



HAL
open science

Le tremblement de terre d'El Asnam du 10 octobre 1980 : étude des répliques. Algérie

Merzouk Ouyed

► **To cite this version:**

Merzouk Ouyed. Le tremblement de terre d'El Asnam du 10 octobre 1980 : étude des répliques. Algérie. Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1981. Français. NNT : . tel-00586288

HAL Id: tel-00586288

<https://theses.hal.science/tel-00586288>

Submitted on 15 Apr 2011

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 grade de

DOCTEUR DE 3^e CYCLE

Spécialité : PHYSIQUE
Mention : GEOPHYSIQUE

par

Merzouk OUYED

S U J E T

**Le tremblement de terre d'El Asnam
du 10 octobre 1980.
Etude des répliques.**

Soutenu le 18 Décembre 1981 devant la Commission d'Examen

M. G. PERRIER	Président
M. D. HATZFELD	Rapporteur
M. H. BENHALLOU	
M. R. GAULON	Examineurs
M. P. VIALON	

T A B L E D E S M A T I E R E S

Remerciements	1
Introduction	3
Chapitre I : Cadre géodynamique et sismicité historique	5
I.1. Cadre géodynamique	7
I.2. Sismicité historique	9
I.3. Le séisme d'El Asnam du 9 septembre 1954	19
Chapitre II : Le séisme du 10 octobre 1980 et ses principales répliques	27
II.1. Coordonnées de l'épicentre, magnitude, moment sismique	29
II.2. Le mécanisme au foyer	31
II.3. Les répliques principales	33
Chapitre III : Les effets du séisme sur le terrain	43
III.1. Etude macrosismique	45
III.2. Les déformations de surface	51
Chapitre IV : La campagne d'enregistrement des répliques.	
Acquisition des données	61
IV.1. Intervention sur le terrain	63
IV.2. Matériel utilisé et choix des sites	67
IV.3. Les différentes sources de données sismologiques	68
Chapitre V : Localisation des séismes	71
V.1. Description du programme	73
V.2. Choix du modèle de vitesse	75
V.3. Estimation des erreurs	81
V.4. Calcul de la magnitude	94

Chapitre VI : Variation spatio-temporelle de la sismicité	95
VI.1. Répartition spatiale des épicentres	97
VI.2. Répartition des foyers en profondeur	105
VI.3. Variation temporelle de la sismicité	121
VI.4. Distribution des magnitudes	127
Chapitre VII : Les mécanismes au foyer des répliques	133
VII.1. Méthode	135
VII.2. Le problème de la précision des paramètres des mécanismes au foyer	137
VII.3. Les résultats	147
VII.4. Direction et nature des contraintes déduites des solutions focales	177
VII.5. Les résultats principaux des mécanismes au foyer	187
Conclusion	197
Annexe I : Etude de microsismicité en Algérie du nord	203
Annexe II : Liste des répliques localisées dans la région d'El Asnam entre le 15 octobre et le 16 novembre 1980	213
Bibliographie	221

REMERCIEMENTS

Au terme de ce mémoire, j'ai le plaisir de remercier G. Perrier, Directeur du laboratoire de Géophysique Interne de Grenoble pour m'avoir permis de travailler dans de bonnes conditions et pour avoir bien voulu accepter de présider ce jury.

J'exprime toute ma gratitude à H. Benhallou, Directeur du Centre National d'Astronomie d'Astrophysique et de Géophysique (Alger), R. Gaulon, D. Hatzfeld et P. Vialon, Directeur de l'Institut de Recherches Interdisciplinaires de Géologie et de Mécanique (Grenoble) qui me font l'honneur de faire partie de ce jury.

Cette étude a été possible grâce à l'importante quantité de données dont j'ai disposée et qui a nécessité une large collaboration. A ce sujet, je tiens à remercier tous ceux qui ont participé à la collecte de données sismologiques et plus particulièrement : A. Cisternas, J. Dorel, C. Antenor Habazac, J.C. Lépine, Mme N. Girardin, D. Hatzfeld, J. Fréchet, G. Poupinet, P.Y. Bard, M. Bouchon et M. Frogneux. Je remercie également M. Meghraoui et H. Philip pour les documents qu'ils m'ont communiqués (carte des déformations de surface et de néotectonique).

Mes remerciements s'adressent aussi à D. Bensari, Directeur du Centre National de la Coordination et de la Planification de la Recherche Scientifique (Maroc) qui a bien voulu nous prêter les stations sismologiques (enregistrement graphique) du Service de Physique du Globe de Rabat qui ont servi durant l'expérience, M. H. Ferrieux (Commissariat à l'Energie Atomique, France) qui m'a communiqué les données des enregistrements magnétiques des stations du C.E.A., M. G. Mohammadioun qui a effectué le dépouillement de ces sismogrammes (C.E.A.) et G.C.P. King qui m'a transmis les sismogrammes des stations sismologiques de l'Université de Cambridge.

D. Hatzfeld et J. Fréchet ont contribué à ce travail par les discussions très fructueuses que j'ai eues avec eux sur les différentes questions soulevées dans ce mémoire.

Enfin, je n'oublierai pas de remercier Nounour et Sylvie que j'ai peut-être beaucoup ennuyés avec "ma sismologie" mais qui m'ont quand même donné un "sacré coup de main" pour la dernière mise au point de cet ouvrage.

A tous merci...

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

Le séisme d'El Asnam du 10 octobre 1980 a fait l'objet de plusieurs publications (M. Ouyed et al., 1981 ; G.C.P. King et al., 1981 ; G. Yielding et al., 1981 ; P. Hong Trong, 1981 ; A. Cisternas et al., 1981) et de communications au Congrès de Strasbourg (E.U.G.) du 13 au 16 avril 1981 et au Congrès d'Alger du 15 et 16 juin 1981 qui lui a été entièrement consacré.

Dans ce mémoire, nous présentons les résultats obtenus à partir de l'analyse de 500 répliques et de plus de 80 solutions focales individuelles. Ces séismes qui se sont produits dans la région d'El Asnam entre le 15 octobre et le 16 novembre 1980 ont été inscrits pour la plupart (93 %) par plus de 10 stations sismologiques (le nombre total d'enregistreurs étant de 25).

Avant d'aborder l'étude des répliques (variation spatio-temporelle de la sismicité, chapitre VI ; mécanismes au foyer, chapitre VII), nous faisons une présentation de la géodynamique en Méditerranée ainsi que de la sismicité historique de l'Algérie (chapitre I). Le séisme d'El Asnam du 9 septembre 1954 est également étudié dans ce chapitre (I).

Les deuxième et troisième chapitres sont consacrés à l'étude du séisme du 10 octobre 1980 ; localisation (localisation télé-sismique, relocalisation), mécanisme au foyer, répartition spatiale des répliques principales calculées par le C.S.E.M. et l'U.S.G.S. (chapitre II), étude macrosismique, déformations de surface (chapitre III).

L'intervention sur le terrain (faite le lendemain du tremblement de terre) est décrite dans le chapitre IV.

Nous exposons dans le chapitre V la méthode de localisation des foyers des répliques ainsi que les problèmes inhérents à cette méthode. Plusieurs tests sont effectués pour le choix du modèle de vitesse, et nous discutons la précision des résultats obtenus.

Enfin, nous étudions en détail la répartition spatio-temporelle de la sismicité (chapitre VI), ainsi que les relations qui peuvent exister entre les solutions focales obtenues et la sismicité, les ruptures de surface, les études de néotectonique (chapitre VII).

En annexe (annexe 1), nous présentons les résultats de trois campagnes de microsismicité effectuées en Algérie (El Asnam, Sétif, Blida) en novembre et décembre 1979, soit un an avant le tremblement de terre du 10 octobre 1980.

CHAPITRE I

CADRE GEODYNAMIQUE ET
SISMICITE HISTORIQUE

I.1. CADRE GEODYNAMIQUE

I.2. SISMICITE HISTORIQUE

I.2.1. Les sources

I.2.2. Sismicité ancienne

I.2.3. Séismes instrumentaux

I.2.4. Principaux séismes algériens

I.3. LE SEISME D'EL ASNAM DU 9 SEPTEMBRE 1954

I.3.1. Les effets sur le terrain

I.3.2. Le mécanisme au foyer

I.3.3. La répartition spatiale des répliques

I.1. CADRE GEODYNAMIQUE

La théorie de la tectonique des plaques admise par un grand nombre de scientifiques en 1968, considère l'existence de plaques lithosphériques en mouvement les unes par rapport aux autres.

En ce qui concerne la Méditerranée, plusieurs auteurs ont tenté de reconstituer l'histoire du mouvement de ces plaques qui étaient soudées au trias en un supercontinent (Pangea) bordé à l'est par une vaste étendue marine appelée la téthys. La position initiale de l'Europe, l'Afrique et l'Amérique du nord avant l'ouverture de l'océan atlantique nord, à une époque correspondant au lias (180 Ma) est représentée sur la figure I.1 (Biju Duval et al., 1976). Pour P. Tapponnier (1977), la position initiale de l'Afrique est 200 à 300 km plus au sud, afin de permettre un raccourcissement intracontinental du même ordre au niveau de l'Atlas, du Rif, des Bétiques, de la chaîne Ibérique et des Pyrénées.

Nous présentons ici deux modèles du mouvement relatif de l'Afrique par rapport à l'Eurasie. Le premier (Biju Duval et al., 1976) est représenté sur la figure I.2 et diffère du modèle de P. Tapponnier (1977, figure I.3) par l'existence d'un mouvement dextre entre 72 et 48 MA.

D'autre part, le mouvement actuel est décrit comme étant une rotation de l'Afrique autour d'un axe (pôle de rotation) dont les coordonnées sont données dans le tableau I.A.

TABLEAU I.A. COORDONNEES DES AXES DE ROTATION DE L'AFRIQUE PAR RAPPORT A L'EUROPE

Auteur	Année	Lat N	Long W	Vitesse (°/an)
Mc Kenzie	1972	22,7°	28,2°	$2,73 \cdot 10^{-7}$
Minster et al.	1974	29,6°	25,7°	$1,40 \cdot 10^{-7}$
Minster et al.	1978	25,23°	21,19°	$1,04 \cdot 10^{-7}$

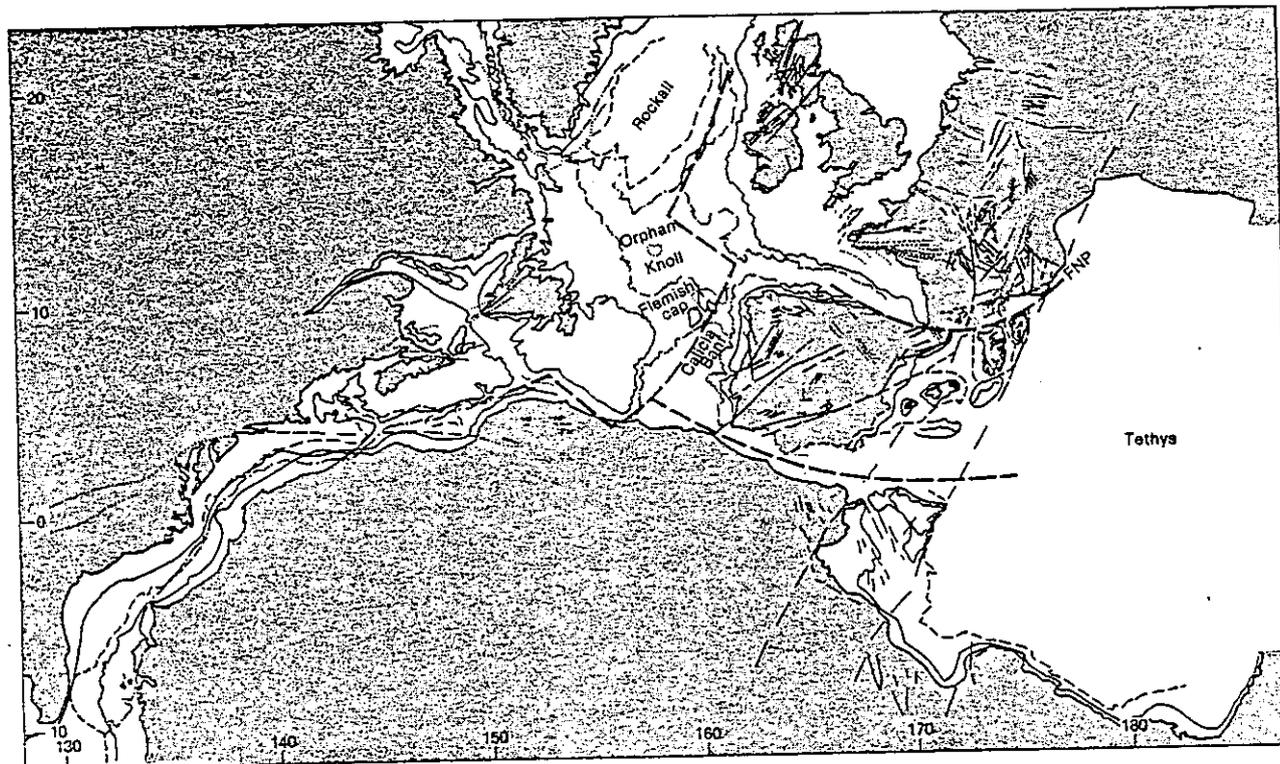


Figure I.1. Position initiale des continents, d'après Biju Duval et al. (1976).

Le rapprochement des plaques Afrique et Eurasie décrit par les figures I.2 et I.3 est confirmé par les études de néotectonique qui ont montré que les déformations quaternaires sont essentiellement compressives avec une direction de raccourcissement NNW-SSE (Groupe de recherche néotectonique de l'arc de Gibraltar, 1977).

Certains auteurs représentent la limite entre les plaques "Afrique" et "Eurasie" par un tracé rectiligne dans le prolongement de la ligne Açores-Gibraltar et passant par l'Afrique du nord, le sud de la Sicile, la Grèce et la mer Caspienne (Mc Kenzie, 1972). D'autres (Groupe de recherche néotectonique de l'arc de Gibraltar, 1977) considèrent que la néotectonique ne saurait justifier l'adoption d'un tel modèle et se prononcent en faveur d'une collision continentale.

Dans ce cas (collision continentale), les blocs ne sont plus indéformables, et le concept du poinçonnement rigide-plastique (P. Tapponnier, 1976) peut expliquer l'histoire de la zone méditerranéenne et alpine.

D'autre part, il faut souligner que la sismicité enregistrée en Afrique du nord jalonne l'Atlas Tellien, alors que la limite du domaine continental qui correspond à la bordure du bassin de la Méditerranée occidentale (isobathe 2000 m) se trouve plus au nord.

I.2. SISMICITE HISTORIQUE

Pour l'Algérie du nord, plusieurs ouvrages et catalogues traitant de la sismicité ont été élaborés à partir du milieu du 19^e siècle. Ils concernent pour la plupart les événements sismiques postérieurs à 1715.

I.2.1. Les sources

Elles peuvent se diviser en deux catégories : les documents de base et les documents de synthèse. A ce sujet, J.P. Rothé (1950) donne une bibliographie détaillée pour les ouvrages antérieurs à 1950.

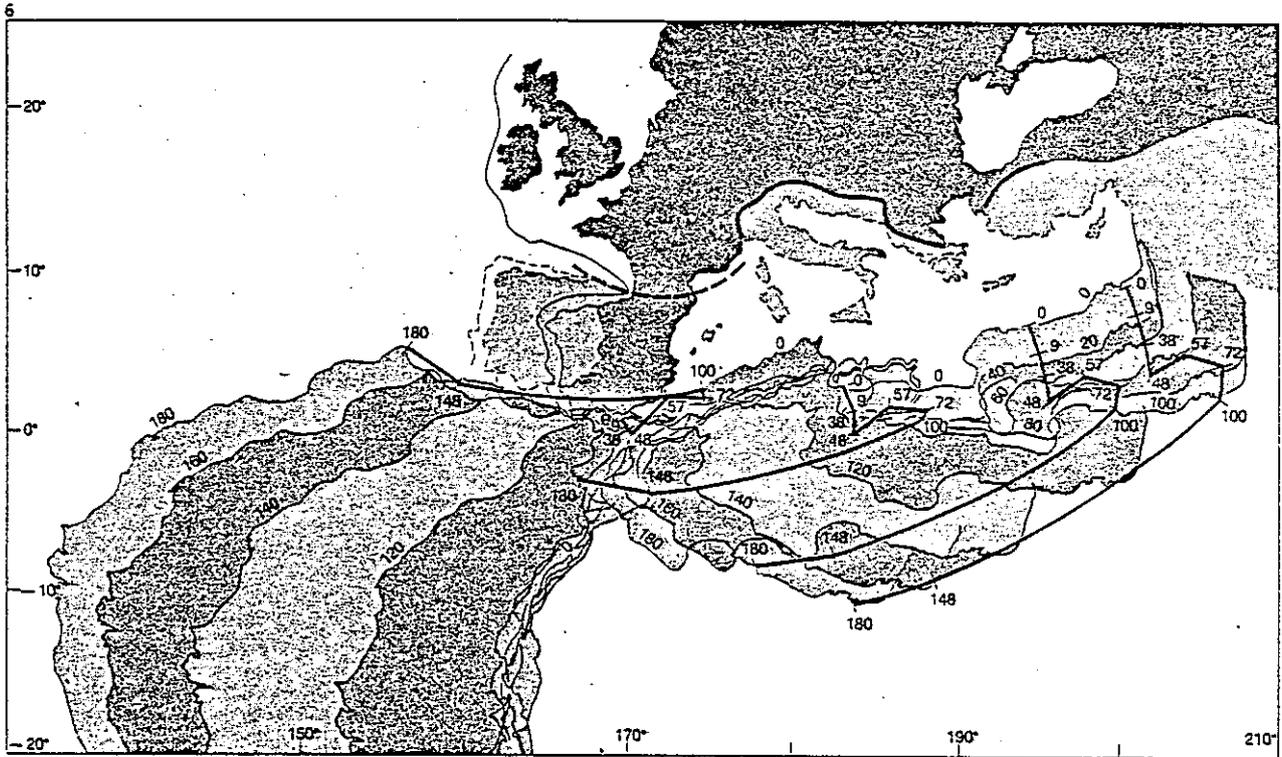


Figure I.2. Mouvement relatif de l'Afrique et de l'Ibérie par rapport à l'Europe (Biju Duval et al., 1976).

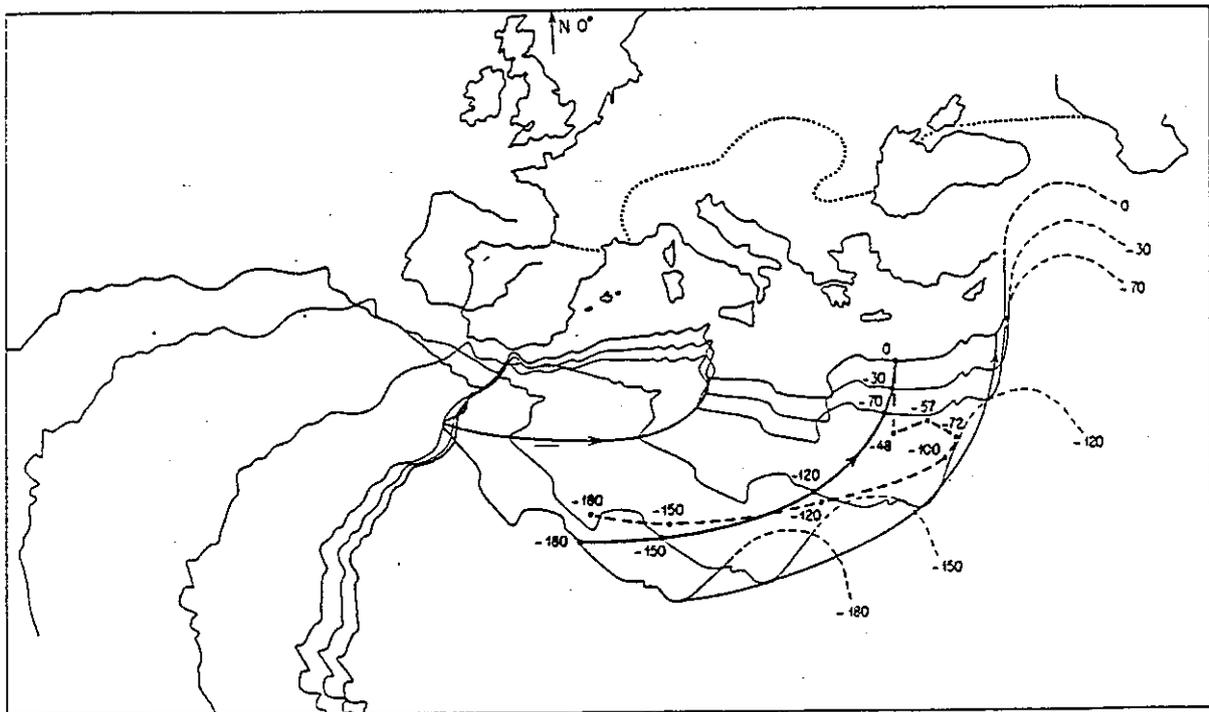


Figure I.3. Mouvement relatif de l'Afrique par rapport à l'Europe (P. Tapponnier, 1977).

a) Les documents de base

Il s'agit de catalogues qui ont été élaborés à partir de documents divers (lettres, nouvelles, rapports, presse, etc...). Parmi ces catalogues, nous pouvons citer principalement :

- A. Perrey (1847), Note sur les tremblements de terre en Algérie et dans l'Afrique septentrionale. Ce catalogue contient des renseignements assez sommaires sur la période 1715-1846.
- A. Hée (1933), Séismes algériens de 1911 à 1932. Les séismes sont rattachés à des régions délimitées par des quadrilatères sphériques.
- A. Hée, Les tremblements de terre en Algérie. Il s'agit de tableaux annuels publiés aux annales de physique du Globe de Strasbourg pour la période 1919-1939.
- A. Hée (1950), Catalogue des séismes algériens de 1850 à 1911. Nous trouvons la même disposition que pour le Catalogue publié en 1933.
- A. Grandjean (1954), Séismes d'Algérie de 1940 à 1950 inclus.
- H. Benhallou et J. Roussel (1971), Sur la sismicité de l'Algérie de 1951 à 1970. Les épacentres sont déterminés soit instrumentalement, soit par des études macrosismiques. Les cartes d'isoséistes pour les secousses les plus fortes sont également présentées.
- A. Benaïssa (1975), Catalogue des séismes algériens de 1971 à 1975. Nous y trouvons également les cartes d'isoséistes pour les secousses importantes.

b) Les documents de synthèse

Il en existe essentiellement trois :

- J.P. Rothé (1950), Les séismes de Kherrata et la sismicité de l'Algérie. Ce catalogue est relatif à la période 1716-1950. Les remarques importantes que l'on peut trouver dans la littérature y sont mentionnées.

- J. Roussel (1971), Les zones actives et la fréquence des séismes en Algérie (1716-1970). Nous y trouvons une carte de sismicité et des intensités maximales ressenties pour la période en question.
- C.P. Mortgat et H.C. Shah (1978), seismic hazard analysis of Algeria. On y trouve les cartes de risque sismique exprimé en termes d'accélération probable pour une période de temps donnée.

I.2.2. Sismicité ancienne

Le premier tremblement de terre connu en Algérie du nord est celui qui a détruit la ville d'Alger le 3 février 1716. Les effets de ce séisme sont décrits par F. Comelin et al. dans leur ouvrage publié en 1731.

La sismicité antérieure à 1715 est très mal connue. En effet, le seul ouvrage connu et qui traite de cette question est celui de Jalal Ad-Din As-Suyut'i traduit de l'arabe par Saïd Nejjar (1973-1974). Plusieurs autres ouvrages qui ont servi de base à l'auteur n'ont pas été retrouvés.

Dans son ouvrage intitulé "Kashf aç-Calçala 'an Waçf az-Zalzala" (traité du tremblement de terre), l'auteur, Jalal Ad-Din As-Suyut'i (1445-1505) a établi un essai sur les séismes à partir de documents plus anciens. Ce sont surtout les tremblements de terre qui se sont produits au Proche-Orient (Egypte, Lyban, Syrie) qui y sont décrits.

Cependant, un certain nombre de séismes sont signalés en Afrique du nord, mais aucune précision n'est donnée à ce sujet. Les dates suivantes sont indiquées : août 846, août 847, 2 juin 854, 21 mai 855. Des séismes très violents sont signalés en Afrique du nord orientale les 3 et 31 décembre 856. Enfin, on indique que des séismes ont atteint la ville de Ceuta (sur le détroit de Gibraltar) le 10 septembre 1203 et le 28 août 1204.

I.2.3. Séismes instrumentaux

La première station sismologique a été installée à Bouzaréah, près d'Alger en 1908. Actuellement, le réseau algérien est composé de sept stations sismologiques qui sont :

- Alger-Bouzaréah (ABA), Sétif (SET) et Relizane (REL) qui sont des stations courte période à trois composantes.
- Tlemcen (TEC) et Oued-Fodda (ODF) qui sont des stations courte période à une seule composante (verticale).
- Béni-Abbès (BAB), station longue période.
- Tammanrasset (TAM) située au sud et qui comporte trois composantes courte et moyenne période.

L'emplacement de ces différentes stations est indiqué sur la figure I.4.

