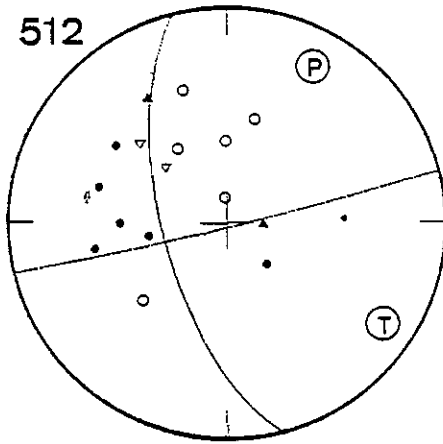
468



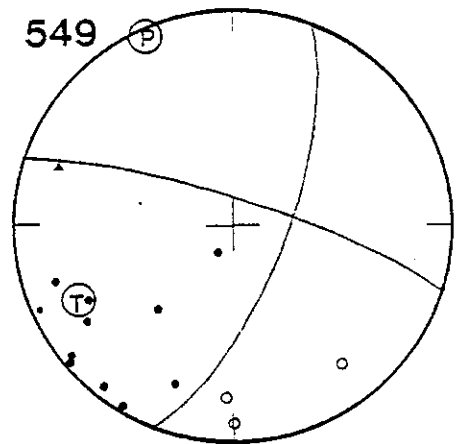
480



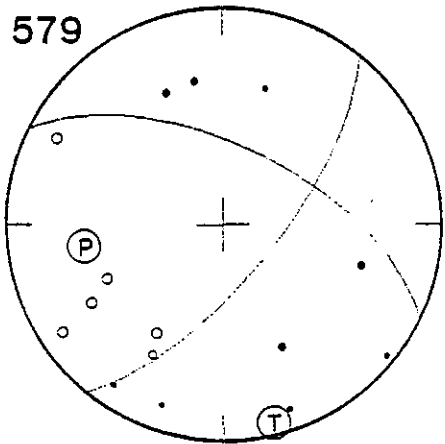
512



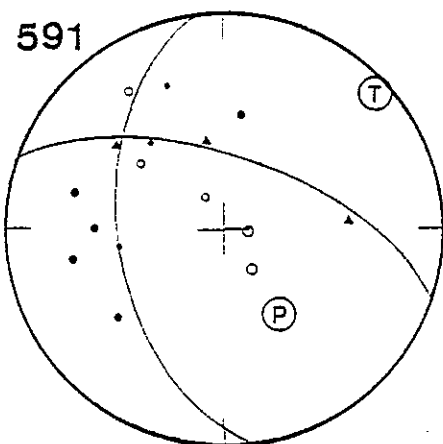
549



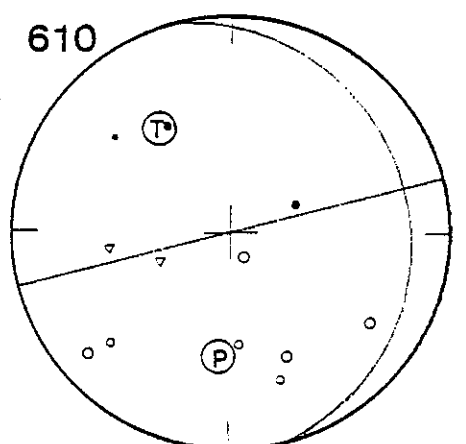
579



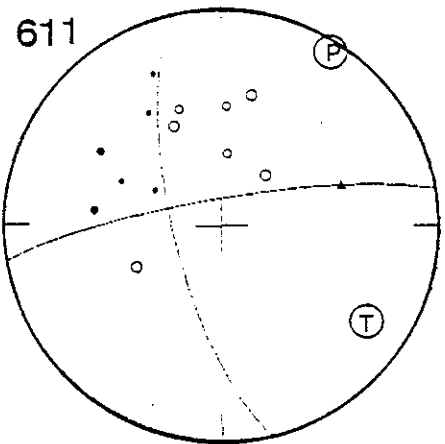
591



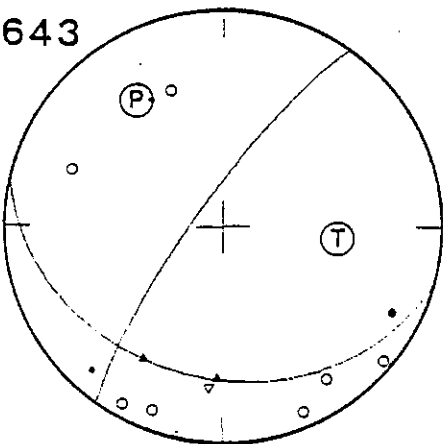
610



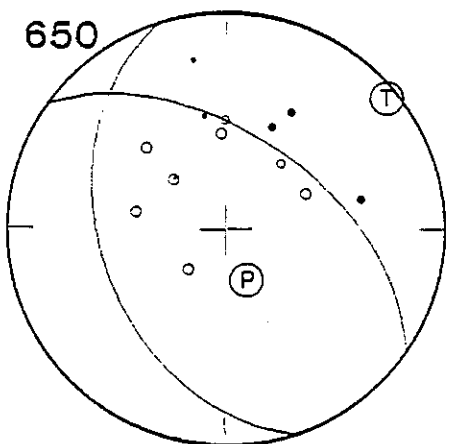
611



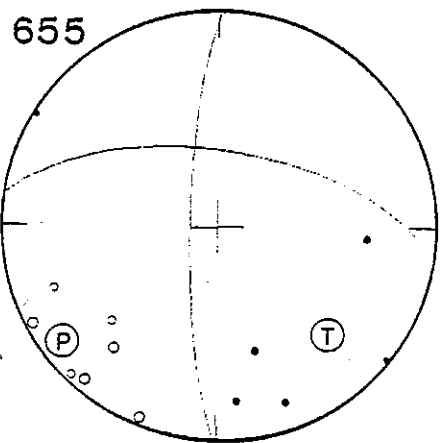
643



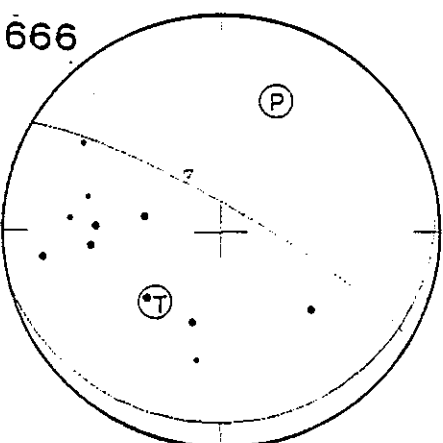
650



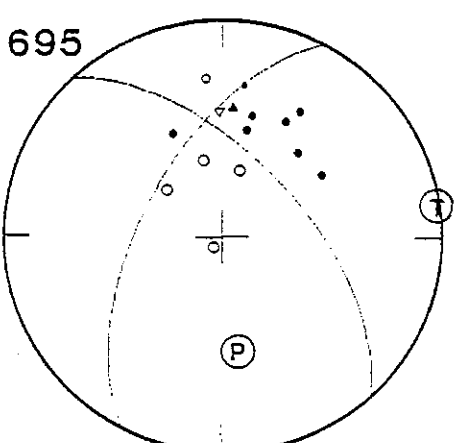
655



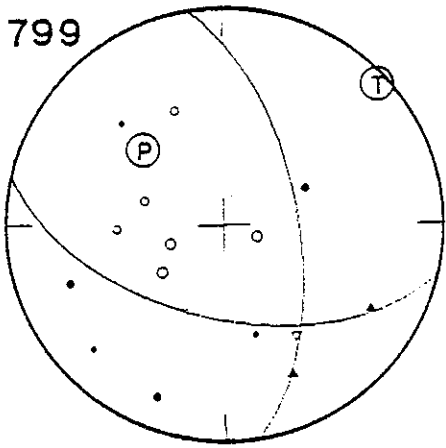
666



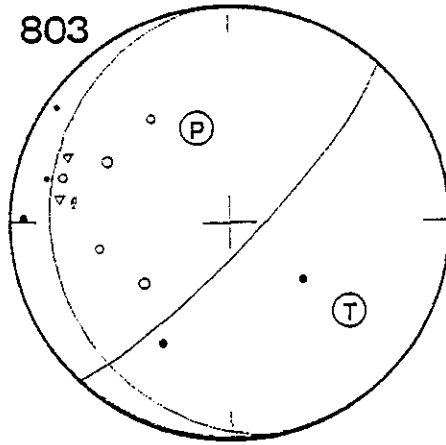
695



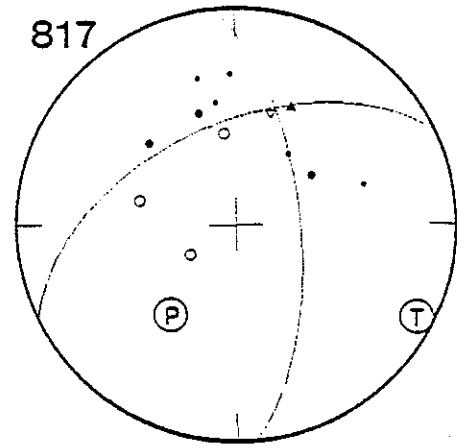
799



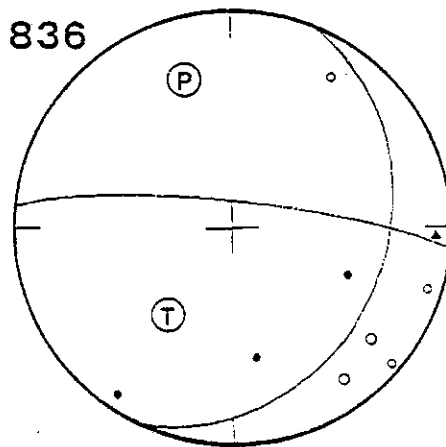
803



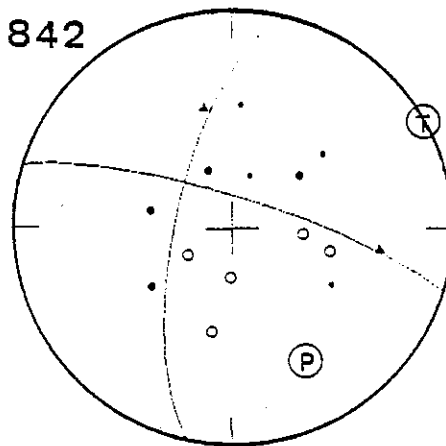
817



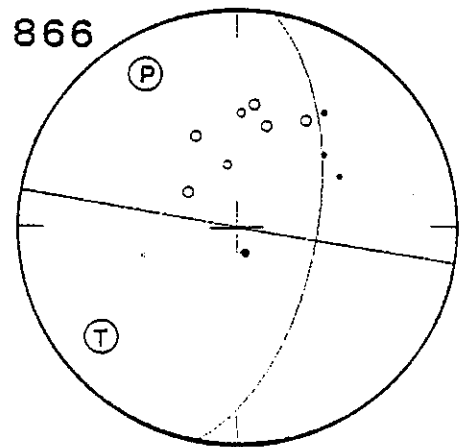
836



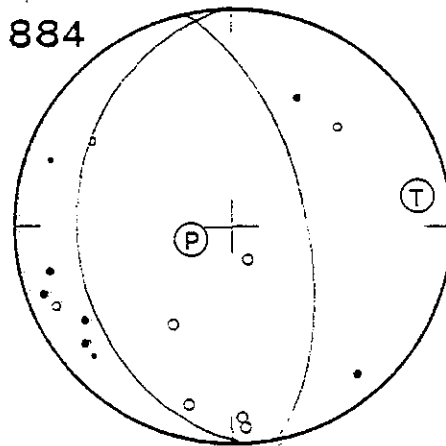
842



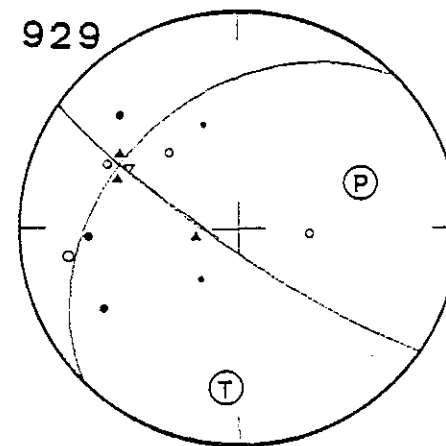
866



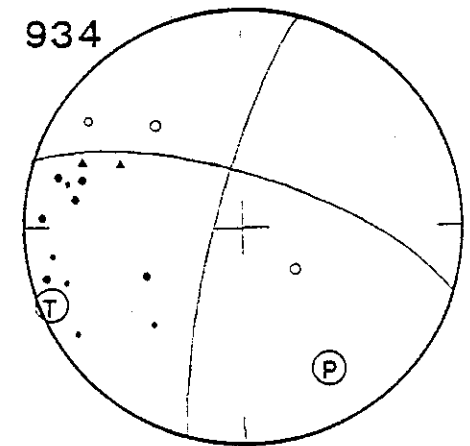
884



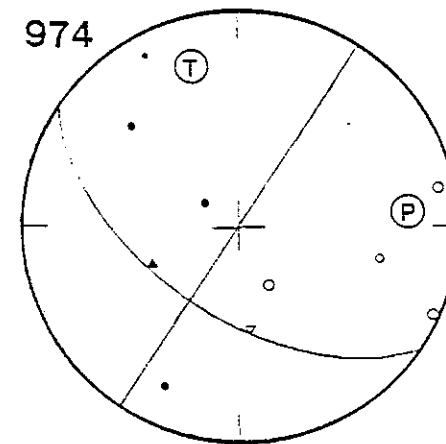
929



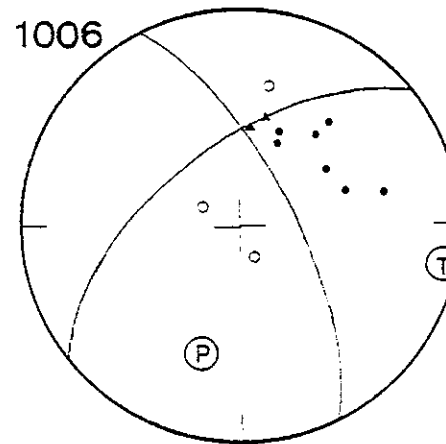
934



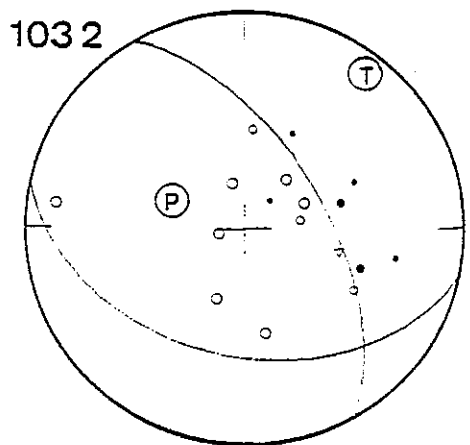
974



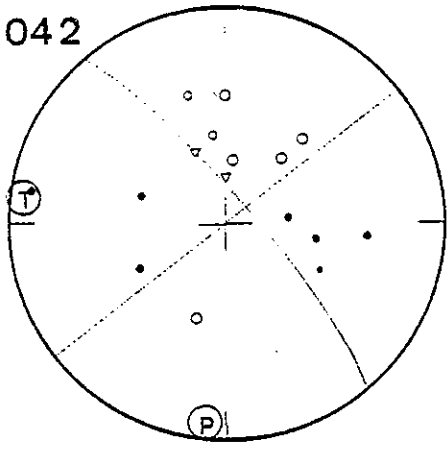
1006



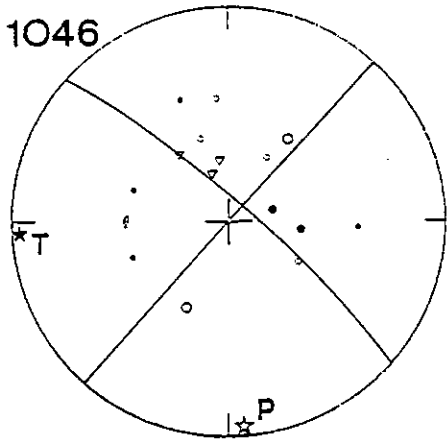
1032



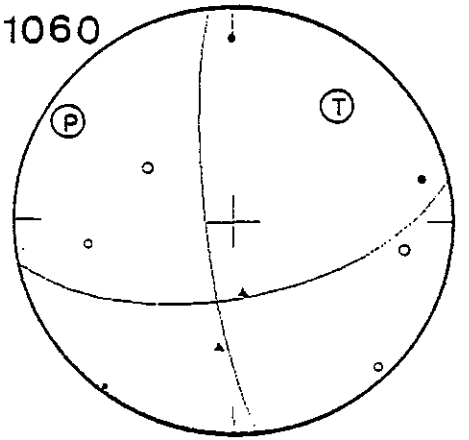
1042



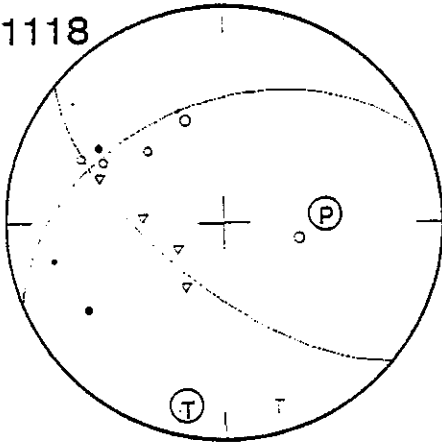
1046



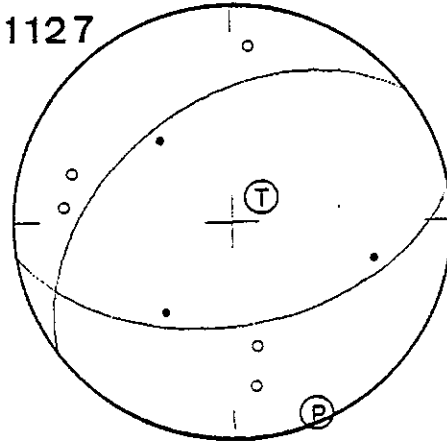
1060



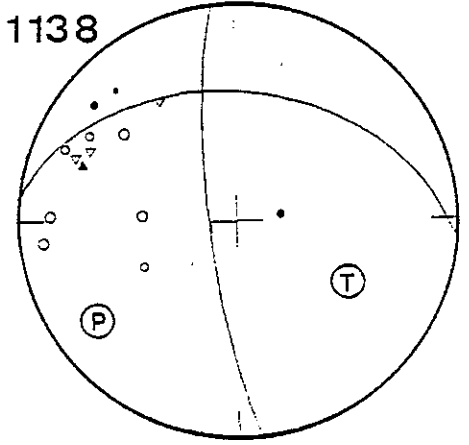
1118



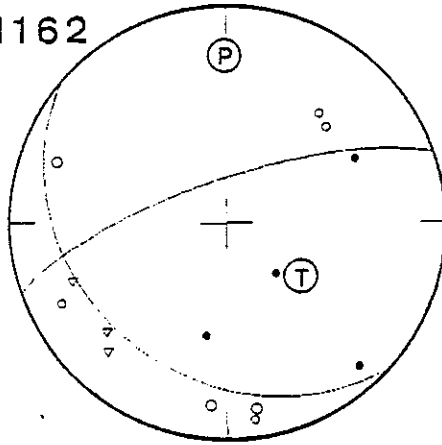
1127



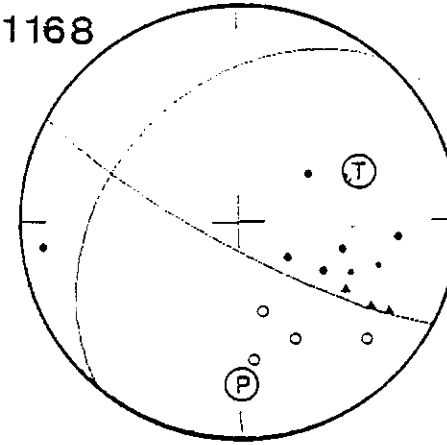
1138



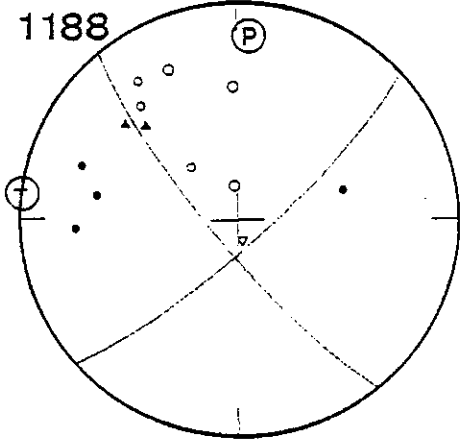
1162



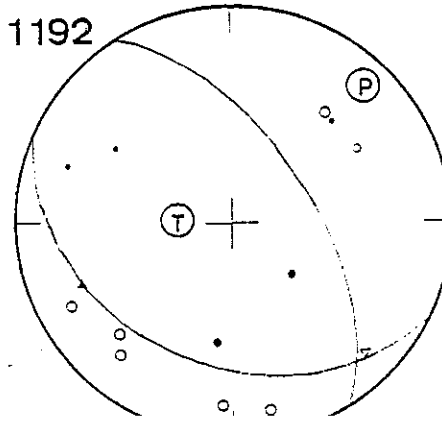
1168