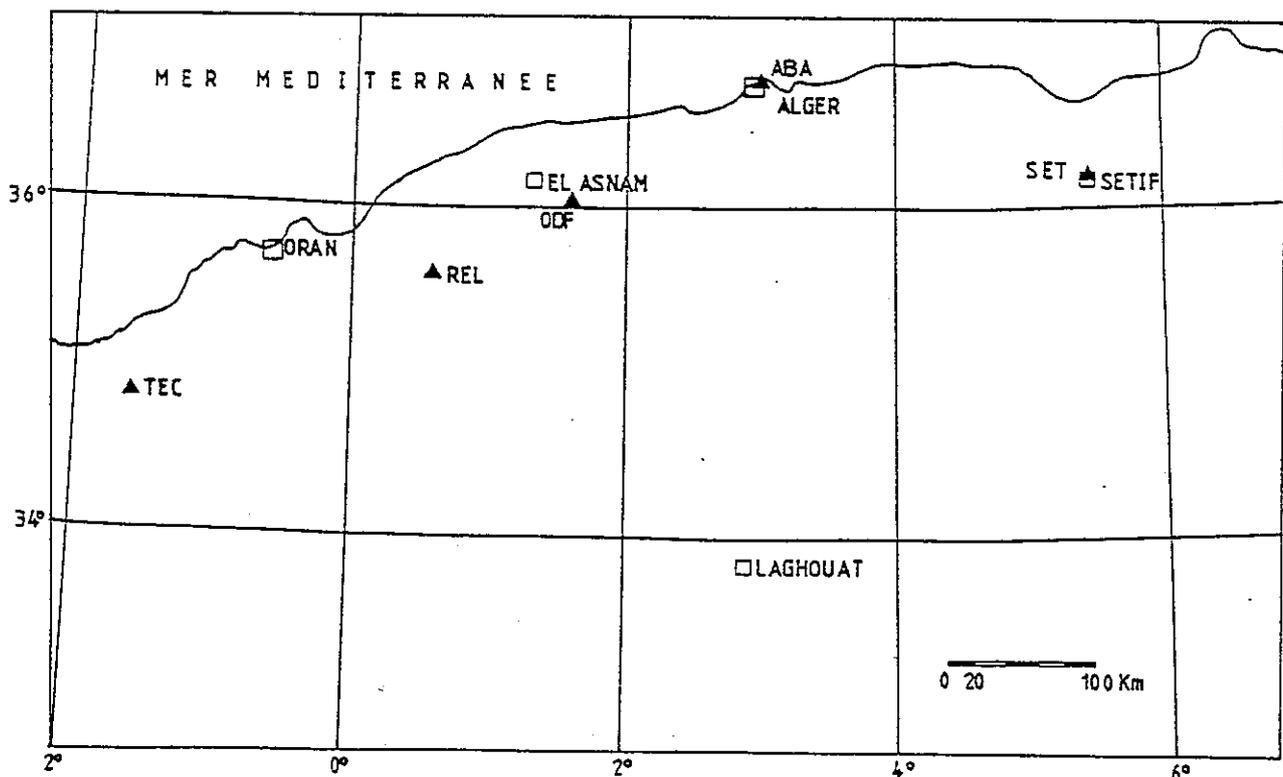


Figure I.4. Emplacement (triangles noirs) des stations sismologiques algériennes.

Cependant, le nombre insuffisant de stations sismologiques ne permet pas des localisations fiables d'épicentres, et celles effectuées par l'I.S.S. (International Seismological Summary), avant 1960, sont quelquefois très éloignées de l'épicentre macro-sismique (plus de 100 km d'écart).

Toutefois, la précision des déterminations instrumentales d'épicentres a été sensiblement améliorée après l'installation du réseau de stations sismologiques WSSN (World-Wide Standard Seismograph Network) en 1960 (K. Aki et al., 1980). Après le fonctionnement de l'ensemble du réseau mondial en 1966, on estime les erreurs de localisation des séismes algériens à 10 km environ.

I.2.4. Principaux séismes algériens

Plus de 500 événements sismiques ont été catalogués pour la période 1790-1975. La carte de sismicité (figure I.6) la plus récente a été établie pour cette période en 1978 (C.P. Mortgat et H.C. Shah). Elle montre clairement que la région d'El-Asnam est sismiquement la plus dangereuse comme le souligne d'ailleurs le graphe (figure I.5)

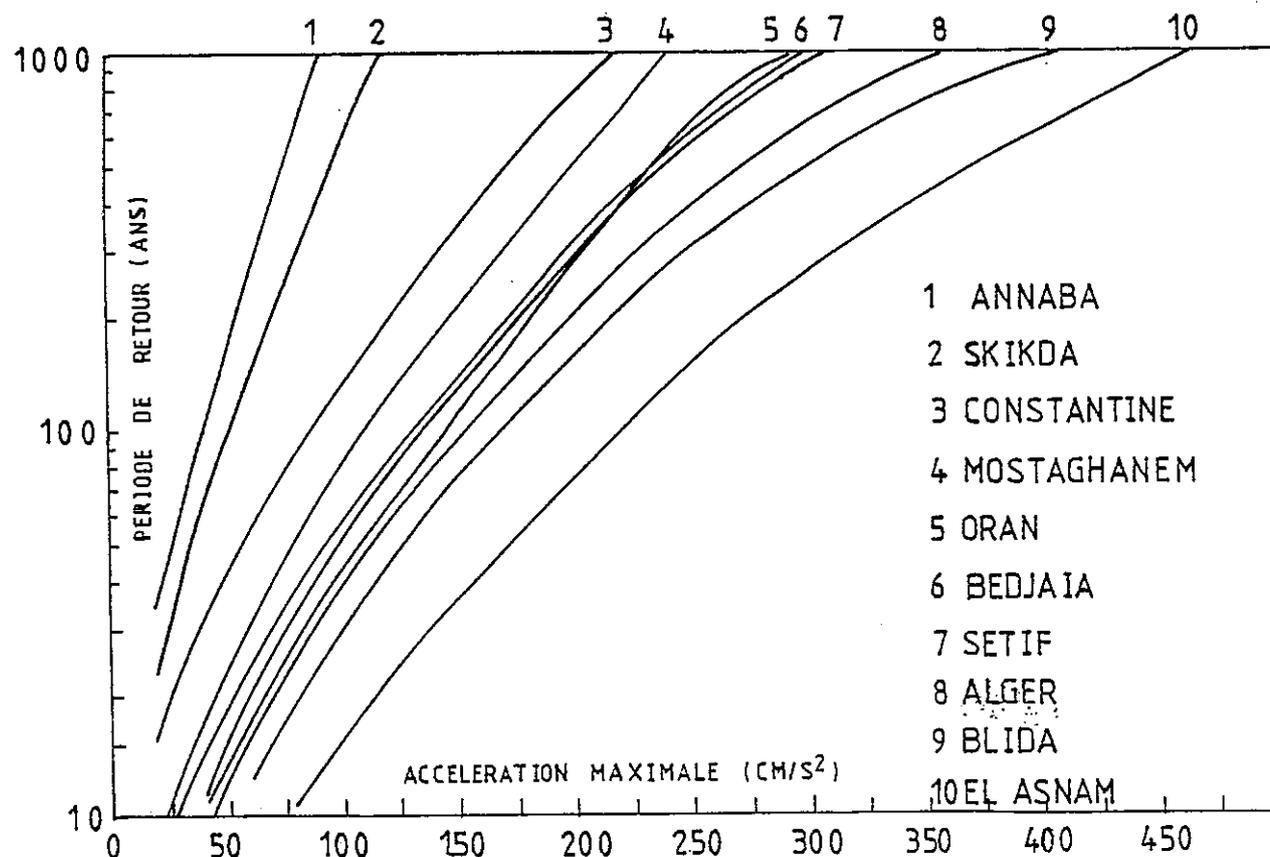
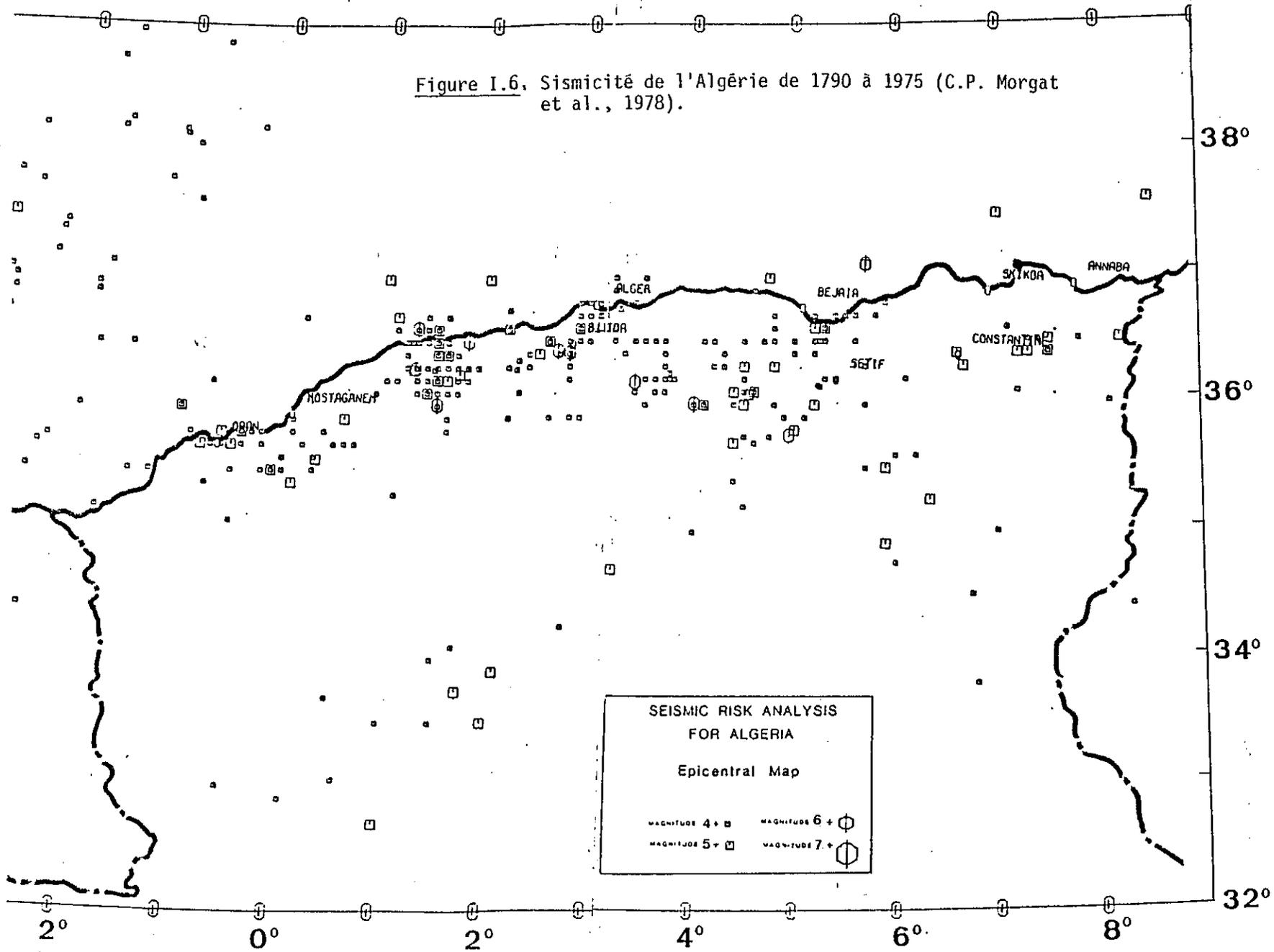


Figure I.5. Le risque sismique pour différentes régions d'Algérie d'après C.P. Mortgat et al. (1978). On peut noter le risque relativement élevé dans la région d'El Asnam.

Figure I.6. Sismicité de l'Algérie de 1790 à 1975 (C.P. Morgat et al., 1978).



représentant la période de retour d'une accélération donnée pour différentes régions d'Algérie du nord.

Nous nous intéressons ici aux tremblements de terre les plus meurtriers qui se sont produits en Algérie. Nous reportons les différents commentaires faits dans la littérature.

- 3 février 1716, à 2 h. Epicentre exact inconnu. Plusieurs maisons s'écroulèrent à Alger, beaucoup furent endommagées. Le séisme a été suivi de plusieurs répliques. De violents tremblements de terre eurent lieu en mai et juin 1716. Ce séisme fut également destructeur à Blida. Plus de 20 000 victimes. L'épicentre se situerait dans l'atlas blidéen (J.P. Rothé, 1950).
- 9 octobre 1790, à 1 h. Coordonnées probables ; 35,7°N, 0,7°W. D'après Chesneau, ce fut le séisme le plus désastreux qu'ait jamais subi l'Algérie. L'ancienne ville d'Oran était entièrement détruite. Près de 3 000 victimes. Séisme ressenti sur les côtes d'Espagne et à Malte (d'après Mercalli). Le foyer du séisme était probablement sous-marin et au voisinage même d'Oran (Rothé, 1950).
- 2 mars 1825, à 7 h. 36,4°N, 2,8°E. 7 000 victimes environ à Blida et dans les villages voisins. Il a été suivi de plusieurs répliques. Quelques heures avant le séisme, tous les puits et toutes les sources de Blida et des environs avaient été taris (Rothé, 1950).
- 21 et 22 août 1856. 37,1°N, 5,7°E. Son foyer se situe probablement en mer. Il a été suivi d'un raz-de-marée. La première secousse eut lieu le 21 août vers 22 h et la seconde très violente le 22 août à 11 h 50 mn, de nombreuses répliques suivirent. A Bedjaïa, les fontaines qui étaient presque taris donnèrent de l'eau en abondance. L'Oued Sahel presque à sec se mit à débiter un volume d'eau considérable (Rothé, 1950).
- 2 janvier 1867, à 7 h 13 mn. 36,4°N, 2,7°E. Plusieurs dizaines de morts et des centaines de blessés à Mouzaïville, la Chiffa et à El-Affroun. Les habitants des versants du Nador et des contreforts du petit Atlas étaient inquiets depuis le 1er janvier au matin, observant que les sources tarissaient à vue d'oeil au point que le soir ils n'avaient plus d'eau pour leur consommation. Le tremblement de terre a été suivi de plusieurs répliques.
- 16 novembre 1869, à 12 h 45 mn. 34,9°N, 5,9°E. L'épicentre se situe dans l'Atlas Saharien où la sismicité est très faible. 30 morts et un grand nombre de blessés à Biskra

et dans les environs. Plusieurs répliques furent ressenties jusqu'au 28 novembre (Rothé, 1950).

- 29 novembre 1887, à 13 h 30 mn. 35,6°E, 0,3°E. 20 personnes périrent écrasées (Rothé, 1950).
- 15 janvier 1891, vers 4 h. 36,5°N, 1,8°E. 40 victimes (Roussel, 1973). Une autre secousse assez forte eut lieu le 16 janvier à 2 h 15 mn. Elle fut ressentie dans le Djurdjura et à Kherrata. Il s'agit sans doute d'un foyer tout à fait distinct de celui du 15 janvier (Rothé, 1950).
- 24 juin 1910, à 13 h 25 mn 56 s. 36,2°N, 3,4°E. Importants dégâts à Masqueray, Tablat et Aumale. La magnitude donnée par Gutenberg et Richter est de 6.4 (Rothé, 1950).
- 25 août 1922, à 11 h 47 mn. 36,3°N, 1,3°E. Séisme destructeur à Bordj Abou El Hassan (ex. Cavaignac). Ce tremblement de terre aurait été provoqué par le jeu d'une faille de direction NE-SW entre Bordj Abou El Hassan et Ténès (Brives, A., Dalloni, M., 1922).
- 16 mars 1924, à 10 h 17 mn. 35,5°N, 5,9°E. La secousse a intéressé l'extrémité orientale de l'Atlas saharien et provoqué des dégâts à l'ouest de Batna.
- 24 août 1928, à 9 h 44 mn. 35,9°N, 0,6°E. 4 personnes périrent sous les ruines. De nombreuses sources sont apparues sur la rive droite du Chelif (Rothé, 1950).
- 7 septembre 1934, à 3 h 39 mn. 36,25°N, 1,7°E. Séisme destructeur à El-Abadia, El-Attaf où l'intensité ressentie était de IX. Depuis le mois de juillet, l'activité sismique s'est manifestée avec force dans la région où l'on compte 9 secousses que l'on peut qualifier de prémonitoires. Un observateur note que la veille, une secousse avait été si forte que par précaution il s'était couché en plein air (A. Hée, 1934). Il a également été noté par Mme A. Hée des détériorations de route à El-Abadia (ex. Carnot) et des glissements de terrain dans la montagne. D'autre part, les isoséistes (A. Hée, 1934) sont très allongées dans la direction NE-SW.
- 10 février 1937, à 18 h 16 mn. 36,4°N, 7,5°E. Séisme destructeur dans la région de Guelma. L'intensité maximale ressentie sur l'échelle internationale était de IX (A. Hée, 1937). A Hammam-Meskhoutine, les sources thermales ont eu leur débit augmenté (Rothé, 1950).

- 16 avril 1943, à 11 h 43 mn. 36,1°N, 3,55°E. L'épicentre se trouve dans le massif des Bibans où la secousse a causé dégâts et victimes. Plusieurs répliques ont été signalées (Rothé, 1950).
- 12 février 1946, à 2 h 43 mn. 35,75°N, 4,95°E. L'intensité maximale ressentie était de VIII, mais le séisme a provoqué la mort de 264 personnes, et 112 blessés. C'est probablement parce que le séisme s'est produit pendant la nuit.
- 6 août 1947, à 9 h 46 mn. 36,3°N, 6,7°E. L'épicentre se situe au SE de la ville de Constantine. L'intensité maximale ressentie était de IX. Il y eut 3 morts et plusieurs blessés. Le régime des eaux a été perturbé : l'eau de la piscine de Constantine est devenue rougeâtre et boueuse ; le débit et la température de la source chaude dans les gorges du Rhummel ont augmenté (Rothé, 1950). Ce séisme a été suivi par de nombreuses répliques.
- 9 septembre 1954, à 1 h 4 mn 37 s. L'intensité de ce séisme était de X à XI dans la région épacentrale, sa magnitude est de 6.7. Ce tremblement de terre a fait 1243 morts et plus de 5 000 blessés. Ce séisme qui a été suivi de plusieurs répliques fera l'objet d'une étude détaillée au paragraphe suivant.
- 21 février 1960, à 8 h 13 mn 32 s. 36,0°N, 4,0°E. Ce séisme dont l'intensité maximale ressentie est de IX a fait 47 morts et plus d'une centaine de blessés. Sa magnitude est de 5.6.
- 1er janvier 1965, à 21 h 38 mn 32 s. 35,75°N, 4,95°E. Ce tremblement de terre s'est produit dans la région de M'Sila sur le flanc sud des monts du Hodna. Sa magnitude est de 5.5. Le bilan officiel des victimes est de 5 morts, 24 blessés et 25 000 personnes sans abri.
- 10 octobre 1980, à 12 h 25 mn. Région d'El-Asnam. Le bilan du séisme est désastreux : 5 000 morts, plusieurs milliers de blessés et 400 000 personnes sans abri. Une grande partie de ce mémoire lui est consacrée. Nous discuterons en détail l'ensemble des phénomènes liés à ce tremblement de terre.

I.3. LE SEISME D'EL-ASNAM DU 9 SEPTEMBRE 1954

La question que l'on peut se poser lorsqu'on étudie la sismicité d'une région est de savoir si les tremblements de terre qui s'y produisent peuvent être rattachés au même mécanisme de rupture.

Dans ce but, nous nous proposons d'étudier les trois aspects fondamentaux de ce séisme ; les effets sur le terrain, le mécanisme au foyer et la répartition spatiale des répliques. Les résultats obtenus seront comparés à ceux du grand tremblement de terre du 10 octobre 1980.

I.3.1. Les effets sur le terrain

Ce séisme fut le plus violent jamais enregistré en Algérie durant les cents dernières années (J.P. Rothé, 1955). Avec une magnitude de 6,7 et une intensité à l'épicentre de X (échelle Mercalli), le séisme a fait plus de 1 200 morts, 5 000 blessés et plusieurs dizaines de milliards de francs (anciens) de dégâts. Les intensités ressenties dans la région sont représentées sur la figure I.7 (H. Benhallou et J. Roussel, 1971). Nous voyons clairement que les isoséistes sont allongées dans la direction NE-SW.

L'épicentre défini d'après la carte des isoséistes (figure I.7) se situe à $36,28^{\circ}\text{N} - 1,47^{\circ}\text{E}$, dans les collines de Béni-Rached (J.P. Rothé, 1955) et l'épicentre instrumental a pour coordonnées $36,25^{\circ}\text{N}$ et $1,53^{\circ}\text{E}$ (D. McKenzie, 1972). On peut considérer que la précision des localisations est de l'ordre de 10 à 15 km.

La détermination absolue de l'épicentre a également été effectuée récemment par J. Dorel et G. Yielding et al. (1981) qui donnent respectivement : $36,22^{\circ}\text{N} - 1,57^{\circ}\text{E}$ et $36,355^{\circ}\text{N} - 1,509^{\circ}\text{E}$. L'écart maximum entre ces différentes positions de l'épicentre est de 15 km environ. Enfin, la profondeur du foyer (macrosismique) est estimée à 9 km (J.P. Rothé, 1977).

D'importantes déformations de surface ont été relevées à Béni-Rached et Sidi-Djillali. A Béni-Rached, les cassures ont l'allure d'un fer à cheval avec un affaissement de 2 à 3 mètres ; le glissement s'est fait dans la direction de la vallée du Chélif (vers le sud) (J.P. Rothé, 1955). La figure I.8 montre la cartographie des déformations de surface, d'après J.P. Rothé, 1955.

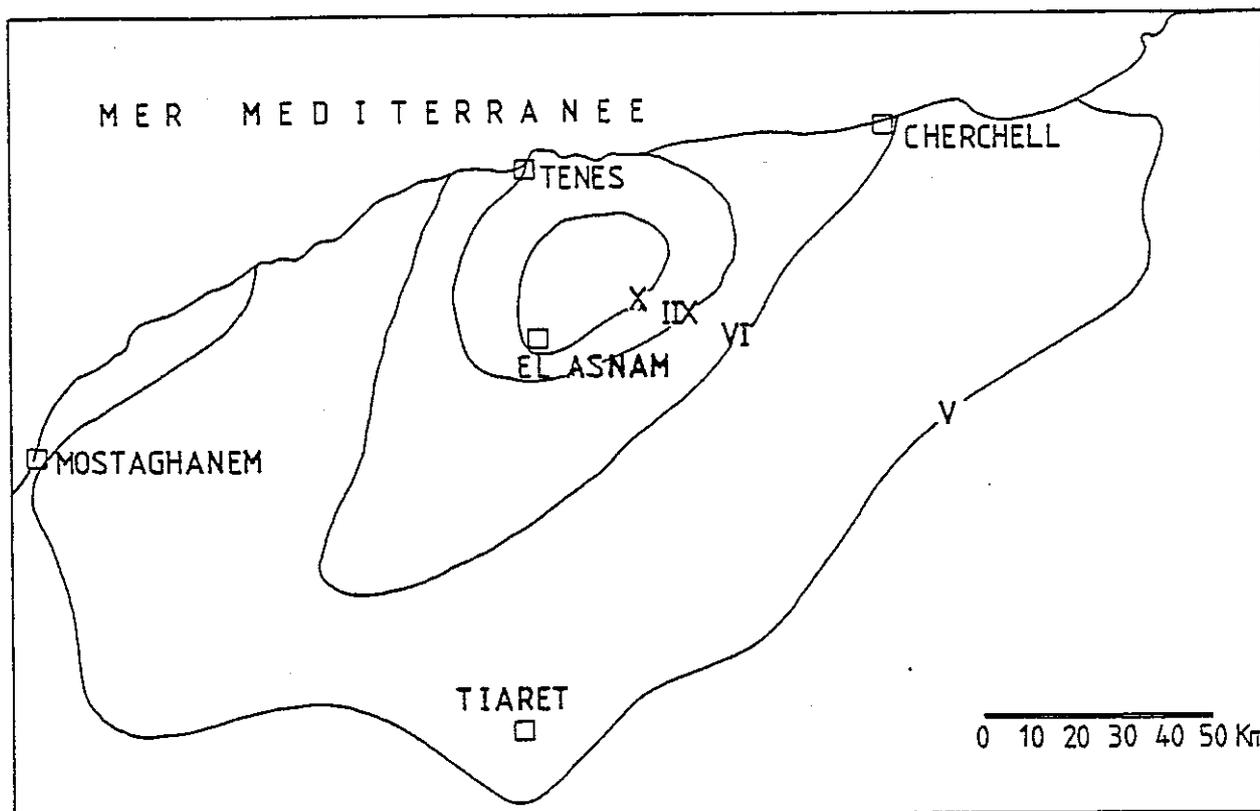


Figure I.7. Carte des intensités macrosismiques ressenties lors du séisme d'El Asnam du 9 septembre 1954 (H. Benhallou et al., 1971). Les lignes des isoséistes sont allongées dans la direction NE-SW. L'épicentre macrosismique se situe dans la région de Béni-Rached.

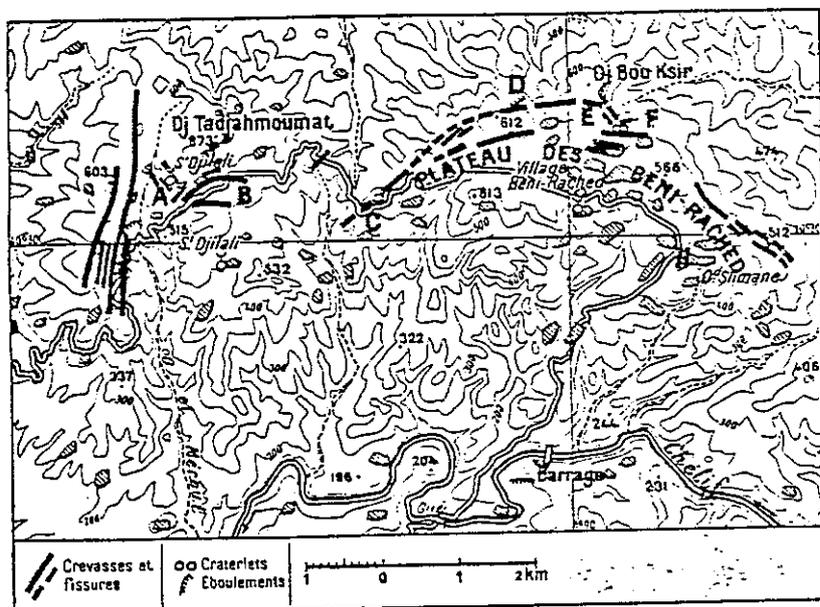


Figure I.8. Déformations de surface provoquées dans la région de Béni-Rached et de Sidi-Djilali par le séisme du 9 septembre 1954 (J.P. Rothé, 1955).