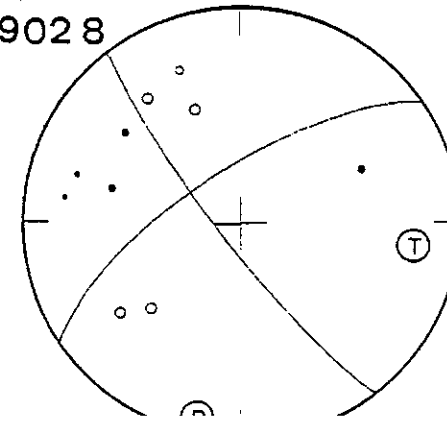
1188



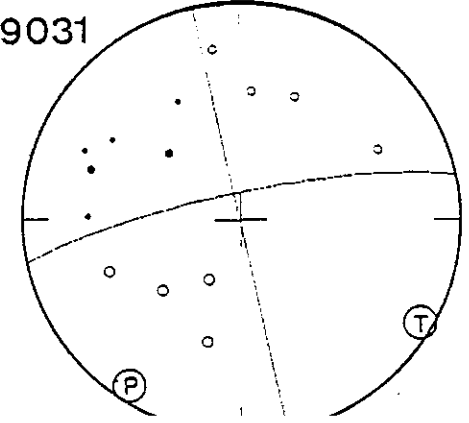
1192



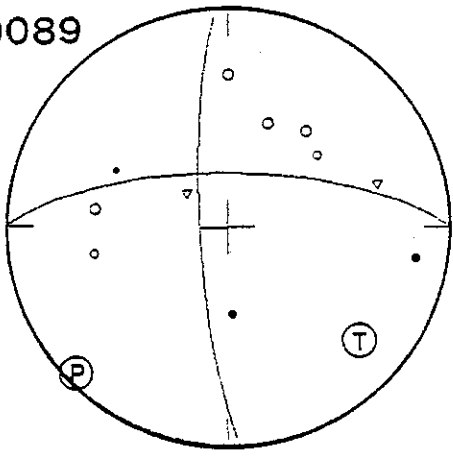
9028



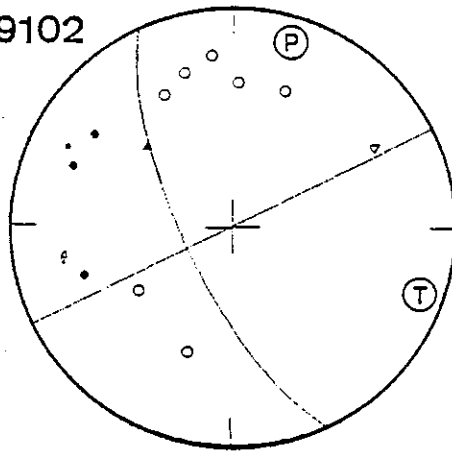
9031



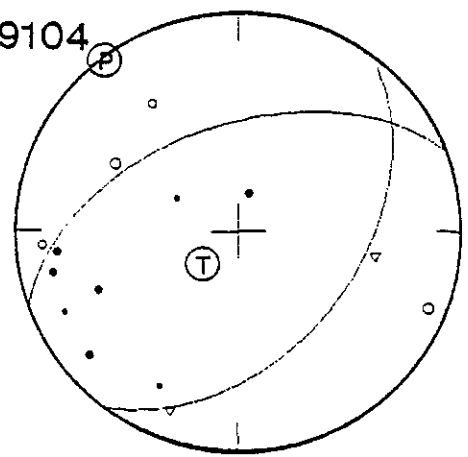
9089



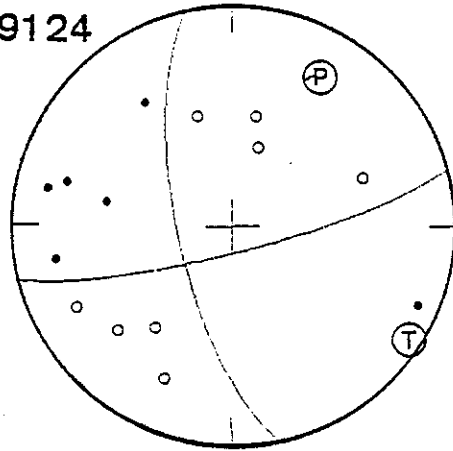
9102



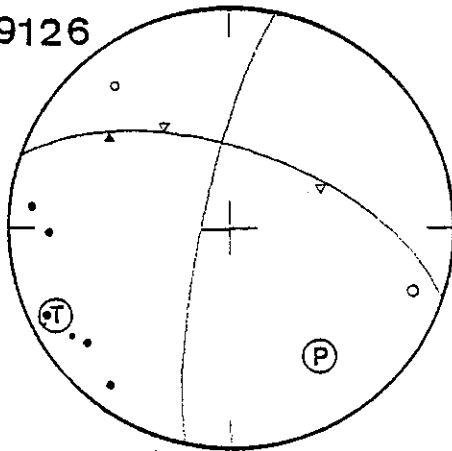
9104



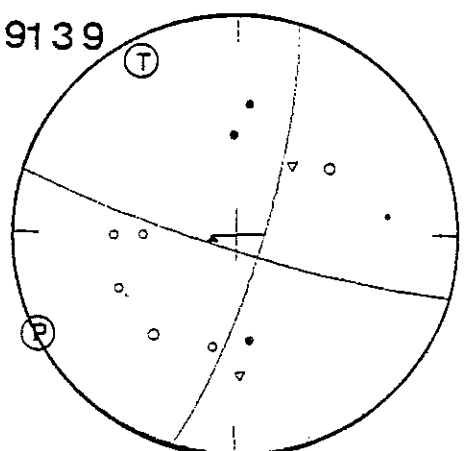
9124



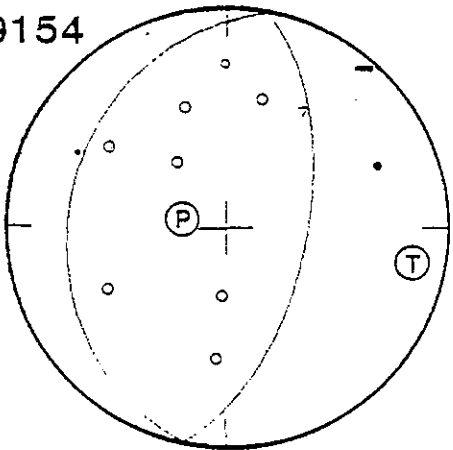
9126



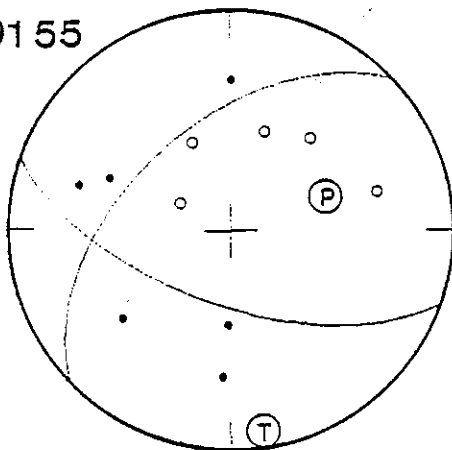
9139



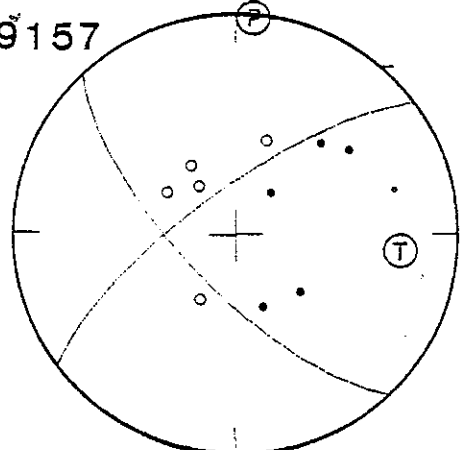
9154



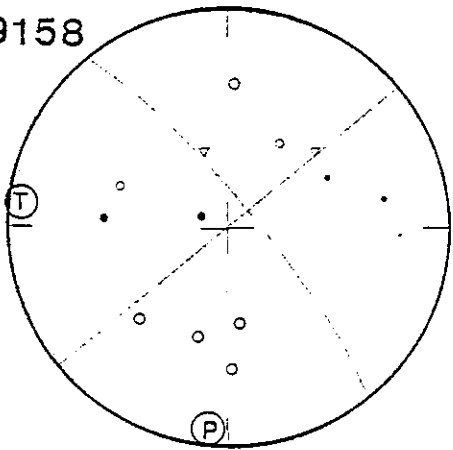
9155



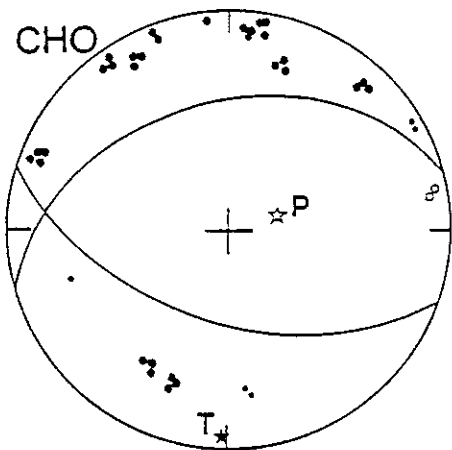
9157



9158



CHO



date	hrmn	sec	lat	lon	prof	mag	nt	gap	dmin	rms	erh	erz	no		
810611	1611	32.03	16514.57	72435.14	89.3	3.0	9	213	16.	0.15	5.9	4.2	197		
810611	1656	35.26	165	7.53	72426.96	29.0	2.1	10	168	24.	0.21	7.1	5.8	198	
810611	20	5	16.76	16529.58	71443.74	31.5	3.2	16	128	35.	0.26	2.0	1.8	201	
810611	21	5	16.76	16529.58	71443.74	31.5	3.2	16	128	35.	0.26	2.0	1.8	201	
810611	20	5	16.76	16529.58	71443.74	31.5	3.2	16	128	35.	0.26	2.0	1.8	201	
810611	2334	19.95	15512.60	72420.38	130.3	4.0	14	199	59.	0.22	3.0	3.7	206		
810612	012	17.31	1651.15	72413.31	122.9	3.2	10	189	27.	0.20	6.6	4.6	207		
810612	032	46.33	175	9.43	72459.14	17.0	3.1	15	259	85.	0.24	2.8	3.3	209	
810612	420	0.06	16531.50	71443.03	27.3	2.6	13	209	30.	0.16	2.3	2.2	212		
810612	449	1.64	15533.02	71454.37	15.0	1.9	7	195	30.	0.82	8.1	30.3	213		
810612	543	55.12	15556.16	71442.34	126.3	2.9	8	175	20.	0.12	11.2	4.3	214		
810612	713	51.00	16510.93	72454.79	90.6	3.0	10	208	51.	0.26	8.8	6.4	215		
810612	714	53.71	16515.65	73413.80	95.7	3.3	11	237	59.	0.26	5.7	4.4	216		
810612	87	8.54	16550.60	72446.47	28.2	2.6	10	266	65.	0.18	4.2	12.0	217		
810612	923	3.00	15552.63	72453.51	106.7	4.2	19	135	22.	0.33	2.1	3.1	220		
810612	1034	2.95	15530.09	71457.73	16.5	1.6	6	176	13.	0.06	3.9	5.6	223		
810612	1034	23.48	16512.85	72434.10	82.1	2.8	9	169	41.	0.12	5.3	5.5	225		
810612	1045	7.63	16510.59	72443.44	20.7	2.3	10	197	47.	0.23	9.2	72.8	227		
810612	1151	26.77	14550.26	72446.21	108.7	3.7	8	253	110.	0.21	3.9	9.2	228		
810612	1154	8.78	16543.15	72433.32	63.1	2.7	10	254	43.	0.14	3.4	3.7	229		
810612	1332	0.60	17514.48	72440.49	15.3	2.8	14	266	71.	0.31	2.5	3.6	230		
810612	1441	52.59	16541.07	72439.32	54.2	3.5	19	199	15.	0.28	1.7	2.2	232		
810612	1526	29.35	14559.07	71453.60	128.3	4.8	21	266	20.	0.26	3.0	3.3	233		
810612	1838	16.52	16554.61	72452.68	28.9	3.1	11	269	42.	0.27	3.4	4.3	236		
810612	2047	50.76	15533.89	73449.44	92.1	3.4	7	327	45.	0.16	7.1	4.3	237		
810612	2258	10.20	165	3.75	734	6.00	28.7	2.2	7	164	50.	0.15	2.4	239	
810613	0	3	4.41	165	1.25	72433.27	92.9	3.1	9	190	37.	0.16	5.9	240	
810613	058	19.64	15556.33	73433.43	74.3	3.0	9	259	19.	0.12	4.0	4.0	241		
810613	217	11.76	165	6.53	72446.09	79.6	2.5	8	192	40.	0.17	4.3	5.8	243	
810613	352	9.75	16538.08	724	3.28	77.6	3.1	15	137	37.	0.33	2.0	3.4	247	
810613	358	23.70	155	5.90	724	7.76	119.1	3.6	7	257	36.	0.29	9.6	7.8	249
810613	6	9	5.97	16542.76	72415.96	65.6	2.6	11	238	47.	0.14	3.1	3.5	252	
810613	640	10.85	15547.86	73427.42	88.9	3.3	12	175	2.	0.22	4.4	2.9	253		
810613	736	26.43	16550.68	72431.26	41.4	2.7	11	217	37.	0.20	2.5	2.2	254		