D'autre part, J. Thevenin (1955) signale des déboitements de joints qui unissent les divers éléments de conduites dans la galerie du "tronc commun" (barrage de Pontéba, à 5 km environ au sud de Béni-Rached) dans la direction N60°E ; ils ont été interprétés (J.P. Rothé, 1977) comme des signes de distension longitudinale. Dans d'autres secteurs, il est signalé des télescopages avec chevauchements et formation de bourrelets (J.P. Rothé, 1977), et ce, dans la même direction (N60°E).

D'autre part, la direction de compression NNW-SSE a été mise en évidence par la déformation subie par la galerie du "tronc commun" dont le profil circulaire est devenu elliptique (J.P. Rothé, 1977).

I.3.2. Le mécanisme au foyer

Deux solutions focales sont proposées pour ce tremblement de terre : la première par E.I. Shirokova (1967) et la seconde par D. McKenzie (1972). Ils donnent les paramètres suivants :

TABLEAU I.B. PARAMETRES DU MECANISME AU FOYER DU SEISME DU
9 SEPTEMBRE 1954.

Mécanisme	Plan 1		Plan 2		P		T	
	Az.	Pend.	Az.	Pend.	Az.	Pend.	Az.	Pend.
Shirokova	60°	45°NW	90°	50°S	165°	0°	80°	70°
McKenzie	74°	30°NW	86°	60°SE	170°	16°	20°	74°

Les plans nodaux, les axes P et T sont représentés en projection de Schmidt de l'hémisphère inférieur (figures I.9.a et b). Les deux solutions mettent en évidence un failage inverse avec un axe P très proche de l'horizontale et de direction sensiblement NNW-SSE. Cette direction est compatible avec celle relevée par J.P. Rothé (1977) dans la galerie du "tronc commun".

Le plan de faille devrait correspondre au plan nodal de pendage NW (Ouyed et al., 1981).

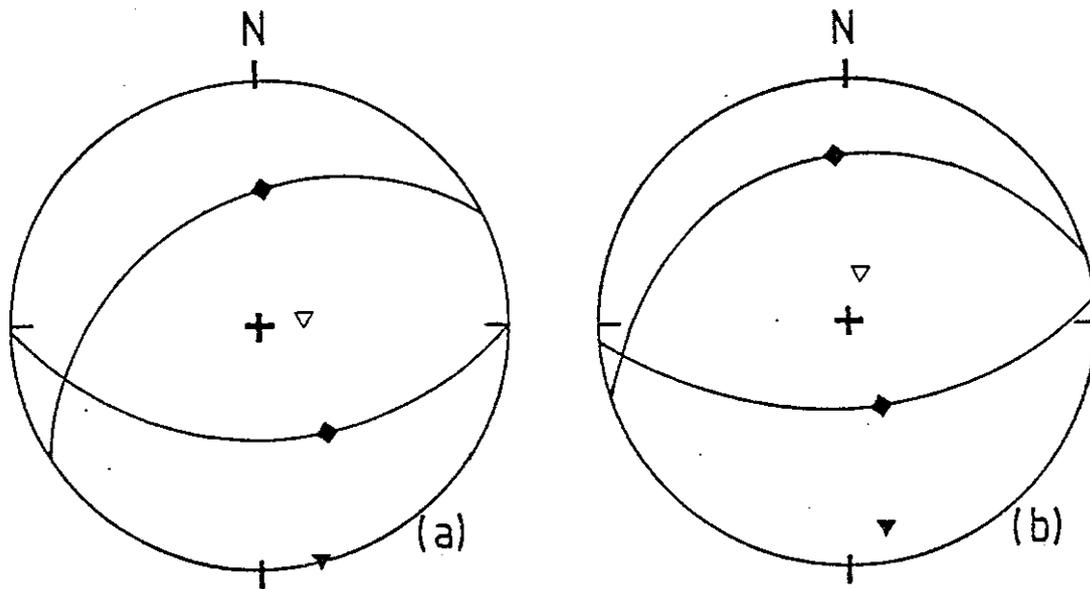


Figure I.9. Solutions focales obtenues pour le séisme du 9 septembre 1954 ; (a) : Shirokova (1967) ; (b) : D. McKenzie (1972). La projection de Schmidt de l'hémisphère inférieur est utilisée. Les triangles pleins et creux représentent les axes P et T. Les carrés pleins sont les pôles relatifs à chaque plan nodal.

I.3.3. La répartition spatiale des répliques

Le séisme du 9 septembre 1954 a été suivi par plusieurs répliques dont la plus forte de magnitude supérieure à 6.0 s'est produite 40 minutes environ après la secousse principale. La liste des répliques est donnée dans le tableau I.C.

La figure I.10 montre la position des séismes avec leurs numéros correspondants, ainsi que les déformations de surface provoquées par le séisme du 10 octobre 1980. Bien que la plupart des secousses se situent dans le compartiment nord délimité par la faille inverse (plongeant vers le NW), nous n'observons aucun alignement de direction privilégiée. Il est évident que la faible précision des déterminations ne nous permet pas de chercher une corrélation entre les ruptures de surface et la répartition spatiale des répliques.

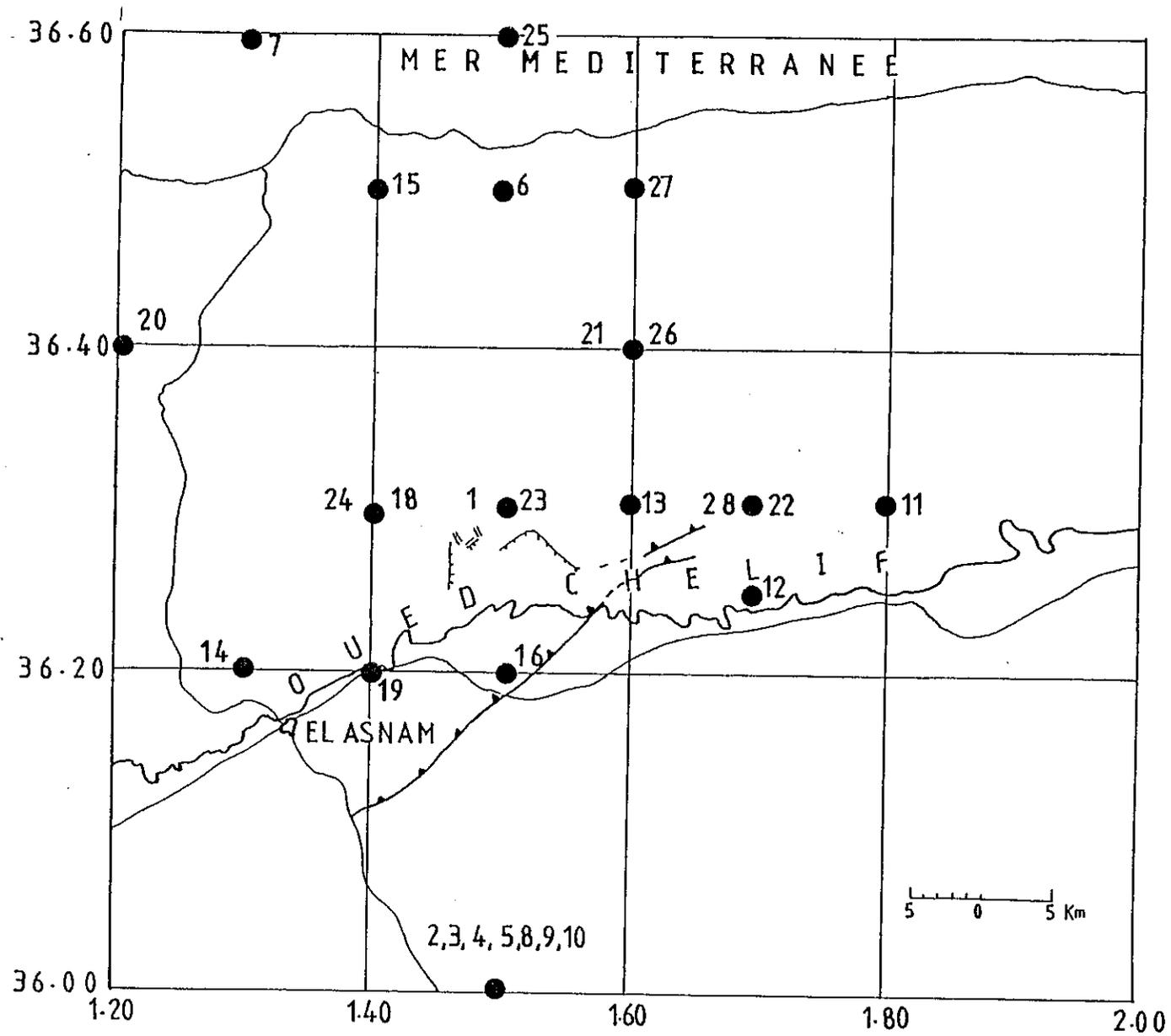


Figure I.10. Carte des répliques (cercles pleins) du séisme du 9 septembre 1954 (n° 1).
 Le numéro chronologique de chaque réplique ainsi que les déformations de surface
 causées par le séisme du 10 octobre 1980 figurent sur la carte.

TABLEAU I.C.

Liste des répliques du séisme d'El-Asnam
du 9 septembre 1954.

N°	DATE	HEURE			Coordonnées	M ou Classe	Observations
		h	mn	sec			
1	09.09.54	01	04	37	36.3°N - 1.5°E	6.7	séisme princ.
2	09.09.54	01	49	48	36.0°N - 1.5°E	6.3	det. macro.
3	09.09.54	02	52	24	36.0°N - 1.5°E	4.7	
4	09.09.54	04	14	07	36.0°N - 1.5°E	4.5	
5	09.09.54	05	05	02	36.0°N - 1.5°E	4.5	
6	09.09.54	09	28	42	36.5°N - 1.5°E	5.5	det. B.C.I.S.
7	10.09.54	05	44	05	36.6°N - 1.3°E	6.0	det. B.C.I.S.
8	16.09.54	06	07	05	36.0°N - 1.5°E	4.5	det. B.C.I.S.
9	16.09.54	22	18	17	36.0°N - 1.5°E	4.8	det. B.C.I.S.
10	17.09.54	12	02	34	36.0°N - 1.5°E	4.2	
11	10.10.54	06	01	50	36.3°N - 1.8°E	4.2	det. B.C.I.S.
12	12.10.54	19	23	29	36.25°N 1.7°E	4.5	det. B.C.I.S.
13	21.10.54	18	01	51	36.3°N - 1.6°E	4.2	det. B.C.I.S.
14	16.11.54	00	11	00	36.2°N - 1.3°E	4.4	det. macro.
15	17.11.54	12	44	07	36.5°N - 1.4°E	4.4	det. macro.
16	09.12.54	15	35	08	36.2°N - 1.5°E	f	det. macro.
17	01.01.55	21	43	04	35.9°N - 1.6°E	f	
18	03.01.55	07	05	09	36.5°N - 1.4°E	f	
19	12.01.55	20	59	05	36.2°N - 1.4°E	4.4	det. macro.
20	13.01.55	12	40	05	36.4°N - 1.2°E	4.4	det. B.C.I.S.
21	20.01.55	22	55	07	36.4°N - 1.6°E	4.4	det. macro.

22	26.01.55	16 01 07	36.3°N - 1.7°E	4.4	
23	04.02.55	05 12 02	36.3°N - 1.5°E	4.8.	det. macro.
24	09.02.55	02 46 01	36.3°N - 1.4°E	4.4	
25	08.05.55	21 39 01	36.6°N - 1.5°E	4.9	det. macro.
26	05.06.55	14. 56 12	36.4°N - 1.6°E	5.2	det. macro
27	08.06.55	14 53 07	36.5°N - 1.6°E	f	
28	09.06.55	20 54 03	36.3°N - 1.7°E	e	

CHAPITRE II

LE SEISME DU 10 OCTOBRE 1980
ET SES PRINCIPALES REPLIQUES

II.1. COORDONNEES DE L'EPICENTRE, MAGNITUDE, MOMENT SISMIQUE

II.2. LE MECANISME AU FOYER

II.3 LES REPLIQUES PRINCIPALES

II.1. COORDONNEES DE L'EPICENTRE, MAGNITUDE, MOMENT SISMIQUE

Les coordonnées de l'épicentre données par l'U.S.G.S. (U.S. Geological Survey) et le C.S.E.M. (Centre Séismologique Européo-Méditerranéen) sont respectivement : $36,19^{\circ}\text{N} - 1,35^{\circ}\text{E}$ et $36,13^{\circ}\text{N} - 1,34^{\circ}\text{E}$. Ces deux épicentres qui sont distants de 10 kilomètres environ sont en dehors de l'essai constitué par les répliques (voir figure VI.4).

D'autre part, le séisme principal a été relocalisé par J. Dorel (1981) et G. Yielding et al. (1981) en utilisant comme séisme de référence (enregistré par le réseau local et par les stations mondiales) la réplique du 8 novembre à 7 h 54 mn ($M_L = 5,1$). Les deux auteurs donnent les paramètres suivants :

- . J. Dorel : Heure origine ; 12 h 25 mn 25,1 s
Coordonnées de l'épicentre ; $36,17^{\circ}\text{N} \pm 0,02^{\circ}$, $1,415^{\circ}\text{E} \pm 0,01^{\circ}$
Profondeur ; 14 ± 4 km.
- . G. Yielding et al. : Heure origine ; 12 h 25 mn 23 s.
Coordonnées de l'épicentre ; $36,125^{\circ}\text{N}$, $1,399^{\circ}\text{E}$
Profondeur ; 10 km.

L'épicentre donné par J. Dorel se situe au niveau de la lacune de sismicité (à l'ouest de Oued-Fodda), alors que celui déterminé par G. Yielding et al. est à l'extrême SW de la faille principale, à environ 8 km du premier (figure VI.4). On voit que l'écart entre ces deux épicentres est nettement supérieur à l'erreur de relocalisation estimée par J. Dorel (2 km environ). La non concordance entre ces deux relocalisations, ne nous permet pas de situer l'épicentre du séisme principal. Cependant, les quatre épicentres donnés par les différentes sources étant situés dans la moitié SW de la faille, il est très probable que la rupture a pris naissance sur cette partie de la faille.

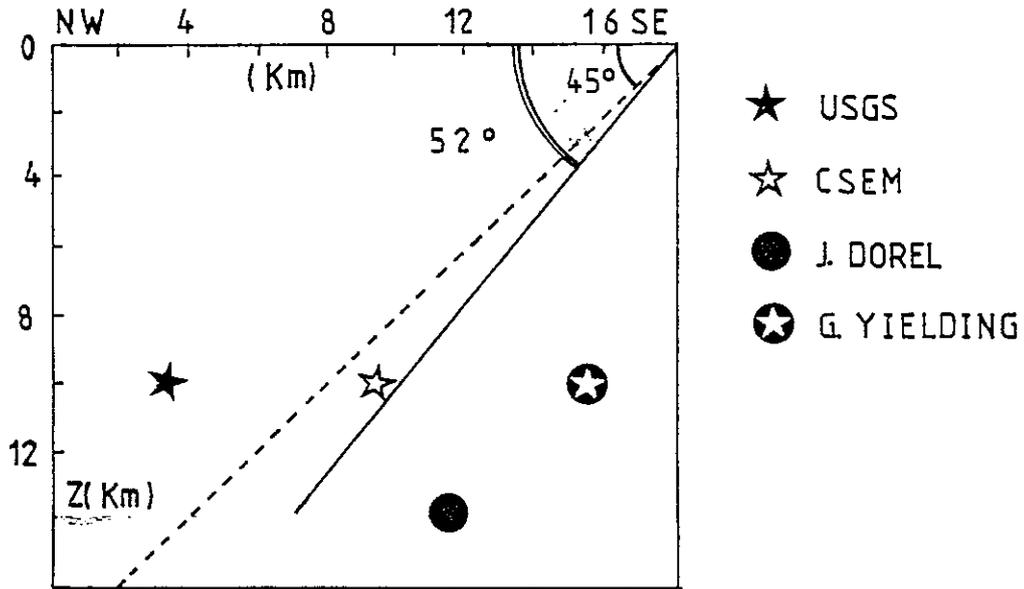


Figure II.1. Projection des foyers du séisme principal du 10 octobre 1980, calculés par l'U.S.G.S., le C.S.E.M. (localisation télésismique), J.Dorel (1981) et G. Yielding et al. (1981) (relocalisation) sur un plan vertical orienté N 135° E. Nous représentons également le plan de pendage 52° NW (pendage du plan de faille calculé à partir du mécanisme au foyer) passant par la trace de la faille en surface.

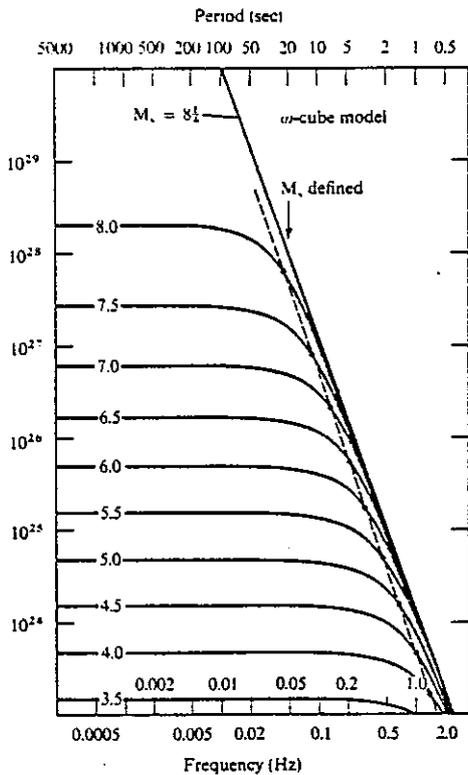


Figure II.2.

Spectre en déplacement des ondes de volume (champs lointain) avec différentes valeurs de la magnitude (M_s) (Aki et al., 1980). La valeur du moment sismique (dyne x cm) est indiquée en ordonnée.

Nous représentons sur la figure II.1 la projection de ces différents foyers sur un plan vertical orienté N135°E et examinons leur position par rapport à un plan de pendage 52°NW (déterminé par le mécanisme au foyer, voir § II.2) passant par la trace de la faille en surface. Nous savons toutefois que la trace de la faille sur le plan vertical NW-SE n'est pas forcément rectiligne ; de plus, la profondeur donnée pour chaque foyer est assez incertaine. Pour cette raison, la discussion de la position de chacun des quatre hypocentres s'avère délicate.

La magnitude calculée à partir des ondes de volume et de surface est respectivement 6,5 et 7,3 (U.S.G.S.). A une telle valeur de la magnitude, il correspond un moment sismique compris entre 6×10^{26} et 2×10^{27} dyne x cm (voir figure II.2, Aki et al., 1980).

D'autre part, le moment sismique peut être calculé à partir de la surface de la faille ($S = 40 \times 15 \text{ km}^2$) et de la dislocation moyenne ($b = 3$ mètres), en appliquant la formule : $M_0 = \mu \times b \times S$; μ est le module de rigidité que nous prenons égal à 3×10^{11} dyne/cm². Les dimensions de la faille et la dislocation sont déterminées à partir des observations de terrain (§ III.2) et de la répartition spatiale de la sismicité (§ VI).

Nous obtenons ainsi un moment sismique égal à $5,4 \times 10^{26}$ dyne x cm.

Le moment sismique du séisme principal a également été calculé à partir de la modélisation des ondes P enregistrées par les sismographes longue période (Ouyed et al., 1981). Il a été obtenu la valeur de $4,1 \times 10^{26}$ dyne x cm. La valeur donnée par G. Yielding et al. (1981) est de 2×10^{26} dyne x cm mais est considérée comme incertaine par les auteurs.

II.2. LE MECANISME AU FOYER

Le mécanisme au foyer a été calculé par Julien Fréchet du Laboratoire de Géophysique Interne de Grenoble à partir de la lecture du sens du premier mouvement effectuée sur 67 enregistrements longue période. La solution focale obtenue (projection de Schmidt de l'hémisphère inférieur) est représentée sur la figure II.3.

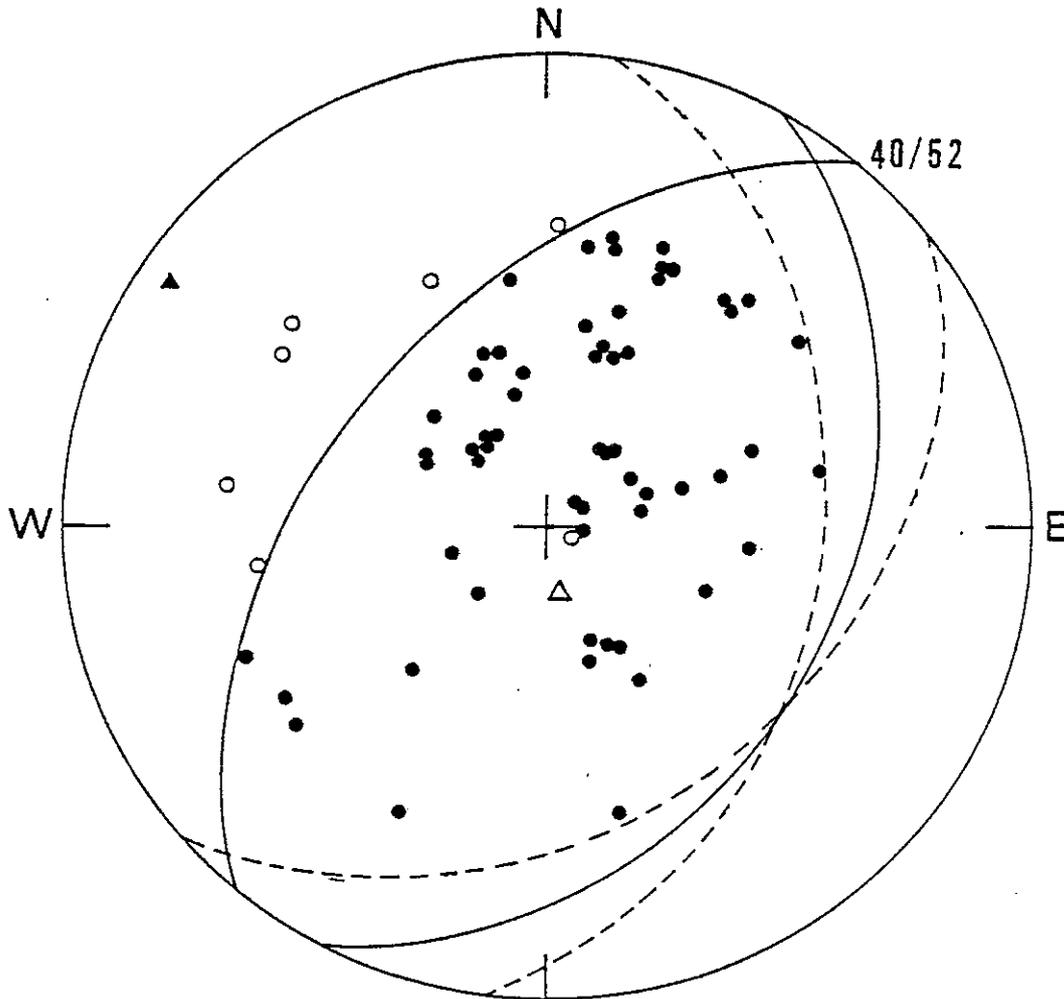


Figure II.3. Solution focale du séisme principal du 10 octobre 1980 (d'après Julien Fréchet) en projection de Schmidt de l'hémisphère inférieur. Les cercles pleins représentent les compressions, les cercles creux les dilatations, les triangles pleins et creux sont respectivement les axes P et T. Le plan de faille (N40°E / 52° NW) est bien contraint, le plan auxiliaire peut varier entre les positions représentées en pointillés sur la figure.

Le plan nodal orienté $N40^{\circ}E$ avec un pendage $52^{\circ}NW$ qui correspond au plan de faille est bien déterminé. Par contre, le plan auxiliaire est moins bien contraint ; son azimut varie de $N8^{\circ}E$ à $N52^{\circ}E$ et son pendage de $42^{\circ}SE$ à $38^{\circ}SE$. Les deux solutions extrêmes donnent un mécanisme de faille inverse avec un vecteur glissement à composante senestre écarté de 8° ou à composante dextre écarté de 21° de la ligne de plus grande pente. Le vecteur glissement varie en fait entre ces deux positions (voir figure II.4).

Les paramètres des axes P et T varient respectivement de 294° à 314° et de 88° à 186° pour l'azimut et de 5° à 8° et de 74° à 80° pour le pendage.

Ce mécanisme au foyer est compatible avec le rapprochement des plaques "Afrique" et "Europe" et les déformations de surface provoquées par le séisme principal (voir §II.2). Il est comparable à celui du tremblement de terre du 9 septembre 1954 ($M_S = 6,7$) (§I.3.2) qui s'est probablement produit au nord de l'épicentre du séisme du 10 octobre 1980.

II.3. LES REPLIQUES PRINCIPALES

Le séisme principal a été suivi par plusieurs répliques (jusqu'à 600 de magnitude supérieure à 2 par jour) dont 50 environ de magnitude supérieure à 4 se sont produites entre le 10 octobre 1980 et le 31 janvier 1981. Ces 50 événements ont pour la plupart été localisés par le C.S.E.M. et l'U.S.G.S. à partir des enregistrements des stations mondiales. La liste de ces séismes est donnée dans le tableau II.A où sont indiquées les coordonnées épicentrales calculées par le C.S.E.M. et l'U.S.G.S.