810613	8	33.98	15550.35	71422.48	149.6	4.1	20	186	32.	0.29	2.8	3.5	255		
810613	815	14.96	16526.54	724	2.54	19.8	4.0	17	236	51.	0.46	2.7	3.7	258	
810613	1024	50.44	16514.56	73426.36	19.8	2.0	8	214	16.	0.18	4.2	3.0	256		
810613	1137	2.22	16511.03	724	2.19	17.6	2.0	8	125	1.	0.15	3.5	2.5	260	
810613	1154	56.10	16555.68	72417.86	45.8	3.4	13	204	28.	0.26	3.8	7.8	262		
810613	13	7.43	16532.88	72442.12	60.1	3.2	24	105	2.	0.26	1.4	2.5	263		
810613	1332	39.33	15543.26	73445.44	95.7	3.8	13	321	31.	0.19	4.6	2.7	265		
810613	1632	57.62	175	1.72	724	2.94	8.8	2.5	10	286	2.	0.24	4.1	1.8	266
810613	1959	11.25	155	1.30	73454.67	124.8	4.5	16	302	97.	0.20	6.1	6.9	270	
810613	2054	30.22	15554.02	72424.66	18.4	2.6	9	191	7.	0.20	4.2	2.1	271		
810613	2154	44.90	16513.73	73445.55	70.8	3.5	16	225	50.	0.33	3.4	4.7	272		
810613	2256	33.14	15517.73	73445.55	95.9	4.3	15	303	110.	0.24	3.5	5.9	275		
810613	2350	11.71	16533.22	71430.79	41.2	2.9	17	221	22.	0.36	2.9	4.4	277		
810614	241	4.30	15559.53	734	7.93	77.2	2.3	8	158	43.	0.18	3.3	5.3	279	
810614	242	32.14	17514.88	72437.75	17.1	3.8	23	279	77.	0.30	2.2	2.8	280		
810614	435	13.34	17512.85	72437.95	27.0	3.1	15	284	73.	0.19	3.3	4.2	282		
810614	548	37.70	15520.66	71454.80	0.9	2.0	9	201	27.	0.22	3.1	73.3	284		
810614	615	20.49	16511.69	71452.67	112.4	0.0	7	316	17.	0.23	8.2	4.2	285		
810614	646	36.90	15537.26	72427.65	18.2	1.9	11	130	6.	0.27	3.3	2.5	287		
810614	826	23.40	15538.73	72416.15	12.4	2.9	10	137	33.	0.17	4.0	6.0	289		

date hrmn sec lat lon prof mag nt gap dmin rms erh erz no

date: hrmn. sec. lat. lon. prof. maj. nt. jgd. dmin. rms. erh. erz. no.