Sur ces 50 répliques, 9 ont pu être localisées à l'aide du réseau local de stations sismologiques portables (Chapitres IV, V et VI) ; de cette façon, nous obtenons une précision de l'ordre du kilomètre sur la position de l'épicentre et de 2 km sur la profondeur du foyer (§ V.3). Nous représentons sur la figure II.5 les épicentres déterminés à l'aide du réseau local et ceux calculés par le C.S.E.M. et l'U.S.G.S. dont les coordonnées sont données dans le tableau II.B.

On voit que la précision des localisations effectuées par l'U.S.G.S. peut varier de 5 à 15 km avec un déplacement de l'épicentre qui se fait généralement vers le SW. Le sens de déplacement des épicentres calculés par le C.S.E.M. n'est pas constant

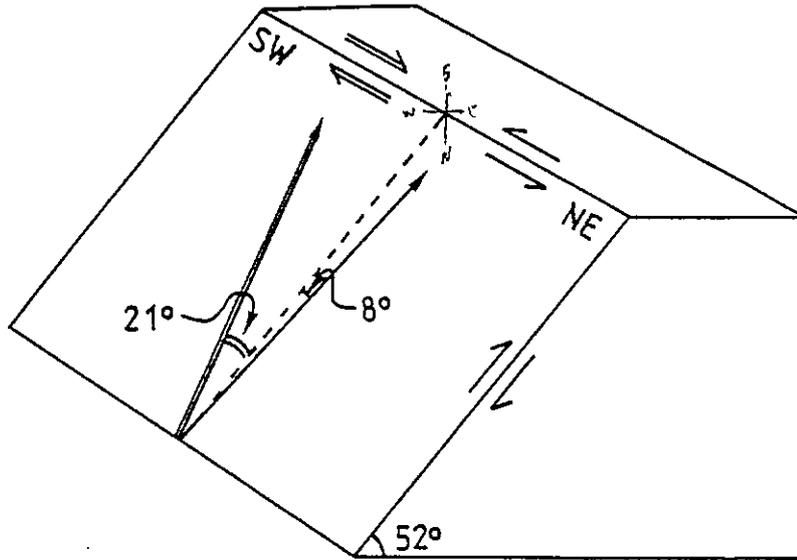


Figure II.4. Variation de la position du vecteur glissement (à partir de la solution focale du séisme principal du 10 octobre 1980) sur le plan de faille (plan de pendage 52° NW). En pointillé : la ligne de plus grande pente. Les vecteurs de glissement des deux solutions extrêmes sont représentés par les flèches à un et deux traits.

TABLEAU II.A

Répliques principales du séisme du
10 octobre 1980.

N°	DATE	HR MIN	MAG	Coord. C.S.E.M.		Coord. U.S.G.S.	
				LAT N	LON'E	LAT N	LON E
1	10.10.80	12 37	5.9	36.33	1.62	36.33	1.63
2	10.10.80	14 12	4.6	36.08	1.15	36.04	1.35
3	10.10.80	14 44	5.3	36.33	1.36	36.24	1.49
4	10.10.80	15 18	4.0			35.93	1.65
5	10.10.80	15 25	4.6	36.12	1.19	35.97	1.36
6	10.10.80	15 36	4.9	36.42	1.67	36.17	1.79
7	10.10.80	15 39	6.2	36.23	1.54	36.21	1.63
8	10.10.80	17 15	4.1	36.20	1.74	36.46	1.37
9	10.10.80	17 33	5.4	36.14	1.28	36.06	1.34
10	10.10.80	19 08	5.3	36.42	1.52	36.35	1.60
11	10.10.80	20 22	4.8	36.42	1.63	36.33	1.52
12	10.10.80	21 21	4.3	36.30	1.61	36.30	1.45
13	10.10.80	23 55	4.3	36.23	1.75	36.24	1.81
14	11.10.80	00 00	4.2	36.25	1.29	36.17	1.37
15	11.10.80	01 29	4.2	36.30	1.44	36.22	1.53
16	11.10.80	05 40	4.7	36.34	1.61	36.37	1.59
17	11.10.80	19 03	4.3	36.43	1.69	36.22	1.77
18	11.10.80	21 26	4.7	36.35	1.49	36.25	1.67
19	12.10.80	00 36	4.3	36.47	1.47	36.45	1.57
20	12.10.80	04 02	4.3	36.28	1.39	36.17	1.45
21	13.10.80	06 37	5.2	36.39	1.48	36.26	1.57
22	13.10.80	14 33	4.6	36.46	1.48	36.26	1.72
23	13.10.80	20 26	4.0			36.16	1.30
24	14.10.80	01 07	4.1			36.53	1.38
25	14.10.80	17 35	5.0	36.37	1.55	36.34	1.68
26	15.10.80	03 17	4.6	36.32	1.49	36.30	1.51
27	15.10.80	18 29	4.1	35.90	1.50	35.96	1.33
28	19.10.80	21 47	4.4	35.85	1.34	35.71	1.46

29	21.10.80	16 50	4.5	36.35	1.66	36.31	1.72
30	22.10.80	16 23	4.8	36.36	1.47	36.37	1.52
31	23.10.80	09 57	4.6	36.41	1.54	36.42	1.53
32	26.10.80	02 28	4.4	36.46	1.42	36.41	1.60
33	29.10.80	01 30	4.4	36.48	1.53	36.41	1.68
34	30.10.80	23 38	5.1	36.30	1.57	36.32	1.65
35	08.11.80	02 06	4.6	36.51	1.51	36.51	1.59
36	08.11.80	07 54	5.3	36.18	1.32	36.11	1.36
37	10.11.80	00 01	4.7	36.52	1.32	36.44	1.33
38	03.12.80	10 31	4.9	36.44	1.45	36.40	1.51
39	05.12.80	13 32	5.0	35.89	1.22	35.95	1.36
40	07.12.80	17 37	5.5	35.92	1.20	36.03	1.23
41	08.12.80	04 07	4.0	35.87	1.23	35.56	1.29
42	24.12.80	12 47	4.3	35.60	1.35	35.77	1.42
43	31.12.80	02 25	4.7	35.97	1.21	36.06	1.28
44	01.01.81	15 55	4.2	36.39	1.82		
45	15.01.80	04 25	5.0	36.30	1.58	36.36	1.64
46	17.01.81	23 46	4.2	36.37	1.49	36.43	1.59
47	18.01.81	12 40	4.3	36.55	1.77	36.13	2.18
48	20.01.81	01 25	4.4	36.17	1.56	36.22	1.63
49	31.01.81	16 29	4.8	36.31	1.57	36.41	1.61
50	31.01.81	20 43	4.6	36.37	1.53		

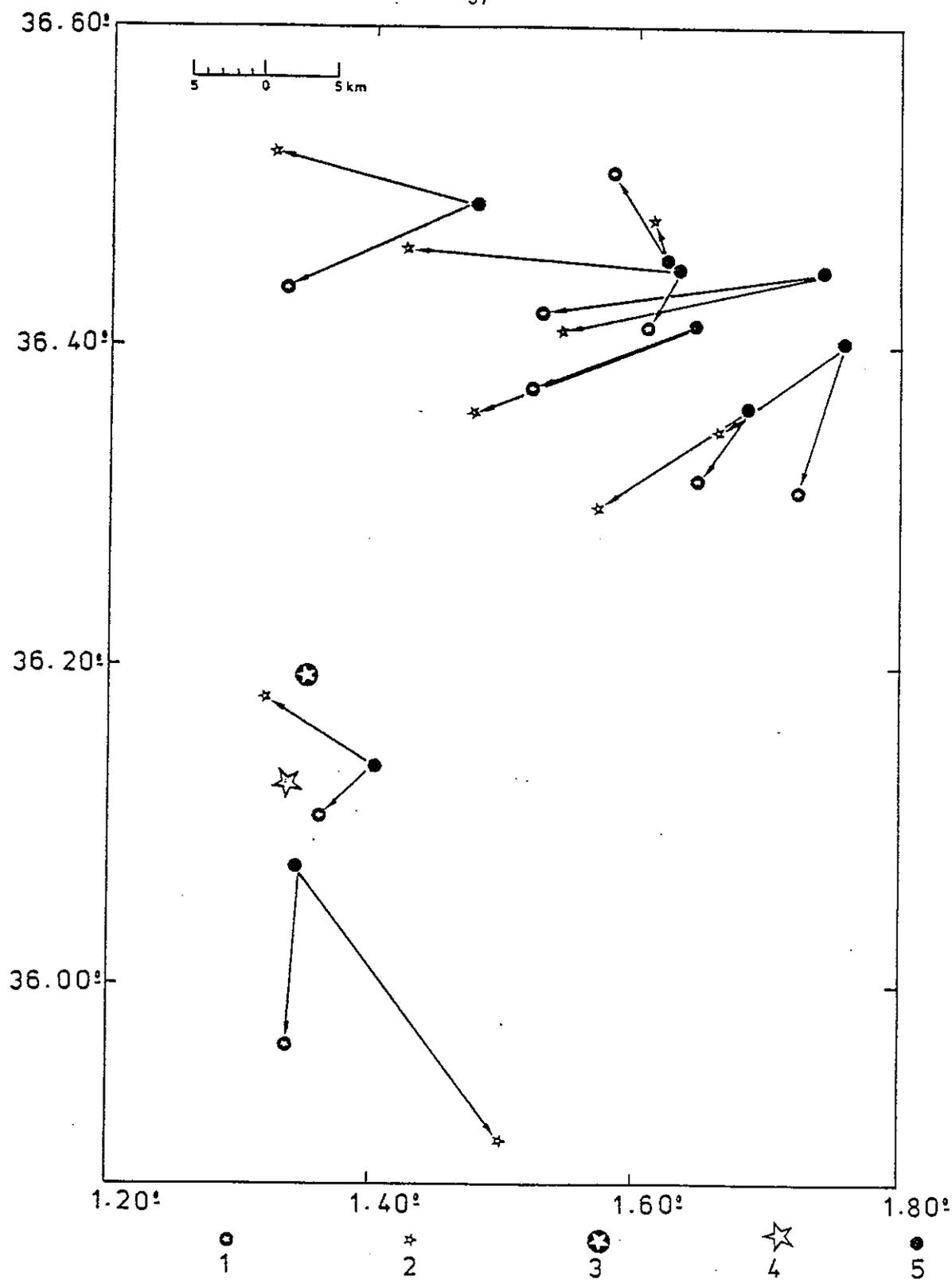


Figure II.5. Comparaison des épicentres (répliques du séisme du 10 octobre 1980) localisés par l'U.S.G.S. (1), le C.S.E.M. (2) et le réseau local de stations portables (5). Les positions de l'épicentre du séisme principal du 10 octobre calculées par l'U.S.G.S. (3) et le C.S.E.M. (4) sont également représentées sur la figure. La liste des séismes représentés sur cette figure est donnée dans le tableau II.B.

TABLEAU II.B.

Comparaison des localisations effectuées par le C.S.E.M.,
l'U.S.G.S. et celles du réseau local (représentation,
figure II.5).

DATE	HR MIN	Coord. rés. local		Coord. C.S.E.M.		Coord. U.S.G.S.	
		LAT N	LON E	LAT N	LON E	LAT N	LON E
15.10.80	18 29	36.07	1.34	35.90	1.50	35.96	1.33
21.10.80	16 50	36.40	1.76	36.35	1.66	36.31	1.72
22.10.80	16 23	36.41	1.64	36.36	1.47	36.37	1.52
23.10.80	09 57	36.40	1.67	36.41	1.54	36.42	1.53
26.10.80	02 28	36.45	1.63	36.46	1.42	36.41	1.60
30.10.80	23 38	36.36	1.69	36.30	1.57	36.32	1.65
08.11.80	02 07	36.45	1.62	36.51	1.51	36.51	1.59
08.11.80	07 54	36.14	1.40	36.18	1.32	36.11	1.36
10.11.80	00 01	36.49	1.48	36.52	1.32	36.44	1.33

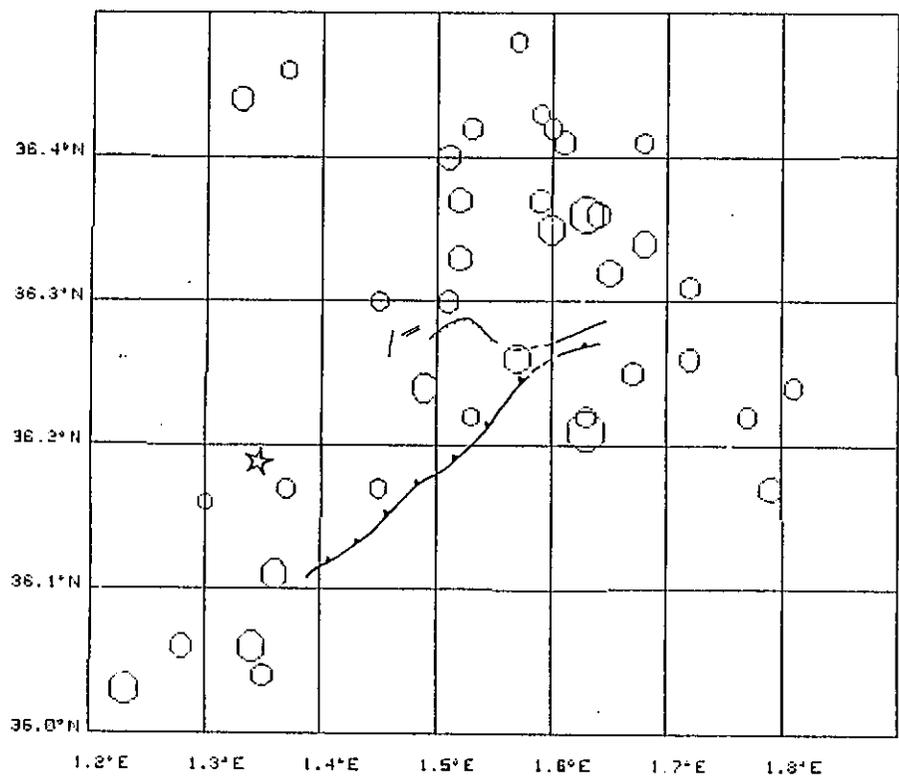


Figure II.6. Répartition spatiale des répliques (M supérieur ou égal à 4) à partir des localisations U.S.G.S. (10.10.80 au 31.01.1981, liste dans le tableau II.A.). Le rayon des épicanres est proportionnel au carré de la magnitude, l'étoile représente le séisme principal (U.S.G.S.). Les déformations de surface causées par le séisme du 10 octobre 1980 sont également représentées.

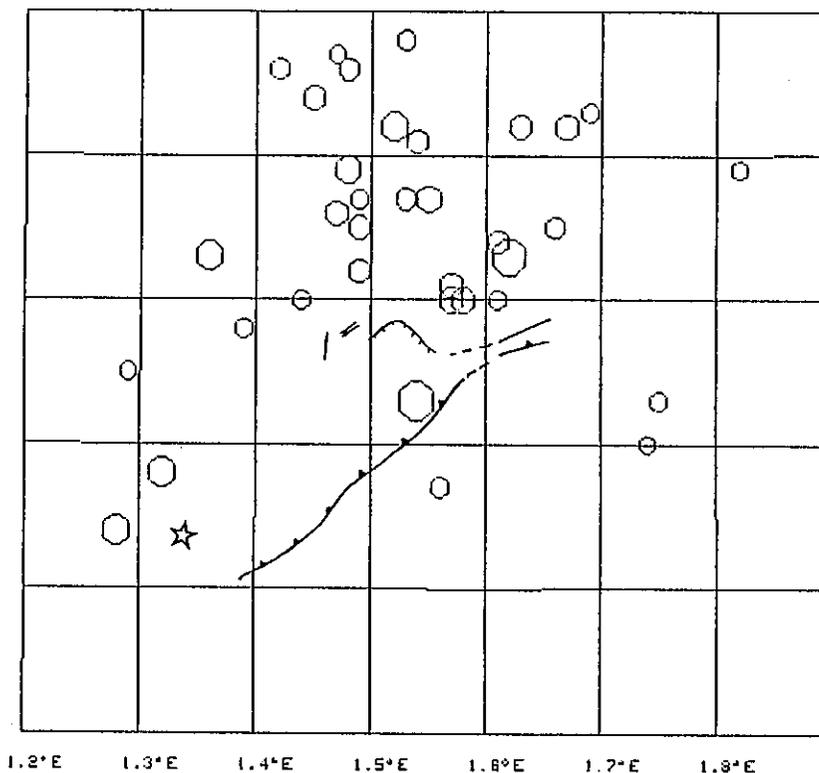


Figure II.7. Répartition spatiale des répliques à partir des localisations C.S.E.M. L'étoile est l'épicentre du séisme principal (C.S.E.M.). Même période et même légende que la fig. II.6.

et la précision varie de 3 à 22 km. Il est cependant clair que la position des épicentres calculés à l'aide du réseau mondial par rapport à la "position réelle" dépend de la répartition spatiale des stations sismologiques qui ont servi à cet effet.

D'autre part, l'allure de la carte des épicentres déterminés par l'U.S.G.S. (figure II.6) est assez proche de celle des 500 répliques localisées par le réseau de stations portables (du 15 octobre au 16 novembre 1980, figure VI.1). Ceci n'est pas le cas pour les séismes localisés par le C.S.E.M. (figure II.7).

Nous avons également examiné l'évolution de la sismicité pour la période du 10 octobre 1980 au 31 janvier 1981, en traçant le nombre de séismes de magnitude supérieure ou égale à 4 qui se sont produits dans une journée, en fonction du temps (figure II.8). Nous observons une diminution rapide du nombre de secousses qui passe de 26 en 24 heures le premier jour à 0,14 séisme par jour (soit 1 séisme en 1 semaine) au bout du 55^e jour. Nous enregistrons ensuite une augmentation de la sismicité au moment où un important séisme (7/12/80 à 17 h 37 mn, $M_B = 5,5$) s'est produit dans les environs du SW de la faille principale.

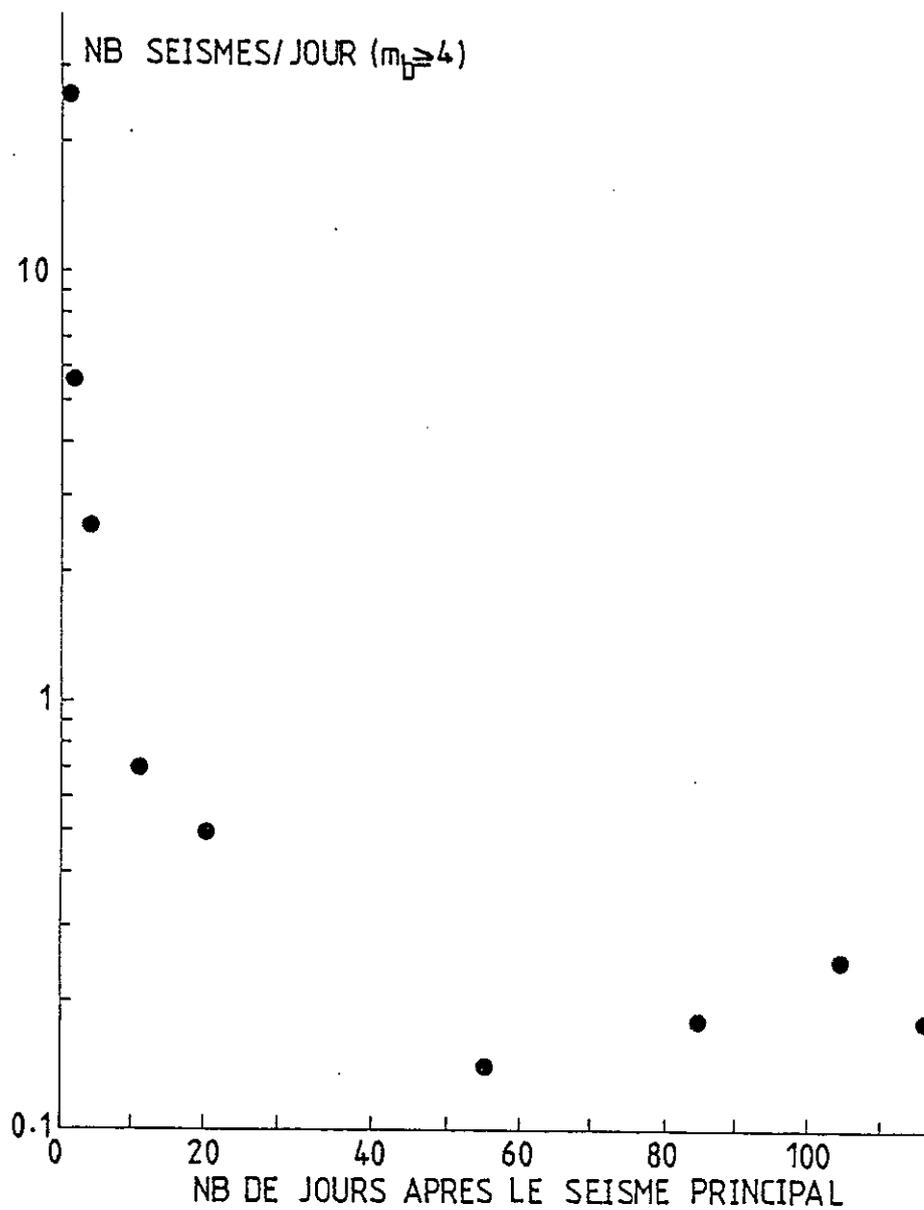


Figure II.8. Variation du nombre de séismes de magnitude (M_b) supérieure ou égale à 4 en fonction du temps pour la période du 10.10.80 au 31.01.1981.

CHAPITRE III

LES EFFETS DU SEISME SUR LE TERRAIN

III.1. ETUDE MACROSISMIQUE

III.1.1. Les dégâts

III.1.2. Les signes précurseurs

III.1.3. Autres observations macrosismiques

III.2. LES DEFORMATIONS DE SURFACE

III.2.1. La faille principale inverse

III.2.2. Les failles en extension

III.2.3. L'amplitude du mouvement

III.2.4. Les modèles explicatifs des déformations

Le séisme d'El-Asnam du 10 octobre est probablement le plus destructeur enregistré en Méditerranée occidentale, depuis au moins trois siècles. Son étude est particulièrement importante pour les déformations de surface qu'il a engendrées dans la région épiscopale.

III.1. ETUDE MACROSISMIQUE

III.1.1. Les dégâts

L'intensité (MSK) maximale enregistrée est de X environ. La région la plus touchée se situe au nord de la ville d'El-Asnam (figure III.1).

Le séisme principal et plusieurs de ses répliques ont été ressentis à Alger (à 160 km de la zone épiscopale) et jusque sur les côtes espagnoles. La figure III.1 représente les lignes isoséistes (N. Ousmer et al., 1981) qui sont allongées dans la direction NE-SW indiquant un maximum de dégâts le long de la faille principale. Nous pouvons souligner la même allure des lignes isoséistes pour le séisme du 9 septembre 1954 (voir figure I.7).

Le bilan des dégâts est catastrophique. Le tremblement de terre a fait 4 000 morts, plusieurs milliers de blessés et laissé environ 400 000 personnes sans abri. Plus de 80 % des bâtiments de la ville d'El-Asnam sont inhabitables. La plupart des ponts ont été endommagés, alors que les quelques barrages de la région ont peu souffert du séisme.

Le barrage de Pontéba dont le côté nord avait été soulevé de 40 cm après le séisme du 9 septembre 1954 (J.P. Rothé, 1955), n'a pratiquement pas été touché lors du grand tremblement de terre de 1980.

CARTE DES INTENSITES DU TREMBLEMENT DE TERRE ECH-CHELIF-ZEBOUDJA DU 10 Octobre 1980

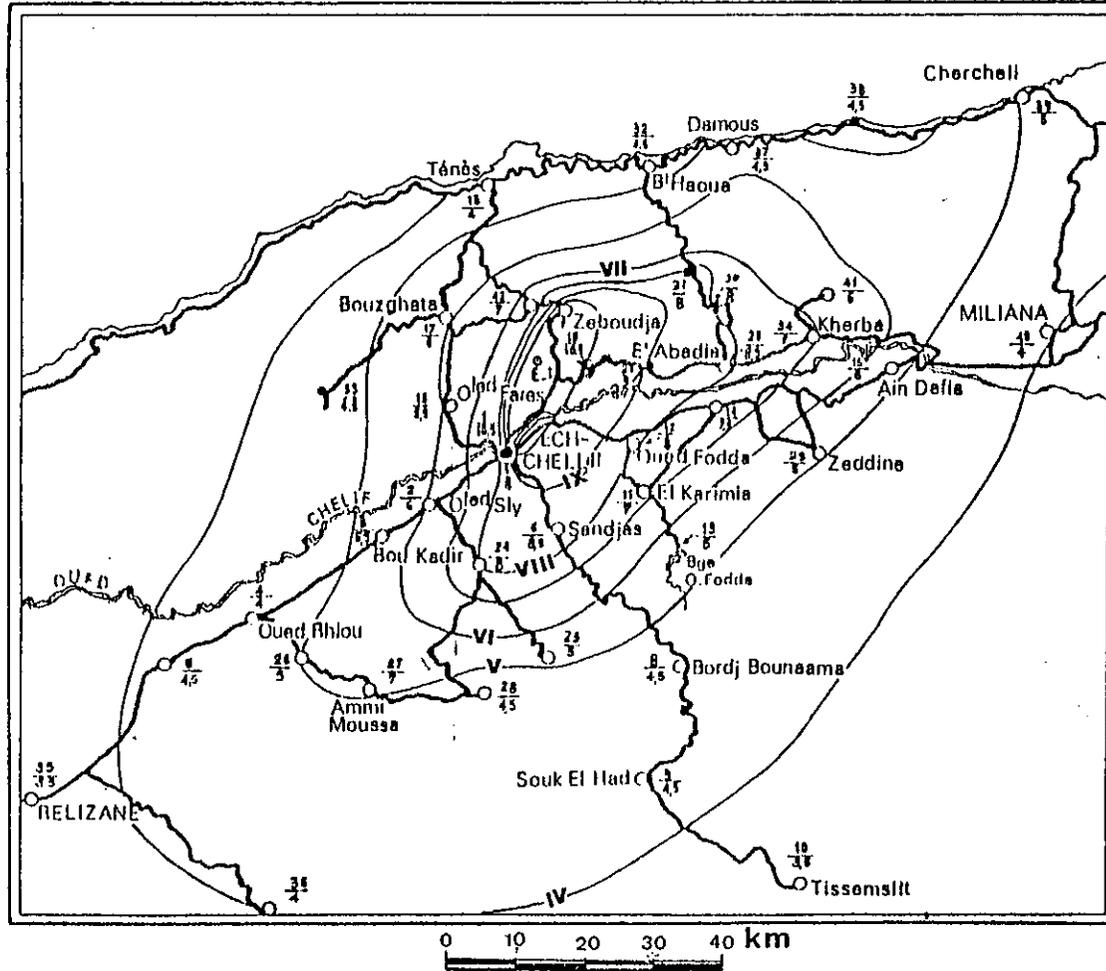


Figure III.1. Carte des intensités macrosismiques ressenties lors du tremblement de terre d'El Asnam du 10 octobre 1980 (N. Ousmer et al., 1981). Noter la similitude (allongement dans la direction NE-SW) de ces isoséistes avec celles du séisme du 9 septembre 1954 (figure I.7.).