Table with columns: date, hrmn., sec., lat., lon., prof., maj., nt., jgd., dmin., rms., erh., erz., no. The table contains multiple rows of numerical data, with some rows appearing to be repeated or grouped together.

.date..hrmn...sec.....lat.....lon.....prof.mag. ant. y. ap. d. min. rms. erh. er. z. no.

310701 1234 12.15 16527.55 71W42.17 32.0 2.1 7 295 14. 0.17 3.8 3.0 985
 310701 1234 9.25 165 9.97 72U39.16 38.3 2.4 17 108 27. 0.18 1.4 1.5 991
 310701 2055 15.78 16529.94 71W40.96 31.6 2.1 8 302 18. 0.23 3.8 3.4 992
 310701 2338 57.77 16545.01 72U32.41 37.2 2.6 9 258 28. 0.18 3.8 6.6 993
 310701 2857 19.61 165 5.09 72U 4.43 102.7 3.0 13 174 11. 0.27 6.2 3.7 994
 310701 2831 18.35 15546.15 73W55.73 99.6 3.6 13 311 48. 0.27 3.7 7.3 995
 310701 111 10.95 16511.10 72U15.45 105.1 2.9 12 158 23. 0.21 5.5 3.4 997
 310702 957 57.03 15550.12 72U 4.48 131.9 3.1 12 191 38. 0.18 5.8 4.9 998
 310702 213 52.35 16516.24 71W 4.24 17.4 1.6 8 280 13. 0.20 3.0 4.0 1000
 310702 220 3.77 16529.08 71W 4.4 17.4 1.6 8 280 13. 0.20 3.0 4.0 1001
 310702 256 15.62 16524.21 71W 9.31 42.0 2.3 13 110 14. 0.30 2.3 3.5 1002
 310702 319 40.51 16527.65 71W52.36 37.7 2.7 4.1 19 213 44. 0.25 2.5 4.6 1012
 310702 7 3 41.62 15524.04 71W38.90 150.8 4.1 18 142 34. 0.32 3.2 4.1 1006
 310702 619 12.68 16522.25 71W33.09 77.7 3.1 20 86 9. 0.19 1.8 2.0 1008
 310702 454 9.22 16545.60 73W41.58 117.8 4.1 13 321 116. 0.24 6.1 7.0 1008
 310702 449 47.33 16525.33 71W56.83 92.0 3.0 17 89 8. 0.20 2.1 2.6 1009
 310702 334 0.52 175 5.56 72W47.91 22.4 2.9 21 250 64. 0.29 2.1 2.7 1010
 310702 104 43.33 16519.90 72W27.27 94.2 2.9 16 93 2. 0.35 2.6 3.3 1031
 310702 1024 42.87 155 9.44 72U32.02 116.9 4.1 19 213 44. 0.25 2.5 4.6 1012
 310702 921 19.08 175 6.92 71W38.84 99.3 3.9 21 271 12. 0.21 2.7 2.8 1013
 310702 1049 19.96 165 8.49 72W44.37 43.9 2.4 13 184 36. 0.15 2.0 4.2 1016
 310702 11 3 26.03 16530.16 72W25.07 43.3 2.8 15 181 19. 0.25 2.0 3.5 1020
 310702 1513 30.33 16524.12 71W59.80 105.7 3.0 15 236 16. 0.34 5.9 3.9 1030
 310702 2011 42.58 16527.92 71W47.08 105.7 3.0 15 236 16. 0.34 5.9 3.9 1030
 310702 2224 7.35 165 9.77 72W43.77 43.5 2.6 14 198 42. 0.20 2.3 3.7 1031
 310702 5 41.91 165 6.99 71W36.83 140.0 4.3 28 69 27. 0.39 2.2 2.5 1032
 310702 2236 55.33 165 1.73 73W41.27 31.9 3.4 18 286 92. 0.37 2.6 3.5 1035
 310702 329 4.59 16534.88 73W41.27 31.9 3.4 18 286 92. 0.37 2.6 3.5 1035
 310702 517 47.39 16554.34 73W55.39 30.0 3.4 27 268 44. 0.33 2.0 1.8 1036
 310702 620 4.48 14529.95 73U56.63 127.6 4.5 13 306 152. 0.22 5.4 8.8 1037
 310702 512 3.25 16530.76 73W26.71 19.0 3.5 25 247 78. 0.40 2.0 2.7 1038
 310702 644 53.31 16543.24 73W37.65 61.2 2.5 15 247 25. 0.13 2.5 2.2 1039
 310702 6 19.01 165 8.97 71W34.92 126.8 4.1 26 78 35. 0.34 2.1 4.5 1042
 310702 828 49.71 15551.58 72W 0.42 124.8 4.1 26 78 35. 0.34 2.1 4.5 1042
 310702 1024 37.37 16536.92 69W38.78 193.7 4.9 18 182 167. 0.35 7.1 5.6 1045
 310702 1016 37.64 15548.43 72U 9.38 131.8 3.6 22 88 35. 0.28 2.9 3.5 1046
 310702 11 8 40.16 16551.47 73U 0.32 20.2 2.6 13 268 45. 0.32 3.5 10.6 1048
 310702 1148 32.35 15534.21 70W46.05 195.2 4.5 16 275 61. 0.28 6.2 3.7 1049
 310702 1276 9.65 16524.48 71W42.59 27.5 2.0 7 297 9. 0.15 3.4 3.7 1051
 310702 178 29.19 16539.08 71W41.41 55.5 3.0 16 249 10. 0.18 2.2 2.1 1053
 310702 1727 46.46 16554.03 72W27.09 25.5 2.6 11 199 45. 0.25 5.0 2.6 1056
 310702 212 14.56 15543.60 72U 4.0 72U 4.0 50 27.9 2.9 16 253 63. 0.30 2.3 3.2 1058
 310702 1859 1.43 175 7.37 72W40.50 20.1 3.3 24 234 42. 0.33 1.9 3.8 1059
 310702 1917 26.09 16541.97 73W 8.16 20.1 3.3 24 234 42. 0.33 1.9 3.8 1059
 310702 1957 2.64 16524.47 71W37.30 153.6 4.2 17 99 20. 0.50 2.7 3.7 1063
 310702 2210 13.09 15534.94 71W37.30 153.6 4.2 17 99 20. 0.50 2.7 3.7 1063
 310702 226 17.27 16535.48 72W14.22 84.5 3.7 23 117 36. 0.26 1.4 1.5 1066
 310702 2221 19.23 17520.46 72W34.06 24.8 3.0 22 281 66. 0.30 2.4 1.5 1066
 310702 2349 1.62 16516.56 72W28.04 92.3 3.2 15 78 7. 0.31 2.3 3.5 1067
 310702 155 55.15 16549.86 72W46.19 50.1 2.8 12 300 28. 0.19 4.3 2.1 1072
 310702 224 3.25 15542.52 71W13.97 97.7 3.5 15 174 27. 0.38 3.6 4.1 1073
 310702 314 37.35 16522.22 71W43.45 20.9 1.9 7 294 26. 0.15 4.1 6.1 1073
 310702 422 36.21 16517.09 71W43.45 20.9 1.9 7 294 26. 0.15 4.1 6.1 1073
 310702 326 35.21 16517.09 71W43.45 20.9 1.9 7 294 26. 0.15 4.1 6.1 1073
 310702 423 36.26 16518.92 73W15.07 75.7 2.8 13 223 64. 0.28 3.1 5.2 1079
 310702 423 48.97 16518.92 73W15.07 75.7 2.8 13 223 64. 0.28 3.1 5.2 1079
 310702 427 26.50 15519.78 71W52.44 0.7 2.0 14 172 23. 0.25 1.6 91.6 1081

.date..hrmn...sec.....lat.....lon.....prof.mag. ant. y. ap. d. min. rms. erh. er. z. no.

310629 381 33.65 17517.01 72U31.95 25.5 3.0 26 251 56. 0.40 2.1 1.8 890
 310629 344 40.23 175 9.46 72W50.93 17.8 3.3 28 253 65. 0.31 1.8 2.6 891
 310629 346 11.35 16547.33 73W28.42 18.4 2.5 12 288 35. 0.23 3.5 2.7 892
 310629 545 25.53 175 6.93 72U30.72 28.3 2.6 16 282 62. 0.26 2.5 2.7 893
 310629 627 3.53 15530.87 73W16.65 100.0 2.7 8 151 22. 0.19 3.5 3.5 894
 310629 713 34.05 16533.76 71W57.81 31.7 2.2 14 94 11. 0.21 2.2 3.1 897
 310629 739 30.93 16529.02 72W41.68 94.1 2.9 14 186 34. 0.17 3.3 2.8 899
 310629 9 32.87 165 3.66 72W41.68 94.1 2.9 14 186 34. 0.17 3.3 2.8 899
 310629 924 25.21 16519.76 72U 1.00 33.8 1.9 8 114 17. 0.20 3.1 5.0 902
 310629 940 32.28 16534.91 72U25.24 61.3 2.5 9 232 27. 0.16 2.6 2.0 903
 310629 1044 28.08 15554.41 71W37.52 143.1 3.0 20 88 17. 0.25 3.8 905
 310629 1047 55.65 165 1.34 72U38.71 22.5 1.9 10 121 35. 0.19 5.4 7.3 906
 310629 1057 58.97 16537.80 71W37.59 37.2 2.3 10 215 35. 0.19 5.4 7.3 906
 310629 1130 12.83 15521.05 71W53.59 1.9 2.1 10 140 26. 0.36 2.0 6.3 909
 310629 1247 59.72 15530.39 73W21.48 99.6 3.8 22 235 33. 0.31 2.9 2.6 910
 310629 1238 58.97 16535.56 72W22.90 44.4 2.6 17 154 30. 0.23 2.2 1.8 911
 310629 1424 12.56 15533.62 74W11.92 100.6 3.8 13 319 79. 0.28 4.5 4.0 912
 310629 1322 51.29 16538.98 72W20.72 49.6 2.2 10 216 37. 0.24 4.0 7.3 913
 310629 1617 11.85 15519.52 71W52.84 1.1 2.4 11 192 23. 0.19 2.3 7.5 916
 310629 1617 41.00 16519.52 71W52.84 1.1 2.4 11 192 23. 0.19 2.3 7.5 916
 310629 18 18.37 165 0.58 72U35.59 25.3 2.5 7 251 20. 0.29 3.2 3.5 922
 310629 2326 24.82 165 0.58 72U35.59 25.3 2.5 7 251 20. 0.29 3.2 3.5 922
 310629 2152 36.66 16525.27 71W26.93 0.1 2.7 14 188 6. 0.35 1.9 6.2 924
 310629 158 12.61 16549.67 71W11.28 76.6 3.1 13 297 55. 0.35 4.1 9.1 921
 310630 059 17.49 15548.40 72U59.44 111.2 3.8 23 123 29. 0.30 1.6 2.6 928
 310630 034 22.74 16542.89 71W27.57 29.0 2.8 13 147 17. 0.29 2.6 2.3 930
 310630 258 15.37 165 0.58 72U35.59 25.3 2.5 7 251 20. 0.29 3.2 3.5 922
 310630 4 0 49.19 15519.52 71W26.93 0.1 2.7 14 188 6. 0.35 1.9 6.2 924
 310630 515 58.93 155 4.94 73U 3.60 98.2 3.0 15 250 17. 0.34 3.8 1.9 933
 310630 7 2 49.73 16514.18 71W33.10 98.4 3.0 15 250 17. 0.34 3.8 1.9 933
 310630 627 0.77 165 7.58 72U23.60 102.8 3.6 23 75 25. 0.40 1.8 2.7 941
 310630 815 19.26 15526.33 72W40.13 114.1 3.1 12 254 35. 0.32 5.3 5.4 944
 310630 755 38.74 15516.43 74W22.54 104.8 3.0 2 9 303 13. 0.20 4.0 2.7 946
 310630 826 58.09 16522.19 71W39.26 26.4 2.2 9 303 13. 0.20 4.0 2.7 946
 310630 1012 33.76 165 1.85 72W20.84 109.6 3.5 21 89 16. 0.32 1.7 2.5 948
 310630 939 5.77 16516.01 72W20.84 109.6 3.5 21 89 16. 0.32 1.7 2.5 948
 310630 917 25.25 16529.82 71W40.73 28.0 2.5 6 145 18. 0.24 2.9 8.5 949
 310630 12 2 5.04 165 1.50 73W16.78 81.1 2.7 11 188 34. 0.30 3.5 4.8 951
 310630 1249 55.27 16542.41 73W17.78 26.4 3.3 21 266 57. 0.26 3.0 3.0 953
 310630 1321 46.00 155 9.23 74W14.20 113.1 4.0 10 330 108. 0.31 6.5 7.5 955
 310630 1323 50.65 15519.75 71W52.79 0.8 2.6 23 140 24. 0.26 1.2 60.8 956
 310630 19 8 57.45 15519.65 73W42.35 105.1 4.0 14 300 63. 0.29 4.2 2.0 957
 310630 22 3 24.51 155 9.99 71W47.82 141.1 3.6 6 152 2. 0.33 4.4 5.5 966
 310630 2159 19.67 16529.44 71W42.58 29.7 2.2 7 292 15. 0.17 7.6 3.4 967
 310630 2331 51.47 165 2.89 73W11.71 91.4 3.4 18 175 41. 0.27 3.5 3.5 968
 310701 026 34.40 15550.31 73W17.45 9.7 3.2 22 145 20. 0.27 1.5 1.7 970
 310701 257 39.60 15536.49 72U 1.50 135.9 3.5 10 170 43. 0.31 2.5 1.0 974
 310701 511 8.50 16521.04 69W26.19 228.0 5.5 17 317 224. 0.25 6.2 9.6 975
 310701 450 56.57 15520.06 71U52.40 0.9 2.1 14 171 24. 0.21 1.8 57.6 976
 310701 541 3.28 16519.76 72U 1.75 35.7 2.0 7 116 17. 0.19 3.6 4.7 977
 310701 1034 7.35 165 9.90 71W46.43 123.2 3.5 10 257 25. 0.14 9.0 4.0 982
 310701 10 1 13.20 14543.35 73W24.95 112.2 4.2 19 262 81. 0.25 3.4 5.6 983
 310701 957 9.63 16532.37 71W36.32 31.3 2.4 10 320 28. 0.22 4.0 3.0 984

310701 957 9.63 16532.37 71W36.32 31.3 2.4 10 320 28. 0.22 4.0 3.0 984

Table with columns for various numerical data points across different categories, including labels like 810706, 810707, etc., and values ranging from 0.10 to 1.92.

800711	21	5	36.45	165	9.59	72057.54	89.7	3.6	13	180	52.	0.37	2.6	2.5	9081
800712	728	1.74	15547.97	72036.15	103.3	3.4	12	114	18.	0.36	3.1	3.4	9083		
800712	1122	25.57	14525.05	71457.20	104.7	3.3	9	138	28.	0.23	2.7	3.3	9084		
800713	1653	10.10	16525.40	72024.24	96.9	0.0	9	248	26.	0.12	5.3	2.7	9085		
800713	1130	18.91	15559.03	72019.75	114.2	3.4	9	143	28.	0.12	6.2	3.7	9086		
800714	321	2.31	165	7.29	72049.14	91.7	5.4	13	160	41.	0.22	2.9	2.5	9087	
800714	1055	6.51	16517.44	71041.37	121.0	3.6	13	115	39.	0.20	2.4	3.3	9088		
800714	1454	51.54	15517.62	71038.41	139.1	4.4	16	102	41.	0.26	1.9	3.3	9089		
800716	935	57.25	15558.91	72018.39	107.8	3.3	9	126	29.	0.17	2.2	3.5	9094		
800716	655	29.15	15555.27	72013.52	107.4	3.9	15	99	35.	0.25	1.7	3.0	9096		
800716	1425	46.91	15516.45	73013.23	99.9	4.1	12	220	64.	0.31	4.1	6.3	9097		
800717	1158	19.93	15547.22	71018.03	145.9	4.4	11	104	29.	0.16	2.8	3.0	9098		
800715	22	7	11.55	14556.96	71058.35	119.0	4.5	21	103	89.	0.25	1.6	3.6	9102	
800715	3	5	25.94	15558.61	72025.02	104.1	6.3	23	88	25.	0.26	1.4	2.3	9104	
800714	2347	57.39	14556.84	72053.32	103.6	3.8	13	134	112.	0.18	1.5	4.4	9106		
800714	2332	10.97	16510.74	69035.39	244.1	6.0	25	280	70.	0.26	3.3	2.7	9107		
800714	2123	51.22	16517.26	72049.45	69.9	3.8	15	185	39.	0.24	2.6	2.2	9108		
800714	731	32.28	16534.41	72016.52	94.1	4.1	18	173	47.	0.23	1.9	1.5	9110		
800714	3	3	34.71	15550.57	71052.69	131.6	3.9	14	95	40.	0.25	2.1	3.6	9112	
800713	2117	52.59	16554.09	710	0.00	105.7	4.3	15	237	72.	0.21	2.9	2.5	9113	
800713	2117	52.59	16557.65	71036.06	136.0	4.0	12	153	27.	0.13	2.6	4.1	9114		
800713	932	14.37	14552.45	72048.55	99.0	4.3	16	160	124.	0.23	2.0	4.2	9115		
800713	1955	6.82	15553.53	72055.41	88.8	4.5	19	148	59.	0.27	1.6	2.6	9116		
800712	1744	14.90	165	3.30	71055.31	118.3	4.0	14	96	19.	0.18	2.6	9119		
800711	1238	15.39	15555.29	730	4.52	82.6	3.6	17	160	45.	0.32	2.0	2.5	9122	
800709	150	59.91	16510.36	71057.97	115.4	4.1	17	106	7.	0.26	1.8	2.4	9123		
800709	138	19.22	15522.48	72016.48	117.0	4.8	25	100	62.	0.29	1.4	3.0	9124		
800708	1326	34.03	16559.42	71044.88	74.7	3.6	14	199	8.	0.31	2.3	2.8	9125		
800708	819	12.37	15532.60	72054.20	99.4	4.4	17	108	67.	0.24	1.8	4.3	9126		
800708	254	27.36	16511.91	72028.56	104.9	3.9	18	157	0.	0.35	1.7	2.4	9127		
800707	2333	34.56	15539.66	72039.51	105.6	4.0	15	128	63.	0.30	2.2	4.0	9128		
800707	218	52.11	15519.20	71055.77	21.7	2.9	16	119	87.	0.19	1.5	1.8	9129		
800706	1940	30.98	15519.52	71054.91	13.5	3.5	22	119	87.	0.25	1.0	2.0	9130		
800706	1813	35.77	15319.17	71055.54	14.7	3.9	24	119	84.	0.30	1.5	2.7	9131		
800706	4	5	23.03	15543.41	73051.79	88.8	4.6	17	180	42.	0.23	2.3	4.3	9133	
800705	2245	12.12	165	3.76	71037.20	119.3	4.0	15	83	43.	0.25	1.8	3.3	9134	
800705	555	34.79	14553.58	72037.36	99.3	3.8	15	183	105.	0.33	2.8	5.9	9135		
800704	1227	0.45	14550.24	71038.71	115.9	3.8	14	123	27.	0.29	2.8	3.9	9137		
800703	1250	15.13	145	2.37	72045.42	108.2	4.7	19	244	121.	0.39	3.6	5.3	9138	
800702	2144	44.89	15533.36	71030.61	147.8	4.4	22	87	17.	0.27	1.9	3.2	9139		
800628	19	5	17.13	14525.24	72050.78	97.9	4.3	17	225	126.	0.26	2.9	5.5	9141	
800629	015	19.33	15510.06	73016.13	114.4	4.1	13	215	72.	0.39	5.3	8.0	9142		
800701	357	13.90	14553.05	72020.81	105.6	3.7	13	166	77.	0.20	2.5	5.9	9146		
800701	1258	25.12	165	3.54	73018.21	71.7	4.6	16	226	36.	0.39	3.3	5.1	9147	
800701	2141	12.34	15517.30	72043.66	117.9	3.7	11	163	73.	0.33	6.1	5.6	9149		
800701	2216	16.43	15513.68	72010.95	134.1	3.5	11	137	81.	0.17	2.4	6.0	9150		
800702	1228	35.91	155	7.99	71045.34	124.1	3.6	13	117	60.	0.22	2.3	4.2	9151	
800628	10	5	47.25	155	5.17	71043.44	126.6	4.3	18	116	55.	0.25	3.7	9154	
800628	1046	47.89	15521.30	71041.98	135.1	4.3	20	105	42.	0.32	1.9	3.2	9155		
800629	647.	13.98	15537.92	71057.60	127.2	3.7	21	107	63.	0.21	1.6	3.6	9156		
800630	15	6	25.49	15510.37	710	2.01	166.7	4.5	18	94	53.	0.23	3.2	9157	
800701	339	12.37	15527.36	71032.42	144.1	4.3	22	92	22.	0.25	1.0	1.7	9158		