*Selon Ben halton
 → à revoir car trop collés sur isoséistes
 de SK. à remplacer par une carte de CVAG*

III.1.2. Les signes précurseurs

Lors de notre passage dans la région sinistrée (voir chapitre suivant), nous nous sommes entretenus avec la population qui nous a signalé un certain nombre de phénomènes particuliers. Nous avons pu vérifier sur place certains témoignages, mais n'avons malheureusement pas pu confirmer des faits pour lesquels une enquête plus approfondie était nécessaire.

Il nous a semblé important de signaler et de tenter d'analyser ces différents témoignages et observations.

a) Les secousses sismiques

Le dernier séisme enregistré dans la région avant le 10 octobre 1980, date du 9 mars 1980 à 05 h 21 mn. Il s'est produit dans la région d'El-Tnine (au nord-est de la faille principale). Sa magnitude calculée à partir des ondes de volume est de 3,6 et ses coordonnées épicentrales sont $36,42^{\circ}$ N - $1,76^{\circ}$ E (U.S.G.S.).

D'autres secousses ont été signalées par les habitants d'El-Tnine et de Béni-Rached qui ont affirmé les avoir ressenties quelques semaines seulement avant le grand tremblement de terre du 10 octobre, sans cependant donner la date précise.

Cependant, l'inexistence de stations sismologiques en fonctionnement dans cette région et au cours de cette période ne nous permet pas de confirmer ou d'infirmer ces observations.

b) Les déformations du sol

Un technicien de la société A.L.G.E.O., filiale de la société nationale algérienne S.O.N.A.T.R.A.C.H., qui effectuait des mesures de topographie dans la région d'El-Asnam dans les jours précédents le tremblement de terre du 10 octobre, constata que les points géodésiques relevés sur le terrain, ne correspondaient pas à ceux reportés sur la carte. Il avait conclu à un mauvais fonctionnement de son appareil.

La personne en question qui logeait à l'hôtel du Chelif est morte ensevelie sous les décombres du bâtiment. Les documents relatifs à ces mesures n'ont pas été re-

trouvés. Ces faits nous ont été signalés par des ingénieurs travaillant dans la même société.

Les importantes déformations provoquées par le séisme du 10 octobre (voir § III.2) rendent bien compte de l'existence de déformations du sol prémonitoires dans la région épicertrale.

c) La variation du débit des sources

La variation du débit des sources avant et après un tremblement de terre a déjà été signalée en Algérie du nord. C'est d'ailleurs le cas pour le séisme du 22 août 1856 qui s'est produit à Djidjelli et pour celui de Mouzaïa (près de Blida) du 2 janvier 1867 (J.-P. Rothé, 1950).

La source principale de la région d'El-Asnam (ex. Orléansville) a vu son débit quintupler à la suite du tremblement de terre du 25 août 1922 (A. Hée, 1923).

Lors du tremblement de terre du 10 octobre, le régime des sources a été perturbé. C'est ainsi que les sources que nous avons visitées et qui étaient situées près de la faille (aux environs du centre de la faille principale et près de la faille normale de Beni-Rached) ont vu leur débit diminuer à la suite de la secousse. Auparavant, elles étaient alimentées de façon satisfaisante.

Par contre, dans un village situé à 5 km environ au sud d'El-Karimia (15 km au sud de la fracture principale), la population avait constaté une diminution notable du débit de la source qui sert à l'alimenter en eau potable. Ce phénomène s'est produit au moins un an avant le tremblement de terre. Le débit a augmenté de façon importante au lendemain du 10 octobre 1980.

Une autre observation importante signalée par les habitants de Sendjas (au sud de la ville d'El-Asnam) est l'alimentation en eau d'une rivière (oued Tsishaout) qui passe à proximité de la ville, 24 heures environ après le grand tremblement de terre. Auparavant, cette rivière était complètement tarie.

Il faut souligner l'abondance de l'eau sur tous les terrains irrigables de la région, après le tremblement de terre. Ceci a d'ailleurs été signalé par la presse algérienne qui insiste sur le fait que la production agricole dans la vallée du Chelif sera particulièrement importante.

III.1.3. Autres observations macrosismiques

Ces phénomènes sont liés à la déformation du sol.

a) Le barrage naturel

Un lac d'une aire de 2,5 km² environ s'est formé sur le compartiment SE délimité par la faille, à l'endroit où celle-ci coupe l'Oued Chelif. La rivière en question coulant d'est en ouest, le barrage naturel a été provoqué par la surélévation du compartiment NW. Les glissements de terrain au niveau du canyon, de part et d'autre de la rivière ont aussi contribué à la formation de ce lac (voir figure III.2.).

La géomorphologie montre que la rivière est plus ancienne que plusieurs structures que l'on peut trouver dans la région. On remarque aussi une importante épaisseur de sédiments qui se sont déposés à l'entrée du canyon ; ce qui prouve que des inondations de ce genre se sont produites à plusieurs reprises au cours du quaternaire.

L'étude détaillée de la sédimentation au niveau du lac apporterait de précieuses informations sur l'histoire sismique de la région (K. Sieh, 1978, G.C.P. King, 1981).

Un miroir de faille ancienne est visible sur la faille principale, à quelques mètres au sud de l'Oued Chelif (N. Ousmer, 1981). Ceci dénote le fait que la faille principale a joué antérieurement.

b) Les crateriets

Il s'agit de petits cônes de sable de quelques centimètres de haut et dont la base peut atteindre 1 m de diamètre qu'on observe à la surface du sol.

Ce sable très fin est déposé par l'eau qui en est chargée et qui monte à la surface à travers les fissures. La figure III.3 (H. Philip et M. Meghraoui, 1981) montre les endroits où ces cônes de sable sont observés.

Ce phénomène a également été observé lors du séisme du 9 septembre 1954 (J.-P. Rothé, 1955).

1



2

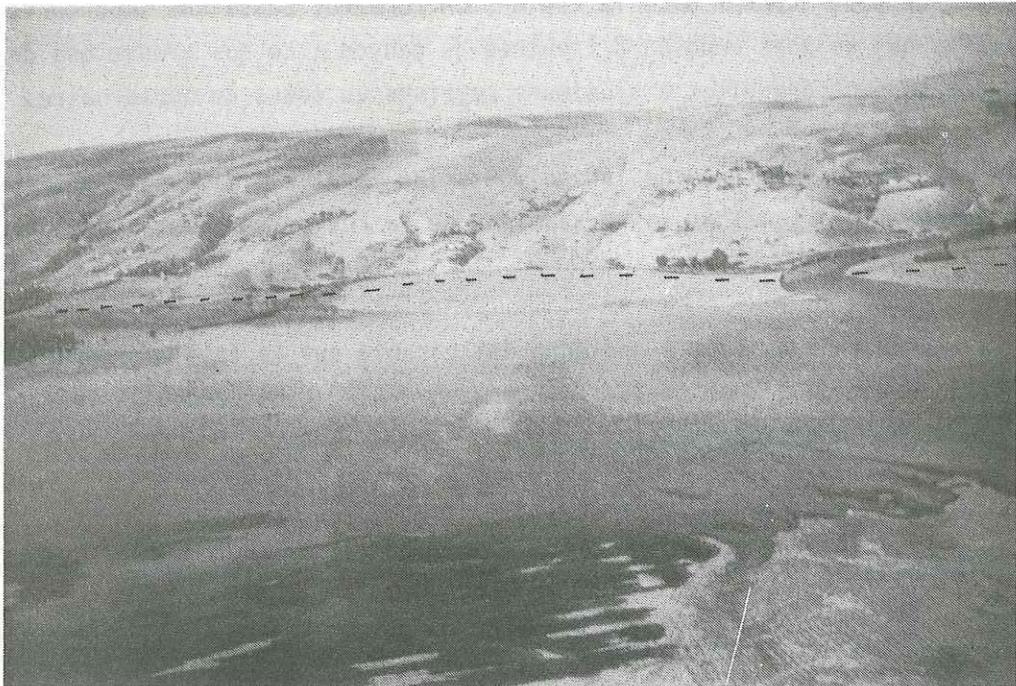


Figure III.2. Les effets du séisme sur le terrain. Photo 1 : jet de pierres, de sable et d'eau et remontée de la base du puits de 7 mètres environ. Photo 2 : l'Oued Chelif est coupé en deux par la faille indiquée en pointillé et qui passe au pied de la colline (2^e plan). La dénivellée entre les compartiments SE (1^{er} plan) et NW a créé un barrage naturel. L'emplacement de ces deux photographies est indiqué sur la figure III.5.

c) Jet d'eau et de matériaux

Dans les environs du barrage de Pontéba, un jet d'eau, de sable et de cailloux a jailli d'un puits au moment du tremblement de terre, soulevant la dalle (en ciment) qui le recouvrait et atteignant une hauteur de quelques mètres (figure III.2).

Ce phénomène est dû à la mise sous pression au moment du tremblement de terre de la nappe aquifère qui alimente le puits.

Nous avons examiné quelques phénomènes macrosismiques qui sont apparus avant et après le séisme. Il apparaît que les déformations du sol et la variation du niveau des puits et du débit des sources ont constitué de sérieux précurseurs pour le séisme du 10 octobre.

Une étude systématique sur l'état des points d'eau dans la région au cours du temps n'a pas été tentée, mais serait probablement d'un grand intérêt.

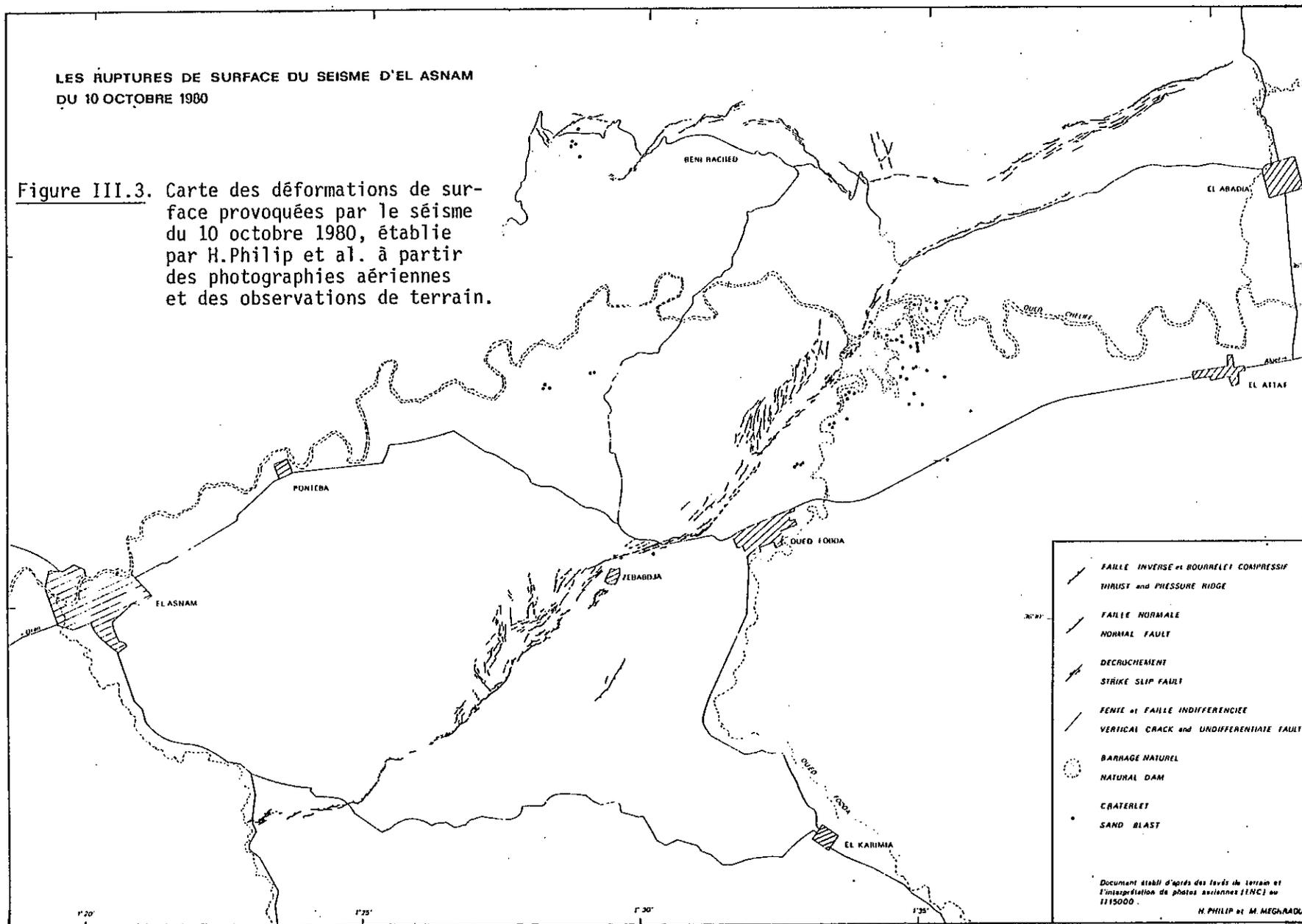
III.2. LES DEFORMATIONS DE SURFACE

L'étude du tremblement de terre du 10 octobre est particulièrement importante par les fractures qu'il a provoquées. La cartographie détaillée des déformations du sol a été établie quelques jours seulement après la secousse principale par plusieurs géologues et sismologues. Une autre carte des déformations a été tracée à partir des photographies aériennes prises après le séisme (H. Philip et M. Meghraoui, 1981) ; elle est représentée sur la figure III.3.

D'autre part, la carte des déformations de surface établie par G. Yielding et al. (figure III.4) diffère de celle tracée par H. Philip et M. Meghraoui, au niveau de la faille de Kef El Mes (au NW, voir figure III.4) qui est interprétée par les uns (G. Yielding et al., 1981) comme étant une faille normale (Graben) et par les autres (H. Philip et M. Meghraoui, 1981) comme une faille inverse. De plus, on relève sur la carte établie par G. Yielding et al. (1981) (figure III.4) des failles au nord de Kef El Mes, et au niveau de Tacheta, qui ne sont pas mentionnées sur la carte faite par H. Philip et M. Meghraoui (figure III.3).

LES RUPTURES DE SURFACE DU SEISME D'EL ASNAM
DU 10 OCTOBRE 1980

Figure III.3. Carte des déformations de surface provoquées par le séisme du 10 octobre 1980, établie par H.Philip et al. à partir des photographies aériennes et des observations de terrain.



III.2.1. La faille principale inverse

La faille principale provoquée par le séisme est inverse. Elle est longue de 40 km environ et orientée dans la direction NE-SW. La distribution des répliques (chapitre VI) indique une profondeur maximale de la faille de 12 km et un pendage vers le NW.

L'azimut de la faille est $N40^{\circ}E$ dans sa partie méridionale, puis $N80^{\circ}E$ sur 4 km entre Zebabdja et Oued-Fodda, reprend à nouveau l'azimut $N40^{\circ}E$ dans la partie centrale et enfin se termine au nord en se divisant en deux branches de direction $N70^{\circ}E$ à $N80^{\circ}E$.

Le mouvement sur la faille est inverse avec le compartiment NW qui chevauche le compartiment SE. Nous relevons cependant une importante composante de mouvement senestre entre Oued-Fodda et Zebabdja.

III.2.2. Les failles en extension

Les failles normales observées sur le terrain sont de deux types :

- Celles qui sont situées le long de la faille, sur le compartiment chevauchant et qui s'étendent sur une largeur de 1,5 km et une longueur de 15 km environ.

- Celles qui sont situées plus au nord qui s'étendent sur environ 5 km (Béni-Rached et Sidi-Djillali).

La première catégorie correspond à des fractures qui sont généralement sous forme de grabens et provoquées par le bombement du compartiment chevauchant (G.C.P. King et al., 1981). Dès lors, ces fractures sont superficielles. Le modèle proposé par G.C.P. King et al. (1981) qui rend compte de ces déformations sera exposé et discuté au paragraphe III.2.4.

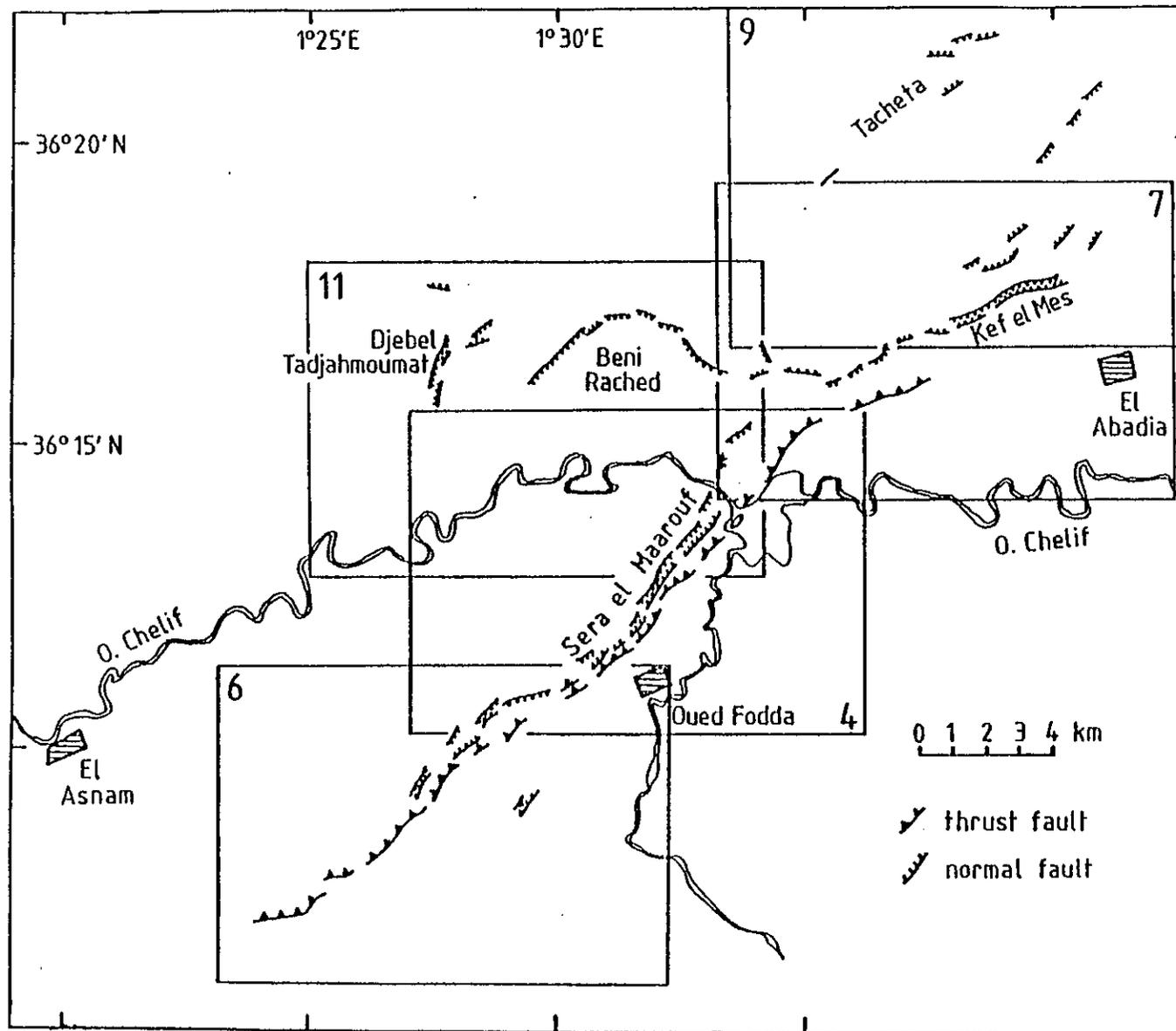


Figure III.4. Carte des déformations de surface causées par le séisme du 10 octobre 1980, établie par G. Yielding et al. (1981) à partir des observations de terrain. On peut noter la différence d'interprétation (H. Philip et al. : faille inverse (voir fig. III.3), G. Yielding et al. : faille normale) de la partie NE de la faille orientée ENE - WSW).

En ce qui concerne le système de failles normales de Béni-Rached, les avis sont partagés. Certains l'expliquent par un grand glissement de terrain en insistant particulièrement sur la nature de la composante horizontale du mouvement (à l'est : senestre, à l'ouest : dextre). D'autres auteurs (A. Cisternas et al., 1981) sont en faveur d'une origine tectonique de ce système de fractures. Ils proposent un modèle de déformation qui met en évidence l'existence de contraintes distensives dans la région de Béni-Rached. Ce modèle sera discuté au paragraphe III.2.4. Il faut souligner la similitude qui existe entre les déformations provoquées dans cette région par les séismes du 9 septembre 1954 et du 10 octobre 1980.

III.2.3. L'amplitude du mouvement

Sur la figure III.5 sont indiquées les valeurs de l'amplitude des déformations. Le déplacement le plus important mesuré sur la faille est de 6 mètres. Il correspond à une dénivelée entre les compartiments NW et SE. L'amplitude de la composante senestre du mouvement mesurée entre Oued-Fodda et Zebabdja est de 1,30 mètre, elle atteint 2,70 mètres au nord de Oued-Fodda.

La mesure du raccourcissement a été possible grâce à un canal d'eau orthogonal à la direction de la faille. Le raccourcissement mesuré sur 300 mètres est de 2,20 mètres (Ouyed et al., 1981).

III.2.4. Les modèles explicatifs de déformations

a) Le modèle proposé par G.C.P. King et al. (1981)

Il s'agit d'un modèle qui tente d'expliquer les structures distensives sous forme de grabens observées sur le compartiment NW.

Le modèle a été calculé à partir des expressions mathématiques données par Mansinha et Smylie (1971). La déformation est élastique et la faille n'atteint pas la surface. Il est cependant créé une région en extension sur le compartiment chevauchant

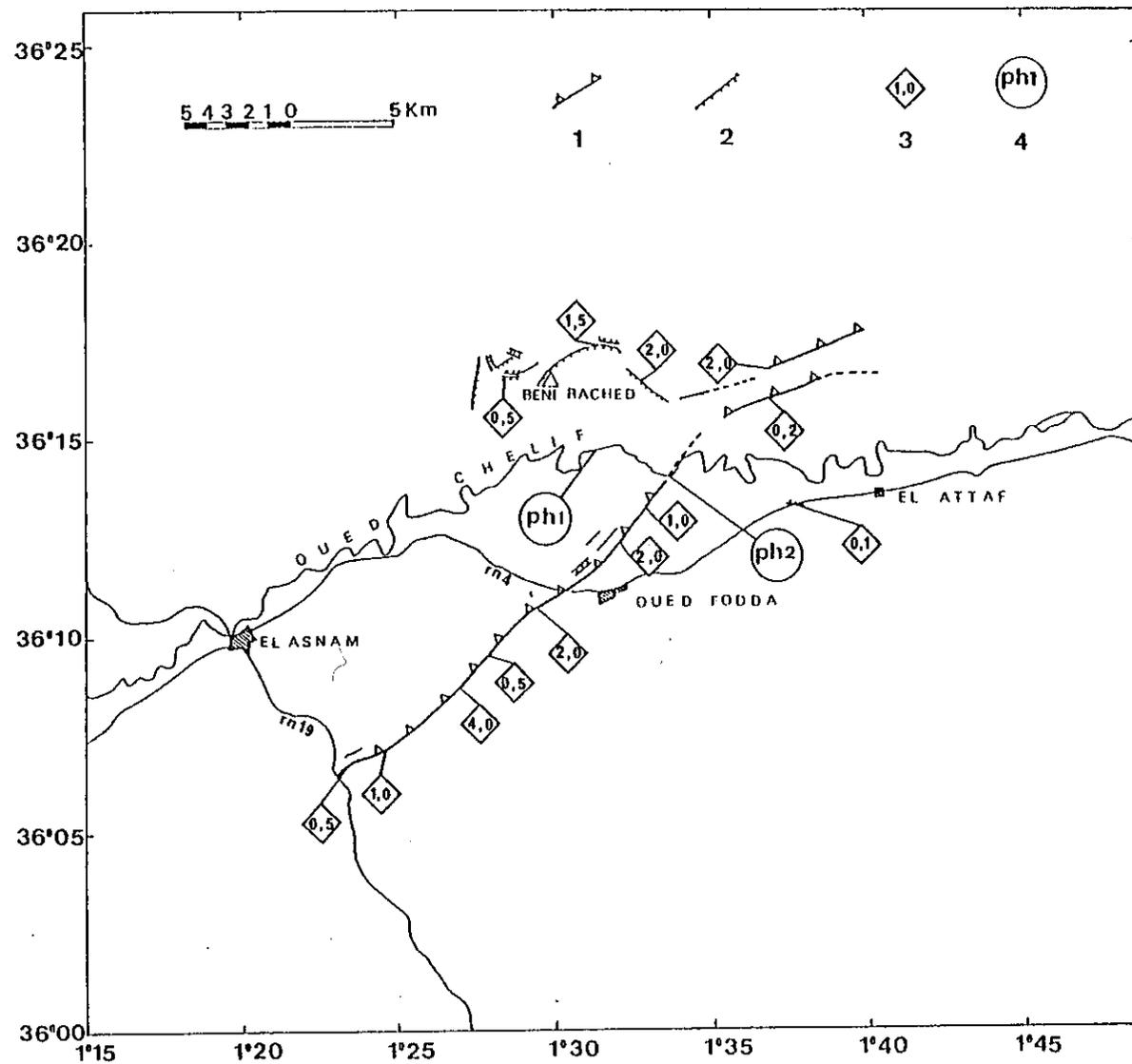


Figure III.5. Amplitude des déformations observées sur le terrain après le séisme du 10 octobre 1980 dans la région d'El Asnam. 1: faille inverse; 2: faille normale; 3: rejet vertical en mètres; 4: emplacement des photographies de la figure III.2

et une zone de compression à la base du relief qui est alors formé lors de cette déformation. La figure III.6 (G.C.P. King et al., 1981) illustre cette situation.

c. Vector diagram showing the effect of the observed tensional surface features on the slip vector at depth assuming a rigid, non-rotating, block model. The vectors correspond to motion on features shown in *d*. 1, 0.9 m, dip 60°, azimuth 100°; 2, 0.3 m dip 45°; 3, 0.3 m, dip 30°, azimuth 140°; 4, 0.5 m, dip 30°, azimuth 145°; 5, 0.2 m over many small tension cracks; 6, small bedding thrusts with negligible offsets in this particular section; 7, main thrust estimated to dip at 50°; 8, region of compression without faulting; irrigation channels in this region were telescoped by between 1 and 2m over a distance between 200 and 300m; 9, slip vector at depth. *e*. Deformation around a buried thrust fault with a dip of 35° and dimensionless fault parameters¹⁰ of $d = 1.5$, $D = 1.25$, $L = 10$ and slip of 1.15. Note that *a* and *b* have vertical exaggeration.

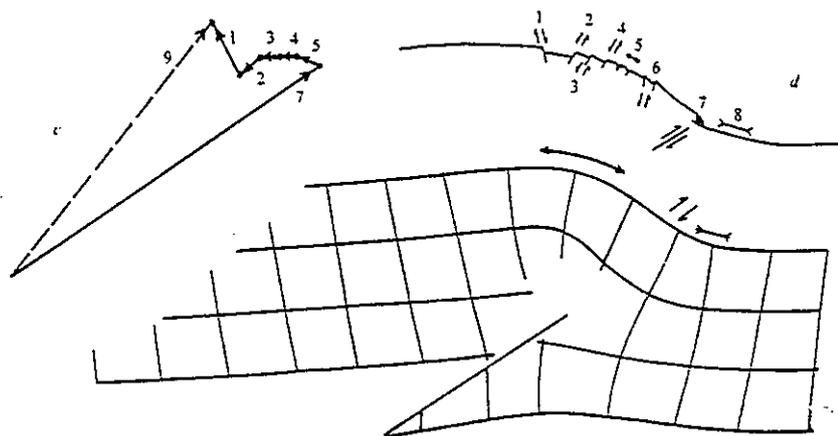


Figure III.6. Modèle proposé par King et al. (1981).
Ce modèle est calculé pour un pendage de la faille de 35°.

Ce modèle est satisfaisant pour trois raisons :

- Il rend compte de la plupart des déformations observées juste au sud de l'Oued Chelif où des mesures précises ont été faites.

- Les grabens se trouvent essentiellement dans des régions où le déplacement vertical sur la faille est important (voir les figures sur les déformations de surface, figure III.3, et l'amplitude des déplacements, figure III.5).

- Les répliques liées à la faille principale (chapitre VI) ont une profondeur supérieure à 2 km et à 4 km dans la moitié sud-ouest. Ce qui implique que la fracture n'atteint pas la surface.

b) Le modèle proposé par A. Cisternas et al. (1981)

Ce modèle permet d'expliquer le faillage normal dans la région de Béni-Rached qui serait provoqué par le coude de la faille (au nord).

Les déplacements sur la faille sont représentés sur la figure III.7. La

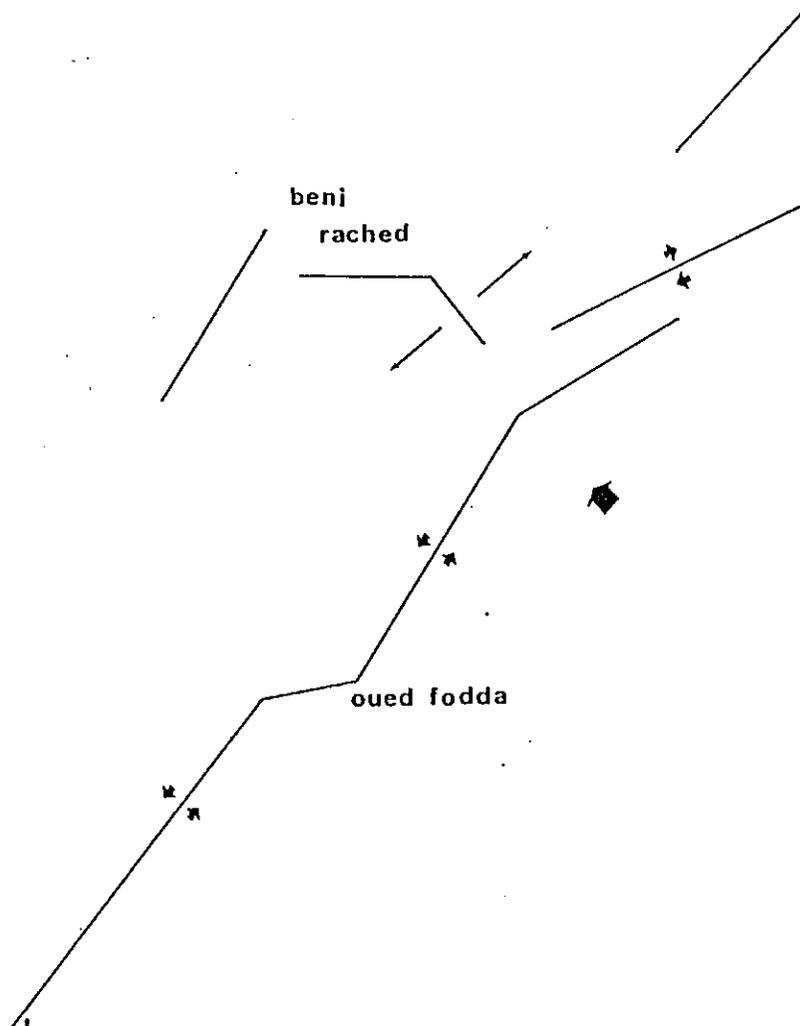


Figure III.7. Le modèle de A.Cisternas et al.(1981) pour tenter de rendre compte des failles normales de Béni-Rached dont il n'est pas tenu compte dans la modélisation. Les flèches indiquent le mouvement horizontal sur la faille.

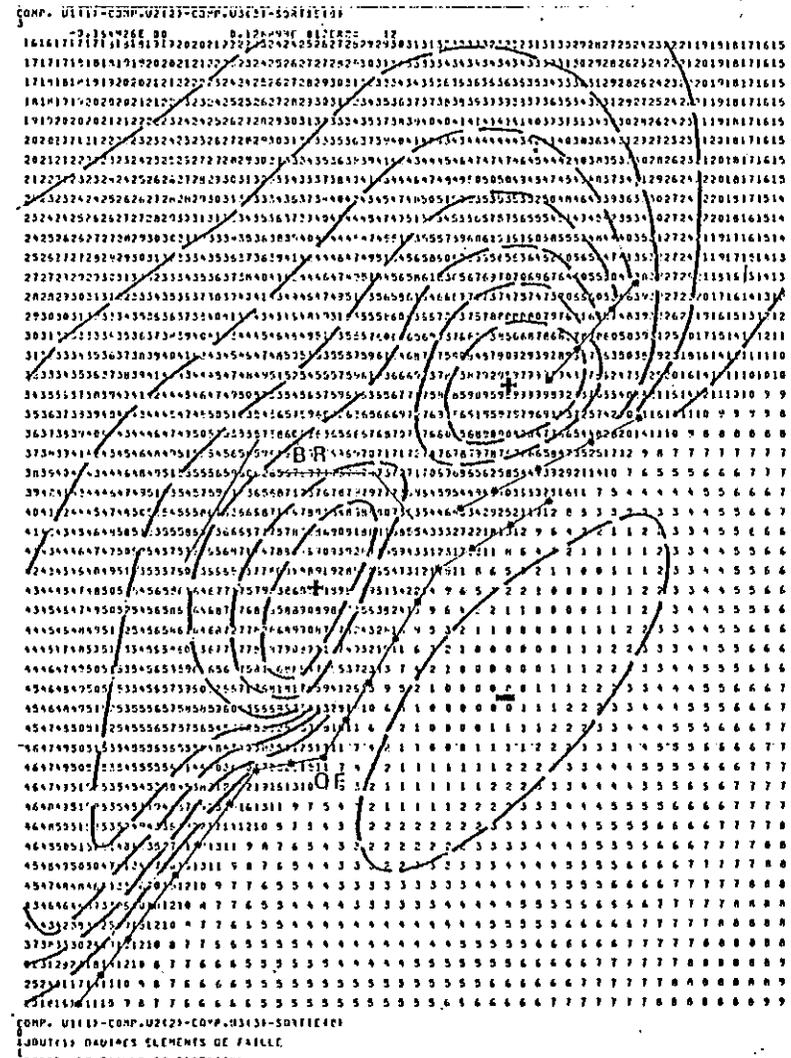


Figure III.8. Composante verticale du déplacement (A.Cisternas et al., 1981) obtenu à partir du modèle de la fig. III.7. Noter l'existence de la distension à Béni-Rached (BR).

composante horizontale du mouvement est senestre sur une grande partie de la faille et dextre sur la branche NE.

Le calcul effectué à partir de ce modèle (A. Cisternas et al., 1981) montre l'existence de contraintes distensives induites dans la région de Béni-Rached par le jeu de la faille principale (voir figure III.8).

Les hypothèses du modèle correspondent effectivement à ce que l'on observe sur le terrain. Le déplacement senestre le long de la faille principale a bien été relevé. Le déplacement dextre sur la branche nord a également été observé.

D'autre part, des mécanismes de faille normale (voir chapitre VII) ont été calculés pour des séismes qui se sont produits aux environs du coude de la faille.

L'ensemble des remarques souligne l'origine tectonique du système de failles normales de Béni-Rached. Il est cependant probable que la fracture a été guidée par la topographie et que la gravité a joué un rôle important.

CHAPITRE IV

LA CAMPAGNE D'ENREGISTREMENT DES REPLIQUES
ACQUISITION DES DONNEES

IV.1. INTERVENTION SUR LE TERRAIN

IV.1.1. La première mission Franco-Algérienne

IV.1.2. Les autres missions

IV.2. MATERIEL UTILISE ET CHOIX DES SITES

IV.2.1. Les stations sismologiques

IV.2.2. Choix des sites

IV.3. LES DIFFERENTES SOURCES DE DONNEES SISMOLOGIQUES

Le séisme d'El-Asnam du 10 octobre 1980 a été enregistré à la station sismologique de Grenoble, 2 mn et 20 sec environ après qu'il se soit produit. La distance épacentrale ($9,69^\circ$) déterminée à Grenoble et sa forte magnitude ont été les éléments qui ont amené les sismologues du Laboratoire de Géophysique Interne de Grenoble à recueillir rapidement les informations nécessaires en vue d'une intervention sur le terrain.

La détermination rapide de l'épicentre (région d'El-Asnam) effectuée par le Centre Sismologique Européo-Méditerranéen (C.S.E.M.) de Strasbourg et l'existence d'accords franco-algériens dans le domaine de la sismologie nous ont permis d'intervenir sur le terrain dès le lendemain.

IV.1. INTERVENTION SUR LE TERRAIN

En novembre et décembre 1979, nous avons effectué en Algérie du nord trois expériences d'enregistrement de microsismicité (El-Asnam, Blida, Sétif). Cette étude dont les résultats sont présentés en annexe de cet ouvrage, a été faite dans le cadre d'une collaboration entre le C.R.A.G. (Centre de Recherches et d'Applications en Géosciences) du côté algérien et l'I.N.A.G. (Institut National d'Astronomie et de Géophysique) du côté français. Il s'agissait en fait d'une campagne préliminaire en vue d'une étude plus détaillée de la sismotectonique en Algérie du nord.

La connaissance de la région d'El-Asnam après l'expérience de 1979 nous a servi à prendre très vite (2 heures après le séisme environ) la décision de nous rendre sur le terrain.

IV.1.1. La première mission Franco-Algérienne

La première mission franco-algérienne était composée au départ de quatre personnes dont deux du Laboratoire de Géophysique Interne de Grenoble et deux de l'Institut de Physique du Globe de Paris. Elle s'est rendue à Alger le 11 octobre emportant cinq stations sismologiques à enregistrement graphique.

Les stations sismologiques ont été installées rapidement et ont commencé à enregistrer les répliques dès le 12 octobre en début d'après-midi.

Le réseau qui était composé de 14 stations sismologiques dont huit appartenant à l'I.P.G. de Paris et six au Service de Physique du Globe de Rabat (Maroc) a été complété jusqu'à 28 stations sismologiques par le service du C.E.A. (Commissariat à l'Energie Atomique, France) et l'université de Cambridge.

Les chercheurs du L.G.I. de Grenoble et de l'I.P.G. de Paris se sont relayés afin d'assurer le fonctionnement continu du réseau pendant une période d'un mois.

IV.1.2. Les autres missions

Pendant plusieurs mois, des spécialistes venus de différents laboratoires se sont rendus dans la région d'El-Asnam. Le quartier général de toutes les missions était situé au barrage de Oued-Fodda à environ 20 kilomètres au sud de la faille principale.

L'ensemble des activités scientifiques était coordonné par le ministère algérien de l'enseignement supérieur.

a) En sismologie.

En plus de la première mission (voir IV.1.1), le C.E.A. (Commissariat à l'énergie atomique, France) a installé sur le terrain trois stations sismologiques à enregistrement magnétique ; l'université de Cambridge disposait en tout de onze stations à enregistrement graphique.

Le tableau IV.A donne la liste des stations sismologiques avec leur type, leur appartenance et la période de fonctionnement.

Le prolongement de l'enregistrement des répliques dans la région a été assuré par l'installation du réseau télémétré de l'I.P.G. de Strasbourg (6 stations) et de deux autres stations autonomes (enregistrement magnétique). Ce système a pris la relève du réseau temporaire initial le 16 novembre 1980 et son fonctionnement s'est prolongé jusqu'au 28 février 1981.

b) Génie civil, construction parasismique.

Trois accéléromètres ont été installés par le C.E.A. et cinq par l'Institut yougoslave de sismologie. Des spécialistes japonais et un représentant de l'U.N.E.S.C.O. étaient également sur le terrain pour étudier les effets du séisme sur les édifices. La figure IV.1 montre l'accélérogramme d'une réplique qui s'est produite dans la région d'El-Asnam. On peut noter l'importante accélération des ondes S par rapport à celle des ondes P.

c) Géologie et nivellement.

Une cartographie très détaillée des déformations de surface a été effectuée simultanément et de façon indépendante par plusieurs centres de recherche dont le C.R.A.G. (Centre de Recherches et d'Applications en Géosciences, Alger) et les universités de Paris 7, Montpellier et Cambridge.

Une couverture aérienne au 1/15.000^e a été faite dans la région sinistrée avant que les traces des déformations ne soient effacées par l'érosion. Une carte des ruptures en surface a été établie à partir de ces photographies (H. Philip, M. Meghraoui, 1981) (voir figure III.3).

Une campagne de nivellement a été entreprise aux environs du 20 juin 1981 dans la région (J.C. Ruegg, I.P.G. Paris). Elle a pour objectif d'étudier les amplitudes des déformations.

TABLEAU IV.4

Liste des stations sismologiques ayant fonctionné à El Asnam
entre le 12 octobre et le 16 novembre 1980

STATION	APPARTENANCE	TYPE	PERIODE DE FONCTIONNEMENT	OBSERVATIONS
SAF	IPGP ou SPGR	Graph. (12mm/mn)	12.10-16.11.80	
OUL	"	"	"	
CRA	"	"	"	
MAS	"	"	"	
CAV	"	"	13.10-28.10.80	Dépl. à ROU
ZEK	"	"	15.10-16.11.80	
BEN	"	"	"	
EL 1	"	"	15.10-17.10.80	Dépl. à EL2
TNI	"	"	"	
BOU	"	"	16.10-16.11.80	
SKK	"	"	"	
EL 2	"	"	17.10-16.11.80	
BEZ	IPGP	Magnétique	16.10-16.11.80	
TIK	"	"	16.10-21.10.80	Dépl. à RAC
CHE	"	"	16.10-16.11.80	
RAC	"	"	21.10-16.11.80	
ROU	IPGP ou SPGR	Graph. (12mm/mn)	28.10-16.11.80	
FAT	Un. Cambridge	Graph. (6mm/mn)	22.10-16.11.80	
HAM	"	"	23.10-16.11.80	
BNE	"	"	"	
BUO	"	"	23.10-14.11.80	
SAI	"	"	24.10-16.11.80	
BAH	"	"	"	
BAD	"	"	26.10-14.11.80	
BOR	"	"	25.10-16.11.80	
DAM	"	"	10.11-14.11.80	
BDA	"	"	10.11-15.11.80	
BDB	"	"	7.11-15.11.80	
OLD	CEA	Magnétique	21.10-25.11.80	
ODF	"	"	21.10-25.11.80	
ABA	"	"	22.10-25.11.80	

IPGP : Institut de Physique du Globe de Paris
SPGR : Service de Physique du Globe de Rabat

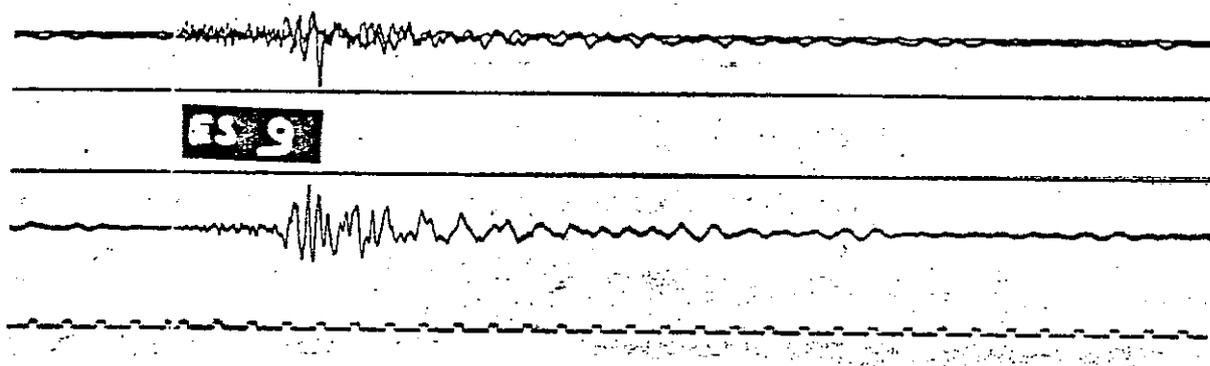


Figure IV.1. Accélérogramme du séisme du 23/10/80 à 9 h 57 mn ($M_L = 4,6$) enregistré à la station SAF. En haut, nous avons les composantes verticale (faible accélération) et NS (accélération plus importante) ; en bas, la composante EW dont le maximum correspond à 180 cm/s^2 . L'échelle de temps est indiquée sur la dernière ligne ; le temps écoulé entre deux marques successives est de 1 seconde.

IV.2. MATERIEL UTILISE ET CHOIX DES SITES

IV.2.1. Les stations sismologiques

Le réseau était composé au total de 28 stations sismologiques dont six à enregistrement magnétique et 22 à enregistrement graphique.

Sur les stations à enregistrement graphique, de type SPRENGNETHER MEQ 800, seule la composante verticale du mouvement est inscrite. La vitesse de déroulement du tambour est de 60 ou 120 mm/mn. Sur les enregistrements, la seconde, la minute et l'heure sont repérées grâce à une horloge à quartz de faible dérive recalée chaque jour à l'aide de signaux horaires émis par la station suisse H.B.G.

Sur les stations à enregistrement magnétique à trois composantes, le mouvement du sol et les signaux horaires émis par la station allemande D.C.F. sont enregistrés simultanément.

IV.2.2. Choix des sites

Les stations sismologiques ont été disposées autour de la faille principale (visible en surface) dont le pendage (vers le NW) nous a suggéré l'installation d'un grand nombre d'enregistreurs sur le compartiment chevauchant. Ceci avait pour but de resserrer au maximum le réseau afin d'avoir des stations le plus proche possible de l'aplomb des foyers des séismes. Cette disposition des stations sismologiques permet d'obtenir des mécanismes au foyer assez précis.

La recherche des sites a été facilitée par la connaissance de la région (campagne de 1979) et l'importante activité sismique qui s'est manifestée après le grand tremblement de terre du 10 octobre 1980. Le nombre important de répliques enregistrées (en moyenne, plus de 80 séismes de magnitude supérieure à 2 par jour), nous a imposé une faible amplification des stations sismologiques. Ainsi, il n'a pas été indispensable de trouver des sites à faible bruit de fond.

Cependant, les enregistrements des stations à faible amplification et éloignées de la zone des répliques (CAV et BOU) n'ont pas été exploités de façon satisfaisante, car seules les répliques de forte magnitude (supérieure à 3,5 environ) y ont été inscrites.

IV. 3. LES DIFFERENTES SOURCES DE DONNEES SISMOLOGIQUES

L'étude des répliques et des mécanismes au foyer a été possible grâce au regroupement de l'ensemble des données sismologiques dont disposaient l'Institut de Physique du Globe de Paris, le Service de Physique du Globe de Rabat (Maroc), l'Université de Cambridge et le Commissariat à l'Energie Atomique (France). La liste des stations sismologiques et de leurs coordonnées géographiques est donnée dans le tableau IV.B qui

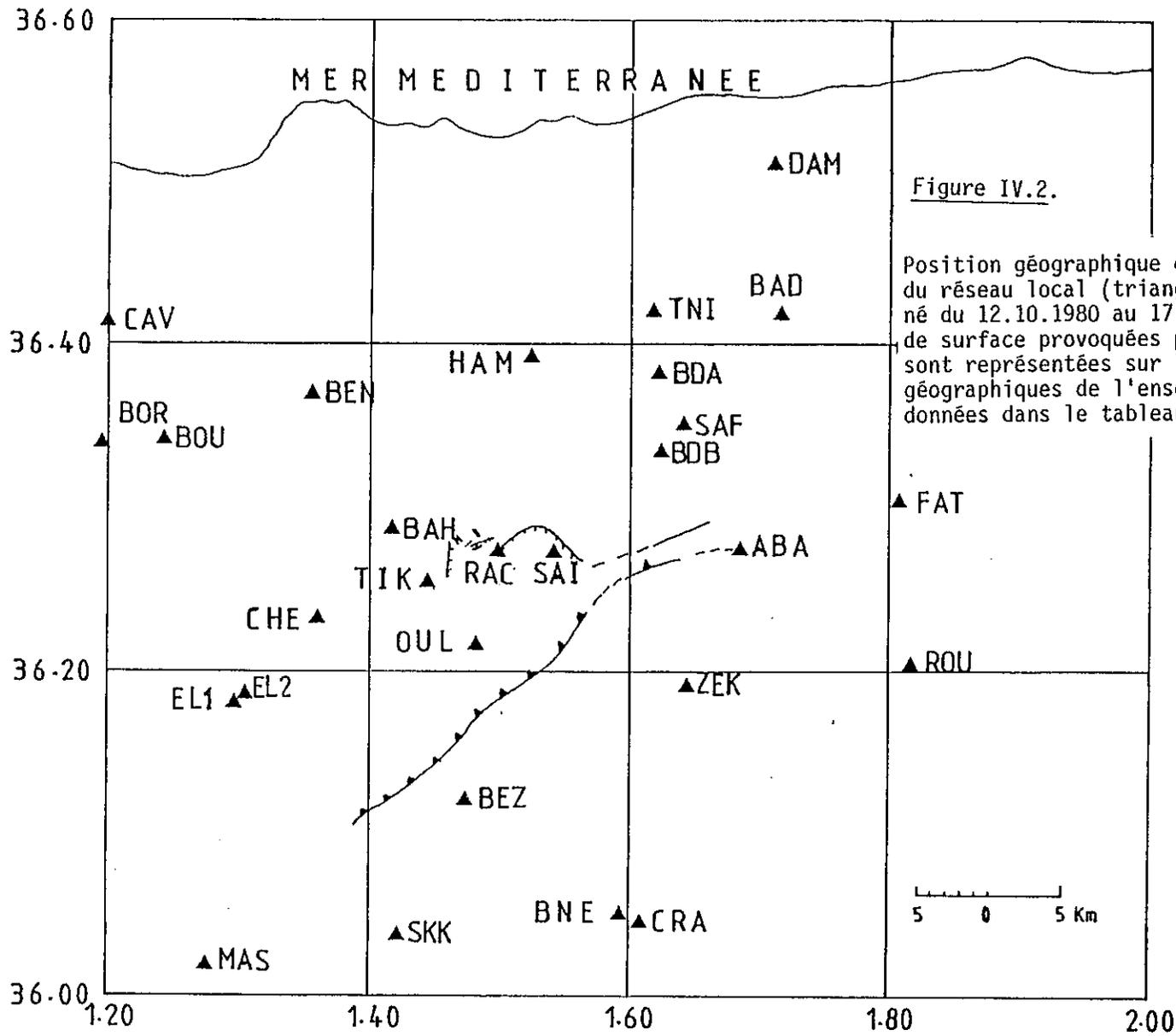


Figure IV.2.