REFERENCES

- AMOSSE, J., et AUDEBAUD, 1978, Corrélations entre les minéralisations du Sud-Péruvien et les teneurs en éléments traces des roches éruptives: Sonderdruck aus der Geol. Rund. Band 67, Stuttgart, 253-270.
- AUDEBAUD, E., 1973, A propos d'une zone de haute conductivité électrique: différences géologiques et géophysiques entre le Nord et le Sud des Andes péruviennes: C. R. Acad. Sc. Paris, t. 277, 1729-1732.
- AUDEBAUD, E., CAPODEVILA, R., DALMAYRAC, B., DEBELMAS, J., LAUBACHER, G., LEFÈVRE, C., MAROCCO, R., MARTINEZ, C., MATTAUER, M., MEGARD, F., PAEDES, J., et TOMASI, P., 1973, Les traits géologiques essentiels des Andes Centrales (Pérou-Bolivie): Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique (2), v. 15, p. 73-114.
- BARAZANGI, M., et ISACKS, B.L., 1976, Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca Plate beneath South America: Geology, 4, 686-692.
- BARAZANGI, M., et ISACKS, B.L., 1979, Subduction of the Nazca Plate beneath Peru: evidence from the spatial distribution of earthquakes: Geoph. Jour. Roy. Astr. Soc., v. 57, 537-555.
- BLES, J.L., et FEUGA, B., 1981, La fracturation des roches: coll. Manuels et Méthodes, n° 1, publications du B.R.G.M., Orléans.
- BURCHFIELD, B.C., et DAVIS, G.A., 1976, Compression and crustal shortening in Andean-type orogenesis: Nature, 260, 693-694.
- CHINN, D., 1982, Accurate source depths and focal mechanisms of shallow earthquakes in western South America and in the New Hebrides Island Arc: Ph. D. Thesis, Cornell University.
- CONEY, P.J., 1973, Plate tectonics of marginal foreland thrust-fold belts, Geology, 1, 131-134.
- COUCH, R., et WHITSETT, R.M., 1981, Structures of the Nazca Ridge and the continental shelf and slope of southern Peru: Kullm, L. D. et al., eds., Nazca Plate: Geological Society of America Memoir 154, 569-586.
- COUCH, R., WHITSETT, R.M., HUENN, B., BRICENO-GUARUPE, L., 1981, Structures of the continental margin of Peru and Chile: Kullm, L. D. et al., eds., Nazca Plate: Geological Society of America Memoir 154, 703-726.
- COULBOURN, W.T., 1981, Tectonics of the Nazca Plate and the continental margin of western South America, 18°S to 23°S: Kullm, L. D. et al., eds., Nazca Plate: Geological Society of America Memoir 154, 587-618.
- DALMAYRAC, B., 1974, Un exemple de tectonique vivante: les failles sub-actuelles du pied de la Cordillère Blanche (Pérou): Cah. ORSTOM, Sér. Géol. VI/1, 19-27.
- DALMAYRAC, B., MOLNAR, P., 1981, Parallel thrust and normal faulting in Peru and constraints on the state on stress: Earth and Plan. Sc. Lett., 55, 473-481.
- DEZA, E., 1969, Estudio preliminar sobre las zonas de transición que separan posibles regiones sísmotectónicas del margen occidental de Sudamérica: zona de transición en el Perú: Com. I° Cong. Nac. Sísm. Ing. Antisísmica, Lima.
- DEZA, E., 1971, The Paríahuanca earthquakes, Huancayo, Peru: July-October 1969: Recent Crustal Movement, Roy. Soc. New Zeal. Bull. 9, 77-83.
- DICKINSON, W. R., 1977, Tectono-stratigraphic evolution of subduction-controlled sedimentary assemblages: Taiwan, M., et Pitman, W. C., III, eds., Island arcs, deep sea trenches and back-arc basins: American Geophysical Union Maurice Ewing Series, p. 33-40.
- DOLLFUS, O., et HEGARD, F., 1968, Les formations quaternaires du bassin de Huancayo et leur tectonique (Andes Centrales: péruviennes), Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn. X, 429-440.
- ENGDAHL, R., et SCHOLZ, C.H., 1977, A double Benioff zone beneath the central Aleoutians: an unbending of the lithosphere: Geoph. Res. Lett., 4, 473-476.
- GAMOND, J.F., 1983, Displacement features associated with fault zones: a comparison between observed examples and experimental models: Journal of Struct. Geol., v. 5 (sous presse).
- GAMOND, J.F., et GIRAUD, A., 1982, Identification des zones de faille, à l'aide des associations de fractures de second ordre: Bull. Soc. Géol. France, t. XXIV, n° 4, 755-762.
- GEIGER, L., 1912, Probability method for the determination of earthquake epicenters from the arrival time only: Bull. of St Louis University, 8 (1), 56-71.
- HANDSCHUMACHER, D.W., 1976, Post-Eocene plate tectonics of the Eastern Pacific: Sutton, G. H., et al., eds., The geophysics of the Pacific ocean basin and its margin: American Geophysical Union Monograph 19 177-202.
- HANDSCHUMACHER, D.W., PILGER, R.H., Jr., FOREMAN, J.A., CAMPBELL, J.F., 1981, Structure and evolution of the Easter Plate: Kullm, L. D. et al., eds., Nazca Plate: Geological Society of America Memoir 154 63-76.
- HANUS, V., VANEK, J., 1978, Morphology of the Andean Wadati-Benioff zone, andesitic volcanism, and tectonic features of the Nazca Plate Tectonophysics, 44, 65-77.