Position géographique des stations sismologiques du réseau local (triangles pleins) qui a fonctionné du 12.10.1980 au 17.11.1980. Les déformations de surface provoquées par le séisme du 10.10.1980 sont représentées sur la carte. Les coordonnées géographiques de l'ensemble de ces stations sont données dans le tableau IV.B

comporte également les stations sismologiques de l'I.P.G. de Strasbourg (TIB, ANN, MED, HAN, GUE, NEB).

D'autre part, nous montrons sur la figure IV.2, la position du réseau de stations par rapport aux déformations de surface.

TABLEAU IV.B

COORDONNEES (degré minute) DES STATIONS SISMOLOGIQUES UTILISEES
(PD1: correction d'altitude en secondes; ELEV: altitude en mètres)

N°	STN	LAT(N)	LON(E)	PD1	ELEV
1	zek	36 11.51	1 38.75	.10	250
2	skk	36 2.37	1 25.43	.13	330
3	mas	36 1.33	1 16.41	.05	140
4	bez	36 7.35	1 28.32	.11	270
5	saf	36 21.09	1 38.52	.23	560
6	che	36 13.93	1 21.62	.08	190
7	tik	36 15.26	1 26.72	.10	255
8	rac	36 16.50	1 29.91	.22	530
9	oul	36 13.01	1 28.80	.06	140
10	bou	36 20.52	1 14.41	.11	280
11	cav	36 24.88	1 11.91	.07	170
12	ben	36 22.24	1 21.40	.17	420
13	eli	36 10.99	1 17.80	.07	180
14	eli2	36 11.09	1 18.21	.07	170
15	tni	36 25.23	1 37.16	.05	120
16	cra	36 2.89	1 36.56	.19	470
17	bad	36 25.22	1 43.13	.23	560
18	bah	36 17.17	1 25.15	.10	250
19	bne	36 3.24	1 35.63	.19	470
20	bor	36 20.33	1 11.23	.17	420
21	buo	36 3.38	1 7.43	.03	88
22	dam	36 30.76	1 42.92	.27	660
23	fat	36 18.35	1 49.80	.10	260
24	ham	36 23.76	1 31.54	.13	320
25	sai	36 16.49	1 32.50	.21	520
26	rou	36 12.53	1 49.02	.11	280
27	bdb	36 20.24	1 37.42	.23	570
28	aba	36 15.78	1 41.04	.07	180
29	odf	36 2.76	1 36.72	.14	350
30	old	36 13.02	1 28.74	.06	140
31	bda	36 23.03	1 37.47	.27	670
32	tib	36 10.12	1 33.92	.10	250
33	ann	36 22.79	1 53.13	.43	1060
34	med	36 15.47	1 20.69	.23	570
35	han	36 21.45	1 42.66	.29	720
36	ruo	36 12.46	1 48.75	.13	330
37	gue	36 2.77	1 22.56	.25	615
38	neb	36 17.02	1 31.82	.26	630

CHAPITRE V

LOCALISATION DES SEISMES

V.1. DESCRIPTION DU PROGRAMME

V.1.1. Les données

V.1.2. Le déroulement du programme

V.1.3. Sortie du programme

V.2. CHOIX DU MODELE DE VITESSE

V.2.1. Les problèmes liés à la structure en profondeur

V.2.2. Le test des modèles de vitesse

V.2.3. Les critères du choix du modèle de vitesse

V.3. ESTIMATION DES ERREURS

V.3.1. Erreurs sur le temps

V.3.2. Erreurs dues au modèle de vitesse

V.3.3. Précision des localisations

V.4. CALCUL DE LA MAGNITUDE

Les programmes de localisation de séismes, HYPO 71 (Lee et Lahr, 1975) et HYPOINVERSE (F.W. Klein, 1978) ont été conçus pour des régions à sismicité superficielle et s'adaptent donc parfaitement à cette étude. Nous avons choisi volontairement d'utiliser le programme HYPOINVERSE.

V. 1. DESCRIPTION DU PROGRAMME

Il existe une version FORTRAN et une version BASIC de ce programme. La deuxième version a été utilisée sur le calculateur H.P. 9845 B du Laboratoire de Géophysique Interne de Grenoble.

V.1.1. Les données

En plus des paramètres de contrôle qui orientent l'exécution du programme, nous devons disposer de données relatives à la structure de vitesse (couches horizontales), l'emplacement des stations sismologiques, le rapport des vitesses et les temps d'arrivée aux différentes stations des ondes P et S.

V.1.2. Le déroulement du programme

L'exécution du programme se fait par un processus itératif contrôlé par des paramètres qui associent un poids à chaque temps d'arrivée, après chaque itération. Le poids de chaque temps d'arrivée est calculé en tenant compte de la distance épacentrale et du résidu.

Il existe également des paramètres de contrôle qui permettent l'arrêt de l'exécution du programme qui se produit pour l'une des conditions suivantes :

13 NOV 80, 0:12 EVENT NO. 1

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LON_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP	XMAG	FMAG			
80	11	13	012	27.62	36	13.48	1.48	7.99	.11	.47	1.53	97	3.5		
RMSWT DMIN ITR NFM NWR NWS REMK															
.11 4.3 5 28 28 8															
STA	DIST	AZM	AN	P/S	W	SEC+CCOR	(TOBS	-TCAL	-DLY	=RES)	WT	XMG	FMG	R	INFO
aba	4.3	5	149	P	C	29.45	0.00	1.33	1.60	.07	.16	1.00	3.5	.358	
zek	4.7	218	146	P	C	29.27	0.00	1.65	1.64	.10	-.09	1.00	3.5	.384	
tib	11.9	238	119	P	C	30.31	0.00	2.69	2.54	.10	.05	1.00	3.5	.126	
ruo	12.2	99	118	P	D	30.39	0.00	2.76	2.57	.13	.06	1.00	3.5	.227	
rou	12.6	99	117	P	D	30.40	0.00	2.79	2.63	.11	.04	1.00	3.5	.230	
bdb	13.4	339	116	P	D	30.55	0.00	2.93	2.76	.23	-.06	1.00	3.5	.107	
sai	13.5	295	115	P	C	30.74	0.00	3.12	2.77	.21	.14	1.00	3.5	.096	
saf	14.5	347	114	P	D	30.57	0.00	2.95	2.92	.23	-.20	1.00	3.5	.108	
neb	14.8	297	113	P	C	30.71	0.00	3.09	2.97	.26	-.14	1.00	3.5	.086	
fat	16.3	56	111	P	C	31.00	0.00	3.38	3.19	.18	.09	1.00	3.5	.211	
oul	17.8	267	109	P	C	31.11	0.00	3.49	3.44	.06	-.01	1.00	3.5	.071	
oid	17.9	267	109	P	C	31.17	0.00	3.55	3.45	.06	.04	1.00	3.5	.071	
bda	18.3	345	108	P	D	31.35	0.00	3.73	3.51	.27	-.05	1.00	3.5	.110	
bne	20.5	201	106	P	D	31.35	0.00	3.93	3.86	.19	-.12	1.00	3.5	.145	
cra	20.6	197	106	P	D	31.53	0.00	3.91	3.88	.19	-.15	1.00	3.5	.155	
odf	20.7	196	106	P	D	31.59	0.00	3.96	3.90	.14	-.08	1.00	3.5	.157	
tni	22.4	347	104	P	D	31.84	0.00	4.22	4.16	.05	.01	1.00	3.5	.126	
ham	23.5	325	104	P	D	31.95	0.00	4.33	4.34	.13	-.14	1.00	3.6	.109	
bah	24.2	287	103	P	C	32.32	0.00	4.70	4.46	.10	.14	1.00	3.6	.072	
ann	25.3	47	103	P	C	32.60	0.00	4.98	4.64	.43	-.09	1.00	3.6	.267	
ned	30.1	277	100	P	C	33.25	0.00	5.63	5.42	.23	-.02	1.00	3.6	.077	
skk	30.0	227	100	P	C	33.35	0.00	5.73	5.53	.13	.07	1.00	3.6	.116	
ben	33.1	300	99	P	D	33.64	0.00	6.02	5.90	.17	-.05	1.00	3.6	.094	
que	33.7	233	99	P	C	34.01	0.00	6.39	6.00	.25	.14	1.00	3.6	.119	
el2	33.9	262	99	P	C	33.73	0.00	6.11	6.04	.07	.00	1.00	3.6	.083	
bou	41.4	289	97	P	C	35.19	0.00	7.57	7.29	.11	.19	1.00	3.6	.097	
mas	42.8	238	97	P	C	35.20	0.00	7.59	7.51	.05	.02	1.00	3.6	.116	
bor	45.3	297	96	P	C	35.96	0.00	8.34	8.01	.17	.16	1.00	3.6	.101	

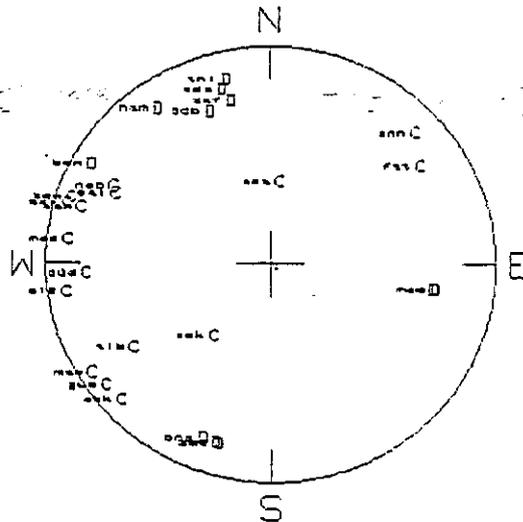


Figure V.1. Exemple de sortie du programme HYPOINVERSE sur le calculateur de bureau H.P. 9845 B. En première ligne sont donnés : la date (YR MO DA), l'heure origine du séisme (ORIGIN), les coordonnées de l'épicentre en degré et minute (LAT-N, LON-E), la profondeur (DEPTH) en kilomètre, le résidu quadratique moyen (RMS) en seconde, le résidu standard sur la position de l'épicentre (ERH) et la profondeur du foyer (ERZ) en km, ainsi que la non-couverture azimutale (GAP) en degré. Les sens du premier mouvement à chaque station sont représentés en projection de Schmidt (ici, de l'hémisphère supérieur) par les lettres C (compression) ou D (dilatation).

- Le nombre d'itérations effectuées est égal à la limite fixée initialement.
- Le résidu moyen pour un séisme devient plus petit qu'un résidu fixé à l'avance, en passant d'une itération à une autre.
- L'ajustement de l'hypocentre se fait d'une longueur inférieure à une valeur initialement fixée.

V.1.3. Sortie du programme

Nous obtenons les coordonnées géographiques de l'épicentre, ainsi que la profondeur du foyer.

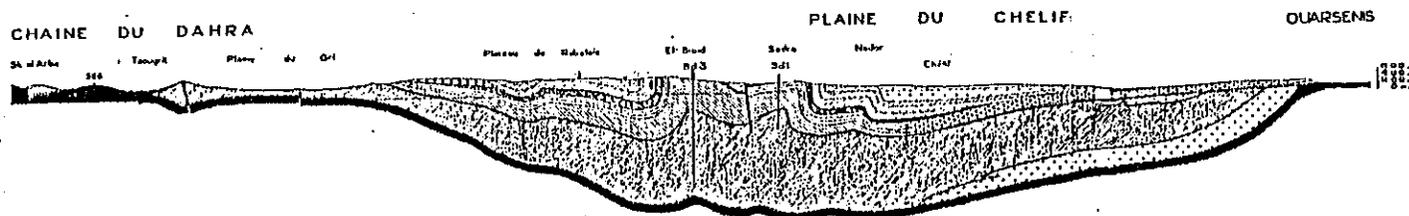
D'autre part, les paramètres liés à la précision des localisations et la couverture azimutale sont également calculés. Il s'agit du résidu quadratique moyen sur l'ensemble des stations (RMS, en secondes), des erreurs standard sur la position de l'épicentre (ERH, en kilomètre) et sur la profondeur du foyer (ERZ, en kilomètre) et la non-couverture azimutale (GAP, en degré).

Nous donnons sur la figure V.1 un exemple de calcul du programme HYPOINVERSE effectué sur le calculateur H.P. 9845 B. Le sens du premier mouvement en chaque station est également représenté sur la sphère focale (projection de Schmidt de l'hémisphère supérieur).

En fait, le programme HYPOINVERSE diffère de HYPO 71 par les paramètres de contrôle et leur utilisation. De plus, il offre la possibilité d'utiliser deux milieux stratifiés séparés par une faille. Il y a donc dans ce cas utilisation simultanée de deux modèles de vitesse différents.

V.2. CHOIX DU MODELE DE VITESSE

Le programme HYPOINVERSE que nous avons utilisé fonctionne avec un modèle à couches planes, horizontales de vitesses constantes. Cette configuration ne se rencontre pas souvent dans la nature.



0 1 Echelle 10 km
 L'échelle des hauteurs est la même que celle des longueurs

LEGENDE

- Quaternaire
- 1 Série continentale rouge Villafranchien
- 2 Lumachelle Calabrien
- Grès et limons continentaux à Helix
- Grès marins Astien
- 1 Marnes bleues
- 2 Grès de base
- 3 Calcaires à lithothamniées
- Gypses et marnes gypseuses
- a Marnes à Tripolis avec niveaux gypseux
- b Marnes bleues
- c Calcaires à lithothamniées
- d Grès et sables
- e Couches continentales de Bou Hanifia
- a Marnes
- b Grès et conglomérats
- Substratum anténéogène

Figure V.2. Coupe géologique de la vallée du Chélif (S.N. REPAL) dessinée par A. Perrodon (1951). L'emplacement approximatif de cette coupe est indiqué sur la figure V.3.

V.2.1. Les problèmes liés à la structure en profondeur

La structure de vitesse de la région d'El-Asnam est mal connue. Aucun sondage sismique profond n'a été entrepris avant l'expérience tentée au début de l'année 1981 par les I.P.G. de Paris et de Strasbourg. Dans cette expérience dont les résultats ne sont pas encore publiés, les répliques du séisme du 10 octobre 1980 ont été utilisées comme sources sismiques. Toutefois, une coupe géologique (voir figure V.2) effectuée par la S.N. Repal (1951) montre clairement la complexité de la structure en profondeur de la région d'El-Asnam. En effet, nous sommes en présence d'une couche sédimentaire de près de 4 km d'épaisseur au milieu de la vallée avec un substratum qui affleure au NW et au SE. L'emplacement approximatif de cette coupe qui est orientée NW-SE et qui se situe à environ 25 km à l'ouest de la ville d'El-Asnam est indiqué sur la figure V.3.

Ainsi, un modèle à couches planes est loin de représenter la structure de la croûte dans la région.

D'ailleurs, l'étude des sismogrammes des stations magnétiques à trois composantes montre l'existence de phases réfléchies et réfractées de forte amplitude. On a souvent tendance lorsqu'on dépouille un séisme sur la composante verticale à confondre ces phases avec l'onde de cisaillement (S). Nous donnons sur la figure V.4 quelques exemples qui illustrent cette situation.

Pour cette raison, nous avons pensé qu'il était préférable dans la localisation des séismes de n'utiliser que les premières arrivées (onde P).

V.2.2. Le test des modèles de vitesse

Etant donné la forme de la vallée, le modèle stratifié qui se rapprochera le mieux de la réalité, dépendra de la position du foyer et de la distribution des stations sismologiques.

Pour cela, nous avons choisi six événements répartis sur l'ensemble de la zone qui nous intéresse. Nous avons considéré volontairement cinq modèles constitués d'un demi espace homogène de 5,5 km/s ou 6 km/s surmonté d'une couche de 2 ou 3 km d'épaisseur et de vitesse 4,5 km/s ou 5 km/s. Ces modèles de vitesse numérotés de 1 à 5 sont les suivants :

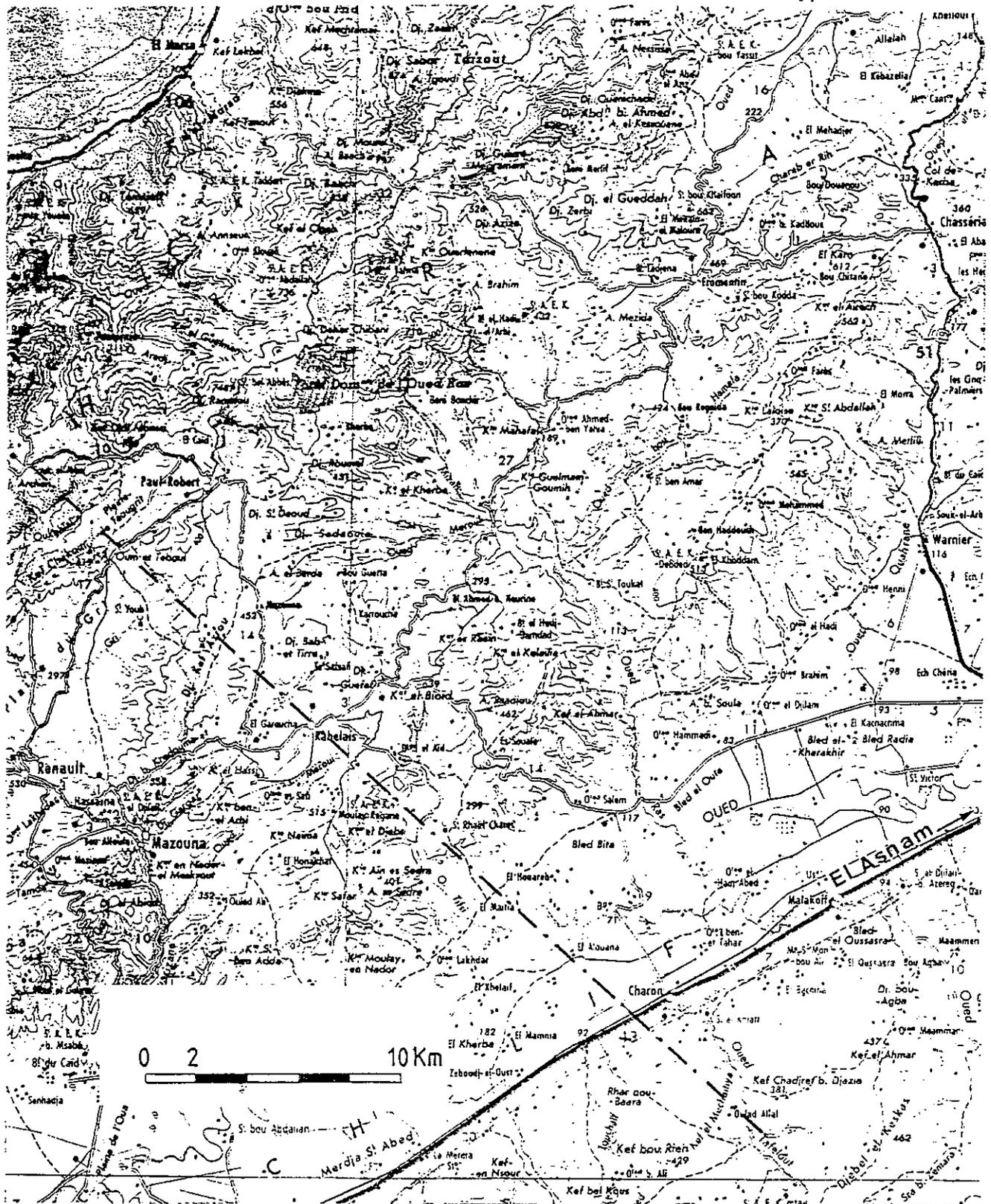


Figure V.3. Emplacement approximatif (selon la ligne en pointillés) de la coupe géologique de la figure V.2.

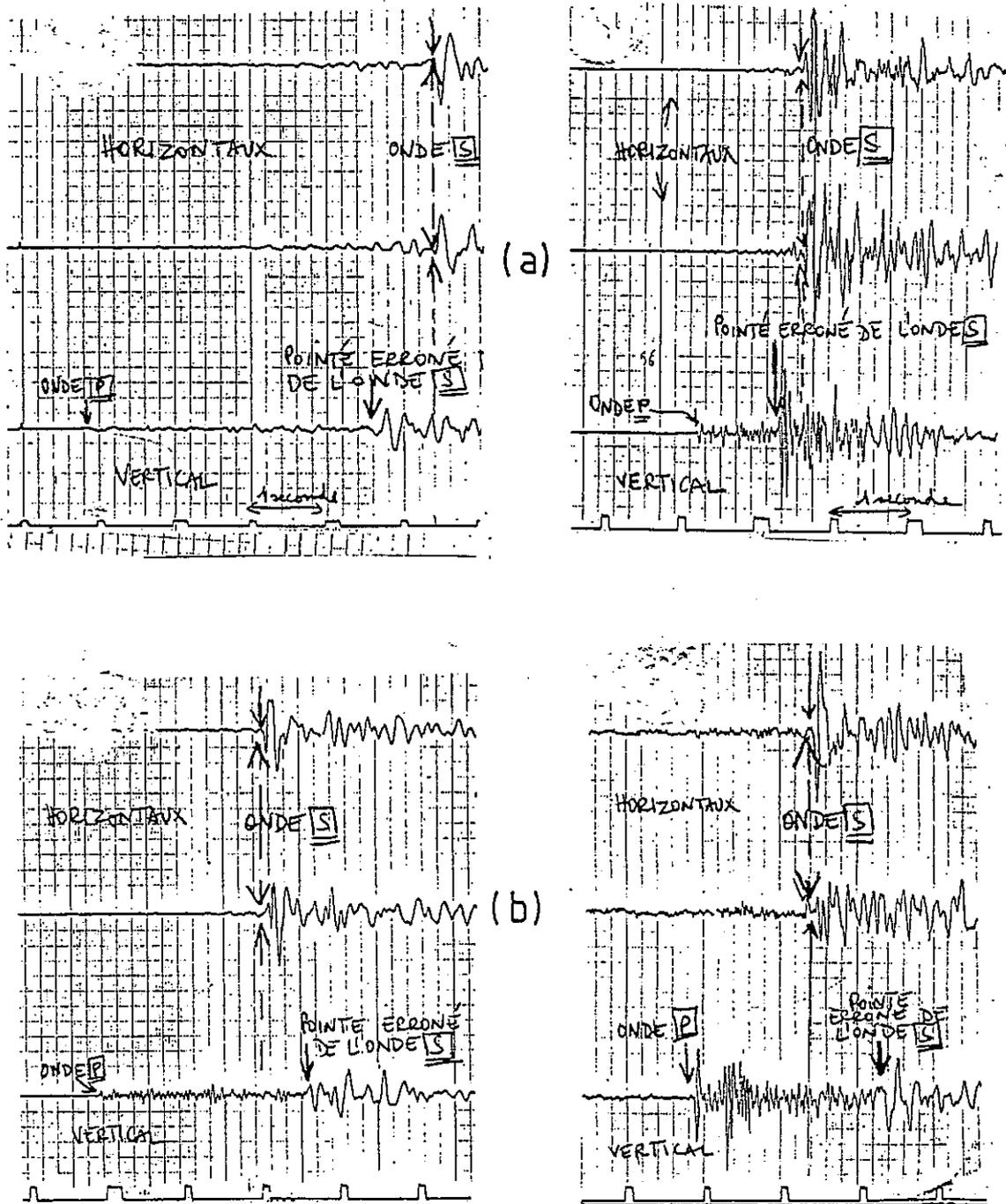


Figure V.4. Problème de l'identification de l'onde S. (a) : deux cas d'une lecture erronée de l'onde S en avance, (b) : deux cas d'une lecture erronée de l'onde S en retard, si le pointé est fait sur la composante verticale. Ces répliques ont été inscrites à El Asnam par des stations à enregistrement magnétique (A. Hirn et al., 1980).

1 :

2 km	4,5 km/s

	6,0 km/s

2 :

3 km	4,5 km/s

	6,0 km/s

3 :

2 km	5,0 km/s

	6,0 km/s

4 :

3 km	5,0 km/s

	6,0 km/s

5 :

2 km	4,5 km/s

	5,5 km/s

Il faut préciser que dans le calcul des hypocentres, il a été tenu compte de l'altitude de chaque station en considérant une vitesse de 2,5 km/s (vitesse dans les marnes). Nous avons constaté que cette correction améliorerait la valeur des résidus.

Sur le tableau V.A, nous présentons les résultats obtenus pour chacun des cinq modèles. Le calcul a été effectué sur le calculateur H.P. 9845 B.

Nous montrons également sur le tableau V.B les résidus obtenus à chaque station sismologique, pour les différents modèles de structure et chacun des six séismes.

V.2.3. Les critères du choix du modèle de structure

Nous avons vu (V.2.2) qu'un modèle de structure en strates ne correspond pas à ce qui est observé dans la vallée du Chelif.

Or, l'utilisation du programme de calcul HYPOINVERSE nous impose un modèle à couches planes. Nous avons alors opté pour la détermination d'un modèle moyen pour lequel le résidu moyen et les erreurs standard sur la position de l'épicentre et la profondeur du foyer sont minimales.

En fait, les paramètres (RMS, ERH, ERZ) qui sont liés directement au modèle de vitesse utilisé, dépendent également de la position du foyer, comme nous pouvons le voir sur le tableau V.A. Ceci montre bien la complexité de la structure de vitesse de la région.

Ainsi, le choix du modèle n° 4 a été fait en tenant compte des RMS, ERH et ERZ moyennés pour chaque modèle sur l'ensemble des six séismes utilisés. Les résultats sont rassemblés dans le tableau V.C.

En effet, nous avons obtenu les meilleurs RMS et ERZ moyens pour le modèle n° 4. Le ERH moyen pour ce modèle se situe en deuxième position.