- HASEGAWA, A., UMINO, M., TAKAGI, A., 1978, Double-planned structure of the deep seismic zone in the northeastern Japan arc: *Tectonophysics*, 47, 43-58.
- HASEGAWA, A., et SACKS, I.S., 1981, Subduction of the Nazca Plate beneath Peru as determined from seismic observations: *Jour. Geoph. Res.*, v. 86, 4971-4980.
- HAYES, D.E., 1966, A geophysical investigation of the Peru-Chile Trench: *Marine Geology*, Elsevier Pub. Co., Amsterdam.
- HERRON, E.M., 1972, Sea-floor spreading and the Cenozoic history of the East Central Pacific: *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 83, 1671-1692.
- ISACKS, B.L., et BARAZANGI, M., 1973, High frequency shear waves guided by a continuous lithosphere descending beneath western South America: *Geoph. J. R. Astr. Soc.*, 33, 129-139.
- ISACKS, B., et BARAZANGI, M., 1977, Geometry of Benioff zones: lateral segmentation and downwards bending of the subducted lithosphere: *Taiwan, M., et Pitman, W. C., III, eds., Island arcs, deep sea trenches and back-arc basins: American Geophysical Union Maurice Ewing Series*, 99-114.
- ISACKS, B., et MOLNAR, P., 1971, Distribution of stresses in the descending lithosphere from a global survey of focal-mechanism solutions of mantle earthquakes: *Rev. of Geoph. and Space Physics*, v. 9, no. 1, 103-174.
- JAMES, D.E., 1971, Andean crustal and upper mantle structure: *Jour. Geoph. Res.*, v. 76, no 14, 3246-3271.
- JAMES, D.E., 1978, Subduction of the Nazca Plate beneath central Peru: *Geology*, 6, 174-178.
- JAMES, D.E., 1981, Role of the subducted continental material in the genesis of calc-alkaline volcanics of the central Andes: *Kulm, L. D., et al., eds., Nazca Plate: Geological Society of America Memoir 154*, 769-790.
- JOHNSON, S.H., et NESS, G., 1981, Shallow structure of the Peru margin, 12°S-18°S: *Kulm, L. D., et al., eds., Nazca Plate: Geological Society of America Memoir 154*, 525-542.
- JORDAN, T.E., ISACKS, B.L., ALLMENDINGER, R.W., BREMER, J.A., RAMOS, V.A., et ANDO, C.J., 1982, Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca Plate: soumis à *Geol. Soc. Amer. Bull.*.
- KLEIN, F.W., 1978, Hypocenter location program HYPOLINVERSE: U.S. Geological Survey, Open File Report, 78-694.
- LAVENU, A., 1978, Néotectonique des sédiments plio-quaternaires du Nord de l'Altiplano bolivien (La Paz-Ayo-Ayo-Umale), *Can. ORSTOM, Sér. Géol. X/1*, 115-126.
- LAVENU, A., 1982, La tectonique quaternaire en Bolivie: 9e R. A. S. I., Soc. Géol. Fr. édit Paris, p. 362.
- LAVENU, A., et SOULAS, J.P., 1974, Observations de microfailles plio-quaternaires en distension le long de la côte sud du Pérou: *Bull. Inst. Fr. Et. And., III, n° 2*, 39-48.
- LEE, W.H.K., et LAHR, J.C., 1975, HYP071 (revised): a computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of focal earthquakes: U.S. Geological Survey Open-File Report 75-311.
- LEFEVRE, C., 1973, Les caractères magmatiques du volcanisme plio-quaternaire des Andes dans le Sud du Pérou: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 41, 259-272.
- LUETGERT, J.H., MEYER, R.P., 1981, Crustal structure of coastal Peru: Fall AGU Meeting, EOS, v. 62, no. 45, p. 961.
- MALGRANGE, M., et MADARIAGA, R., 1981, Complex distribution of large thrust and normal fault earthquakes in the Chilean subduction zone: *Contribution IPG Paris n° 610*.
- MAHMERICKX, J., HERRON, E.M., et DORMAN, L., 1980⁷, Evidence for two fossil spreading ridges in the southeast Pacific: *Geol. Soc. Amer. Bull.*, v. 91, 263-271.
- MAROCCHO, R., 1978, Géologie des Andes péruviennes: un segment E-W de la chaîne des Andes péruviennes: la déflexion d'Abancay. *Etude géologique de la Cordillère Orientale et des Hauts Plateaux entre Cuzco et San Miguel, Sud du Pérou: Trav. Doc. ORSTOM 94*.
- MATTAUER, M., 1980, Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre: Hermann édit., Paris.
- MEGARD, F., 1978, Etude géologique des Andes du Pérou Central, contribution à l'étude géologique des Andes n° 1: Paris, Mémoires ORSTOM n° 86.
- MEGARD, F., et PHILIP, H., 1976, Plio-quaternary tectono-magmatic zonation and plate tectonics in the Central Andes: *Earth Plan. Sci. Lett.*, 33, 231-238.
- MERCIER, J.L., 1981, Extensional-compressional tectonics associated with the Aegean Arc, comparison with the Andes of south Peru-north Bolivia: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A300, 337-355.
- MINSTER, J.B., et JORDAN, T.H., 1978, Present-day plate motions: *Jour. Geoph. Res.*, v. 83, B11, 5331-5354.
- MOLNAR, P., et ATWATER, I., 1978, Interarc spreading and Cordilleran tectonics as alternates related to the age of the subducted oceanic lithosphere: *Earth and Plan. Sc. Lett.*, v. 41, 330-340.
- MORGAN, W.J., 1971, Convection plumes in the lower mantle: *Nature*, 230, p. 42.

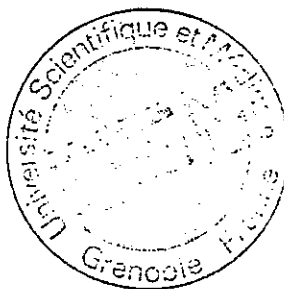
- OCHOA MIRANDA, D., et STAUDER, M., 1963, Mecanismo focal de los dos últimos terremotos de Arequipa, Perú: Bol. An. Inst. Geof. Universidad San Agustín, Arequipa, 17-28.
- OCOLA, L.C., et MEYER, R.P., 1972, Crustal low-velocity zones under the Peru-Bolivia altiplano: Geoph. Jour. Royal Astr. Soc., v. 30, 199-209.
- OCOLA, L.C., et MEYER, R.P., 1973, Crustal structure from the Pacific Basin to the Brazilian Shield between 12° and 30° south latitude.
- OCOLA, L.C., MEYER, R.P., et ALDRICH, L.T., 1971, Gross crustal structure under Peru-Bolivia altiplano: Earthquakes Notes, v. 42, nos. 3-4, p. 33-48.
- OUVED, M., 1981, Le tremblement de terre d'El Asnam du 10 Octobre 1980. Etudes des répliques: Thèse de 3e Cycle, Grenoble.
- PLIGER, R.H., Jr., et HANDSCHUMACHER, D.W., 1981, The fixed hotspot hypothesis and origin of the Easter-Sala y Gomez-Nazca trace: Geol. Soc. Amer. Bull. (sous presse).
- REA, D.K., 1981, Tectonics of the Nazca-Pacific divergent plate boundary: Kulm, L. D. et al., eds., Nazca Plate: Geological Society of America Memoir 154, 27-62.
- RITSCHA, A.R., 1970, The mechanism of mantle earthquakes in relation to phase transformation processes: Phys. Earth Planet. Interiors, 3, 503-510.
- RUTLAND, R.W.R., 1971, Andean orogeny and ocean floor spreading: Nature, 233, 252-255.
- SACKS, S., et OKADA, H., 1974, A comparison of anelasticity structure beneath western South America and Japan: Tectonophysics, 37, 131-139.
- SACKS, I.S., LINDE, A.T., RODRIGUEZ, A., SNOKE, J.A., 1978, Shallow seismicity in subduction zones: Geoph. Res. Lett., v. 5, no. 11, 901-903.
- SEBRIER, M., 1978, Informe preliminar sobre las fallas recientes de la zona de Huambo-Cabanacorde: Informe Interno Inst. Geof. Perú, Lima.
- SEBRIER, M., 1981, Informe resumido de algunas observaciones en los departamentos de Ica, Arequipa, Tacna, Cuzco, Apurímac, Ayacucho, Junín: Informe Interno Inst. Geof. Perú, Lima.
- SEBRIER, M., LAVENU, A., SERVANI, M., 1980, Apuntes recientes sobre la neotectónica en los Andes Centrales (Peru-Bolivia): Bull. Inst. Fr. Et. And., IX, n° 1-2, p. 1-3.
- SCHMUCKER, U., 1969, Conductivity anomalies, with special reference to the Andes: The Application of Modern Physics to the Earth and Planetary Interiors, ed. S.K. Runcorn, Wiley-Interscience, New York.
- SCHMUCKER, U., FORDOSH, S.E., HARTMANN, O., GIESECKE, A.A., Jr., CASAVARDE, M., CASTILLO, J., SALGUEIRO, R., et DEL POZO, S., 1966, Electrical conductivity anomaly under the Andes: Carnegie Inst. Washington Year Book, v. 65, 11-28.
- SILLITOE, R.H., MORITZER, C., CLARK, A.H., 1972, Relation of metal provinces in western America to subduction of oceanic lithosphere: Geol. Soc. Amer. Bull., 83, 813-818.
- SNOKE, J.A., SACKS, I.S., OKADA, H., 1974, A model not requiring continuous lithosphere for anomalous high-frequency arrivals from deep-focus south-american earthquakes: Physics of the Earth and Planetary Interiors, 9, 199-206.
- SNOKE, J.A., SACKS, I.S., et OKADA, H., 1977, Determination of the subducted lithosphere boundary by use of converted phases: Bull. Seis. Soc. Amer., v. 67, no. 4, 1051-1060.
- SNOKE, J.A., SACKS, I.S., JAMES, D.E., 1979, Subduction beneath western South America: evidence from converted phases: Geoph. Jour. Roy. Astr. Soc., v. 59, 219-225.
- STAUDER, M., 1973, Mechanism and spatial distribution of Chilean earthquakes with relation to subduction of the oceanic plate: Jour. Geoph. Res., v. 78, 5033-5061.
- STAUDER, M., 1975, Subduction of the Nazca Plate under Peru as evidenced by focal mechanisms and by seismicity: Jour. Geoph. Res., v. 80, 1053-1064.
- SUAREZ, G., MOLNAR, P., BURCHFIELD, B.C., 1982, Seismicity, fault plane solutions, depth of faulting and active tectonics of the central Andes: submitted to Jour. Geoph. Res.
- WILL, M., 1976, Calculation of travel times and ray paths for latera inhomogeneous media: Explosion Seismology in Central Europe: data and results, Gliese, P. et al., édit., Berlin, 168-177.
- MORTEL, M.J.R., et VLAR, N.J., 1978, Age-dependant subduction of oceanic lithosphere beneath western South America: Physics of Earth and Planetary Interiors, v. 17, 201-208.

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le 10 février 1983

Le Président de la thèse



Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le

Le Président de l'Université Scientifique et Médicale



M. Tanche
Le Président

M. TANCHE