V.3. ESTIMATION DES ERREURS

Les erreurs sont essentiellement de trois sortes :

- Erreurs sur le temps.
- Erreurs dues au modèle de vitesse.
- Erreurs dues au programme de calcul.

V.3.1. Erreurs sur le temps

- Erreur de lecture.

Il faut distinguer le cas des enregistrements magnétiques et celui des enregistrements graphiques.

Tableau V.A. Résultats du programme HYPOINVERSE pour les 5 modèles de vitesse et les 6 séismes choisis pour le test. La signification des paramètres est la même que sur la figure V.1.

MODELE 1:

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-26  256 41.61 36 26.00  1 37.69  1.70  .15  .62  .64 129
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.15 1.7  4 18 19  0
```

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-27  338 5.95 36 4.17  1 21.51  8.35  .13  .65  2.72 115
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.14 6.0  5 23 23  0
```

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-27  739 59.70 36 13.12  1 26.86  5.59  .14  .49  1.48  41
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.14 2.5  4 22 22  0
```

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-27  1432 50.72 36 22.32  1 40.07  5.54  .16  .63  2.03  79
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.16 3.3  5 16 22  0
```

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-27  1715 8.87 36 10.77  1 42.26  .09  .14  .77  1.69 169
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.15 5.4  6 17 22  0
```

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-27  2212 49.09 36 3.65  1 22.21  8.34  .12  .74  2.64 126
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.12 5.4  5 20 21  0
```

MODELE 2:

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-26  256 41.43 36 26.07  1 37.76  2.60  .15  .77  .72 129
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.15 1.0  5 18 19  0
```

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-27  338 5.01 36 4.16  1 21.52  8.96  .13  .65  2.65 115
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.14 6.0  5 23 23  0
```

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-27  739 59.57 36 13.12  1 26.83  6.02  .14  .49  1.35  41
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.14 2.5  4 22 22  0
```

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-27  1432 50.59 36 22.32  1 40.05  6.15  .15  .62  1.97  78
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.16 3.2  5 16 22  0
```

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-27  1715 8.37 36 10.69  1 43.04  .26  .11  .76  1.59 176
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.11 6.6  6 17 22  0
```

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-27  2212 49.74 36 3.62  1 22.24  9.06  .12  .74  2.55 127
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.12 5.3  5 20 21  0
```

MODELE 3:

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-26  256 41.66 36 26.04  1 37.75  1.60  .15  .76  .98 129
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.15 1.0  5 18 19  0
```

```
-----
YR MO DA  ORIGIN  LAT_N  LON_E  DEPTH  RMS  ERH  ERZ GAP
80-10-27  338 6.03 36 4.17  1 21.52  8.14  .13  .65  2.70 115
```

```
RMSHT DMIN ITR NFM NHR NWS REMK
.13 6.0  5 23 23  0
```

Tableau V.A. Suite.

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	739 59.78 36	13.13	1 26.85	5.42	.14	.49	1.38	41

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.14 2.5 4 22 22 0

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	1432 50.80 36	22.33	1 40.06	5.41	.16	.63	2.02	79

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.16 3.3 5 16 22 0

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	1715 9.01 36	10.79	1 42.20	.18	.14	.81	2.16	168

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.15 5.3 5 17 22 0

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	2212 49.97 36	3.66	1 22.21	8.04	.12	.73	2.62	126

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.12 5.4 5 20 21 0

MODELE 4:

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	26	256 41.48 36	26.15	1 37.88	1.85	.14	.61	.65	129

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.15 1.9 5 19 20 0

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	338 5.93 36	4.10	1 21.53	0.66	.13	.65	2.63	115

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.14 6.8 5 23 23 0

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	739 59.69 36	13.13	1 26.85	5.74	.14	.49	1.33	41

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.14 2.5 4 22 22 0

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	1432 50.70 36	22.32	1 40.04	5.86	.15	.62	1.95	78

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.16 3.2 5 16 22 0

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	1715 8.62 36	10.66	1 42.98	.67	.12	.89	1.24	175

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.12 6.4 5 17 22 0

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	2212 49.86 36	3.64	1 22.23	8.64	.12	.74	2.55	126

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.12 5.4 5 20 21 0

MODELE 5:

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	26	256 41.07 36	25.96	1 37.43	6.12	.16	.69	1.44	128

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.21 1.4 4 17 18 0

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	338 5.26 36	4.29	1 21.58	12.71	.15	.68	2.26	112

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.15 6.8 5 23 23 0

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	739 59.28 36	13.16	1 26.82	7.77	.11	.44	1.17	41

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.12 2.5 5 22 22 0

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	1432 50.21 36	22.00	1 39.48	8.98	.17	.78	1.86	72

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.20 2.2 4 16 21 0

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	1715 8.61 36	10.81	1 42.17	4.05	.11	.74	2.60	167

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.12 5.3 8 17 22 0

YR	MO	DA	ORIGIN	LAT_N	LOH_E	DEPTH	RMS	ERH	ERZ	GAP
80	10	27	2212 49.14 36	3.65	1 22.23	13.12	.14	.82	2.38	126

RMSWT DMIN ITR NFM HNR NWS REMK
.14 5.4 6 20 21 0

Tableau V.B. Résidus obtenus à chaque station pour chacun des 5 modèles et des 6 séismes.

-Séisme du 26.10.80 à 2h 56mn.

Station	Mod.1	Mod.2	Mod.3	Mod.4	Mod.5
tni	-.00	-.00	-.00	.12	-.16
saf	-.10	-.09	-.08	-.02	.19
ham	-.26	-.26	-.25	-.19	.09
sai	.23	.27	.28	.25	.56
rac	.43	.42	.43	.48	.69
fat	.01	.03	.03	-.02	.15
bah	.26	.25	.26	.24	.49
ben	-.19	-.19	-.19	-.19	.05
zek	-.16	-.15	-.14	-.19	-.00
oul	.07	.07	.08	.05	.26
bou	.01	.01	.02	.00	.11
cav	-.15	-.15	-.15	-.14	-.08
el2	.15	.15	.16	.13	.19
bor	.09	.08	.09	.09	.12
bne	-.04	-.04	-.04	-.09	-.08
odf	.06	.05	.06	.02	.00
cra	-.26	-.27	-.26	-.32	-.31
skk	.04	.04	.04	.01	-.06
mas	-.03	-.03	-.02	-.05	-.22
buo	.10	.10	.11	.07	-.18

-Séisme du 27.10.80 à 3h 38mn.

Station	Mod.1	Mod.2	Mod.3	Mod.4	Mod.5
skk	.09	.08	.09	.08	-.01
mas	-.12	-.12	-.12	-.13	-.18
el2	-.31	-.31	-.31	-.31	-.26
che	.02	.02	.02	.02	.11
old	.08	.09	.08	.09	.19
oul	-.11	-.12	-.11	-.10	-.02
buo	.07	.08	.08	.08	.14
bne	.06	.08	.06	.07	.12
cra	-.08	-.08	-.08	-.08	-.02
odf	.03	.03	.02	.03	.09
bah	.06	.07	.06	.07	.15
rac	.21	.21	.21	.21	.30
zek	-.23	-.23	-.24	-.23	-.13
bou	.15	.14	.14	.14	.18
ben	-.11	-.11	-.11	-.11	-.08
bor	-.02	-.02	-.02	-.02	.01
aba	.27	.27	.26	.26	.26
ham	-.14	-.14	-.14	-.15	-.15
saf	-.03	-.03	-.03	-.03	-.06
cav	-.13	-.13	-.13	-.14	-.18
tni	.00	-.00	-.01	.00	-.08
fat	.20	.22	.22	.22	.08
bad	.02	.02	.02	.02	-.12

-Séisme du 27.10.80 à 17h 15mn

Station	Mod.1	Mod.2	Mod.3	Mod.4	Mod.5
zek	-.21	.04	-.21	-.05	-.07
odf	.06	.22	.07	.28	.37
cra	-.31	.09	-.29	-.13	-.01
bne	-.17	-.17	-.16	-.01	.12
fat	-.22	-.04	.08	.07	.36
sai	.05	.11	-.23	.13	.04
saf	-.34	-.20	-.32	-.19	-.06
oul	-.20	-.17	-.18	-.13	.07
rac	-.05	-.00	-.02	.03	.21
bad	-.24	-.03	-.22	-.04	-.07
tni	-.12	.01	-.10	.02	.04
bah	.02	.06	.05	.09	.18
ham	-.24	-.14	-.21	-.13	-.03
skk	-.10	-.03	-.08	.01	.03
che	.05	.09	.08	.12	.16
el2	-.07	-.03	-.04	.01	-.02
ben	.02	.08	.05	.09	.05
mas	-.06	-.00	-.04	.04	-.12
bou	.11	.16	.14	.18	.02
bor	.12	.16	.15	.20	-.03
cav	.05	.10	.08	.13	-.14
buo	-.03	.02	.00	.06	-.25

Tableau V.B. Suite.

-Séisme du 27.10.80 à 7h 39mn

Station	Mod.1	Mod.2	Mod.3	Mod.4	Mod.5
old	.16	.16	.15	.16	.15
oul	-.04	-.03	-.04	-.03	-.04
rac	.23	.24	.22	.23	.31
bah	-.12	-.11	-.11	-.10	-.03
che	-.26	-.24	-.25	-.26	-.17
el2	-.12	-.11	-.13	-.12	-.03
zek	-.18	-.18	-.17	-.17	-.11
ben	-.17	-.15	-.15	-.16	-.09
skk	.22	.22	.23	.22	.26
ham	-.11	-.11	-.10	-.11	-.07
bne	-.08	-.09	-.09	-.09	-.08
saf	.13	.12	.12	.12	.14
bou	-.02	-.03	-.03	-.03	.00
cra	-.16	-.19	-.17	-.17	-.18
odf	-.08	-.01	.00	-.01	-.02
bor	.12	.12	.12	.11	.11
mas	.09	.08	.09	.08	.06
tni	.05	.04	.05	.05	.02
cav	-.02	-.02	-.01	-.02	-.07
bad	.14	.13	.13	.12	.03
buo	.07	.06	.07	.06	-.05
fat	.25	.25	.26	.25	.11

-Séisme du 27.10.80 à 14h 32mn

Station	Mod.1	Mod.2	Mod.3	Mod.4	Mod.5
saf	.06	.05	.05	.05	-.08
tni	-.08	-.08	-.09	-.08	-.09
bad	-.01	-.01	-.01	-.00	-.13
ham	-.25	-.25	-.25	-.24	-.07
sai	.19	.21	.19	.20	.44
fat	.21	.20	.21	.21	.20
rac	.26	.26	.25	.26	.50
zek	-.23	-.22	-.23	-.22	-.05
oul	-.04	-.03	-.04	-.04	.17
bah	.16	.16	.15	.16	.37
ben	-.15	-.15	-.15	-.15	-.01
che	.40	.40	.40	.40	.55
bne	-.11	-.12	-.12	-.12	-.08
odf	.05	.05	.05	.05	.08
cra	-.28	-.29	-.28	-.29	-.26
bou	.17	.17	.17	.17	.21
el2	.09	.09	.09	.09	.15
cav	-.06	-.05	-.05	-.05	-.09
skk	.07	.06	.06	.05	.05
bor	.20	.19	.20	.20	.18
mas	-.09	-.10	-.10	-.10	-.22
buo	.04	.05	.05	.04	-.19

-Séisme du 27.10.80 à 22h 12mn

Station	Mod.1	Mod.2	Mod.3	Mod.4	Mod.5
skk	.06	.06	.07	.06	-.08
mas	-.11	-.12	-.11	-.11	-.15
el2	-.28	-.27	-.26	-.26	-.22
che	.13	.13	.13	.14	.20
oul	-.10	-.10	-.10	-.09	-.02
bne	.12	.14	.12	.13	.20
cra	-.05	-.04	-.05	-.04	.03
buo	.06	.06	.06	.07	.14
bah	.09	.09	.09	.10	.17
rac	.16	.17	.16	.17	.24
sai	.07	.07	.07	.07	.13
zek	-.25	-.23	-.24	-.23	-.17
bou	.17	.15	.17	.16	.19
ben	-.07	-.08	-.07	-.07	-.05
bor	-.08	-.08	-.08	-.08	-.05
ham	-.08	-.08	-.08	-.09	-.11
saf	-.02	-.01	-.02	-.01	-.05
cav	-.11	-.13	-.11	-.12	-.17
tni	-.04	-.05	-.04	-.05	-.14
fat	.17	.17	.15	.16	.03
bad	.05	.06	.06	.05	-.08

TABLEAU V.C.
CALCUL DES RMS, ERH ET ERZ MOYENS

Modèle Séisme		1	2	3	4	5
26/10/80 2:56	RMS	0,15	0,15	0,15	0,14	0,16
	ERH	0,62	0,77	0,76	0,61	0,69
	ERZ	0,64	0,72	0,98	0,65	1,44
27/10/80 3:38	RMS	0,13	0,13	0,13	0,13	0,15
	ERH	0,65	0,65	0,65	0,65	0,68
	ERZ	2,72	2,65	2,70	2,63	2,26
27/10/80 7:39	RMS	0,14	0,14	0,14	0,14	0,11
	ERH	0,49	0,49	0,49	0,49	0,44
	ERZ	1,40	1,35	1,38	1,33	1,17
27/10/80 14:32	RMS	0,16	0,15	0,16	0,15	0,17
	ERH	0,63	0,62	0,63	0,62	0,78
	ERZ	2,03	1,97	2,02	1,95	1,86
27/10/80 17:15	RMS	0,14	0,11	0,14	0,12	0,11
	ERH	0,77	0,76	0,81	0,89	0,74
	ERZ	1,69	1,59	2,16	1,24	2,60
27/10/80 22:12	RMS	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14
	ERH	0,74	0,74	0,73	0,74	0,82
	ERZ	2,64	2,55	2,62	2,55	2,38
RMS moyen		0,14	0,13	0,14	0,13	0,14
ERH moyen		0,65	0,67	0,68	0,67	0,69
ERZ moyen		1,85	1,80	1,98	1,72	1,95

Pour les enregistrements magnétiques, la précision de lecture dépend de la vitesse de défilement du papier quand on fait rejouer la bande magnétique. On peut atteindre une précision de quelques centièmes de seconde.

Dans le cas des enregistrements graphiques, nous pouvons lire à l'aide d'une loupe graduée, le $1/10^e$ de mm. Il s'ensuit une erreur de lecture de $1/10^e$ de seconde pour les enregistrements effectués à 6 cm/mn et de $1/20^e$ de seconde pour ceux effectués à 12 cm/mn.

- Dérive de l'horloge.

Les stations à enregistrement magnétique sont munies d'une radio qui reçoit les signaux horaires du poste allemand D.C.F. Ces signaux sont inscrits sur la bande magnétique. Dans ce cas, il n'y a donc aucune dérive à prendre en considération.

Par contre, sur les enregistrements des stations SPRENGNETHER, les tops sont inscrits toutes les secondes. Ces tops sont générés par une horloge à quartz incorporée, de faible dérive.

Nous donnons ci-dessous la dérive maximale et moyenne des horloges pour certaines stations.

TABLEAU V.D

Station	Dérive maximale/24 h	Dérive moyenne/24 h
ROU	0.03 s	0.02 s
ZEK	0.05 s	0.05 s
EL2	0.05 s	0.03 s
MAS	0.05 s	0.02 s
CRA	0.03 s	0.01 s
OUL	0.05 s	0.01 s
BEN	0.05 s	0.04 s
SKK	0.05 s	0.03 s
SAF	0.03 s	0.01 s
BOU	0.03 s	0.01 s

Pour les autres stations à enregistrement graphique, la dérive est à peu près du même ordre de grandeur.

La dérive maximale des horloges ne dépasse pas $5/100^e$ de seconde en 24 heures. D'autre part, la correction horaire est effectuée par interpolation. Cette procédure est possible grâce à la linéarité de la dérive (voir figure V.5).

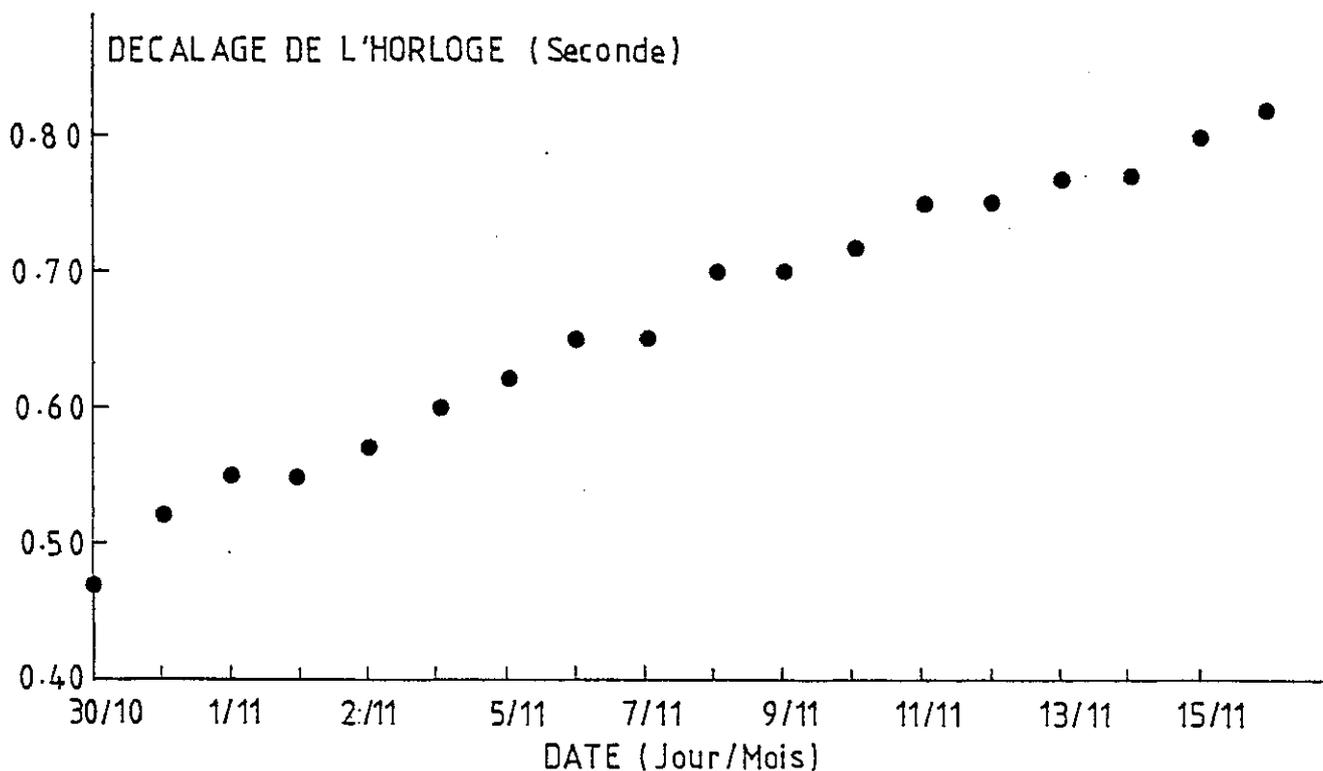


Figure V.5. Exemple de dérive d'une horloge à quartz en fonction du temps (station ROU).

De cette façon, nous estimons que l'erreur due à la dérive des horloges est de l'ordre de l'erreur que l'on commet en mesurant cette dérive, c'est-à-dire $2/100^e$ de seconde environ.

- Erreurs mécaniques liées à l'enregistrement.

Elles sont dues essentiellement à l'irrégularité des marques de temps sur l'enregistrement (frottement de galets d'entraînement du cylindre, contraction de papier) et à l'épaisseur du trait. La première erreur est éliminée par l'existence sur l'enregistrement de marques horaires toutes les secondes. La deuxième erreur qui correspond au $1/10^e$ de mm peut être très amoindrie en plaçant le curseur sur le même bord du trait du top seconde et de l'arrivée du séisme.

V.3.2. Erreurs dues au modèle de vitesse

Du fait de l'inexistence de données relatives à la structure en profondeur dans la région d'El-Asnam, il nous est difficile d'estimer les erreurs produites par le modèle de vitesse choisi dans cette étude.

Nous nous contenterons donc de comparer les résultats obtenus à partir des modèles de vitesse que nous avons testés.

- Position de l'épicentre.

Les écarts entre les épicentres calculés pour différents modèles de vitesse sont généralement faibles (inférieurs à 500 mètres), sauf dans le cas de séismes très superficiels (ex. : séisme du 27/10/80 à 17 h 15 min, $h = 0,67$ km) ou d'épicentres situés à l'extérieur du réseau où l'écart peut atteindre 1 km environ (voir tableau V.E).

- Variation de la profondeur.

L'écart maximal pour l'ensemble des six séismes utilisés et pour les quatre premiers modèles de vitesse est de 1 kilomètre.

Cependant, le modèle n° 5 nous donne des profondeurs plus importantes (voir tableau V.F). Mais, la valeur relativement élevée des paramètres RMS, ERH et ERZ, nous indique que ce modèle de structure ne convient pas à la région étudiée.

TABLEAU V.E.

Ecart en mètres entre les épicentres calculés en utilisant les modèles portés sur la ligne et sur la colonne. La diagonale délimite la partie (en haut) correspondant au séisme inscrit en haut et celle (en bas) correspondant au séisme inscrit au bas du tableau.

Séisme du 26/10/80 à 2 h 56 mn.

modèle	1	2	3	4	5
1	0	158	108	274	356
2	23	0	56	181	485
3	13	18	0	221	453
4	32	39	23	0	482
5	238	250	233	212	0

Séisme du 27/10/80 à 3 h 38 mn.

Séisme du 27/10/80 à 7 h 39 mn.

modèle	1	2	3	4	5
1	0	40	23	23	91
2	27	0	32	32	74
3	23	23	0	0	68
4	40	13	32	0	68
5	983	960	983	951	0

Séisme du 27/10/80 à 14 h 32 mn.

Séisme du 27/10/80 à 17 h 15 mn.

modèle	1	2	3	4	5
1	0	1055	88	880	141
2	68	0	1140	195	1186
3	18	83	0	967	54
4	32	39	45	0	1015
5	27	56	32	18	0

Séisme du 27/10/80 à 22 h 12 mn.

TABLEAU V.F.

PROFONDEUR (KM) POUR CHAQUE SEISME
ET DIFFERENTS MODELES DE VITESSE

Modèle Séisme	1	2	3	4	5
26, 2 h 56 mn	1.70	2.60	1.60	1.85	6.12
27, 3 h 38 mn	8.35	8.96	8.14	8.66	12.71
27, 7 h 39 mn	5.59	6.02	5.42	5.74	7.77
27, 14 h 32 mn	5.54	6.15	5.41	5.86	8.98
27, 17 h 15 mn	0.09	0.26	0.18	0.67	4.05
27, 22 h 12 mn	8.34	9.06	8.04	8.64	13.12

V.3.3. Précision des localisations

Prenant en compte l'ensemble des erreurs que nous avons énumérées ci-dessus, on estime la précision des localisations à 1 km sur la position de l'épicentre et 2 km sur la profondeur du foyer.

En vérité, il est difficile d'évaluer ces erreurs pour chaque séisme. Toutefois, l'erreur standard sur la position de l'épicentre (ERH) et la profondeur du foyer (ERZ) est calculée par le programme en tenant compte du résidu moyen, du nombre et de la distribution des stations sismologiques. Nous donnons ci-dessous une statistique des paramètres RMS, ERH et ERZ obtenus pour les 494 répliques que nous avons localisées dans cette étude et dont la liste est donnée en annexe (annexe 2).

D'autre part, nous savons que la qualité d'une localisation s'améliore avec le nombre de stations. Nous donnons donc également le nombre d'événements correspondant au nombre de stations qui ont servi à les localiser.

- Distribution des RMS.

Valeur RMS (s)	0. - 0.05	0.05 - 0.10	0.10 - 0.15	0.15 - 0.20	0.20 - 0.25
Nombre de séismes	2	140	286	63	3

Tous les RMS obtenus sont inférieurs à 0,25 s et plus de 57 % de ces valeurs sont comprises entre 0,10 et 0,15 seconde.

Plus de 86 % des séismes localisés dans cette étude ont un résidu moyen inférieur à 0,15 seconde.

- Distribution des ERH.

Valeur ERH (km)	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5
Nombre de séismes	151	229	54	22	18	8	2

Aucune erreur standard sur la position de l'épicentre (ERH) ne dépasse 3,5 km. Le nombre maximum de séismes (46 %) est obtenu pour les valeurs des ERH comprises entre 0,5 et 1,0 km et plus de 87 % des événements ont une erreur standard sur la position de l'épicentre inférieure à 1,5 km.

- Distribution des ERZ.

Valeur ERZ (km)	0.0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-3.5	3.5-4.0
Nombre de séismes	25	176	133	55	24	14	9	7

La distribution maximale des valeurs ERZ qui est de 35 % est obtenue pour la fourchette 0,5-1,0 km et plus de 78 % de ces valeurs sont inférieures à 2,0 km.

- Nombre de stations utilisées.

Nombre de stations	0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25
Nombre de séismes	0	34	112	198	149

Ce tableau montre que plus de 70 % des séismes ont été localisés à l'aide de plus de 15 stations. 7 % seulement des foyers ont été calculés avec moins de 10 stations.

En résumé, la localisation de plus de 70 % des répliques à l'aide de plus de 15 stations sismologiques, nous conduit à :

- des erreurs standard sur la position de l'épicentre inférieures à 1,5 km pour plus de 87 % des séismes localisés.
- des erreurs standard sur la profondeur du foyer inférieures à 2 km pour plus de 78 % des hypocentres calculés.

V.4. CALCUL DE LA MAGNITUDE

Le calcul de la magnitude pour des séismes locaux faibles, se fait généralement par l'utilisation de la durée du signal. Nous assimilons ici cette durée au temps qui sépare le début de l'onde primaire et le retour à l'enregistrement du bruit de fond.

La formule utilisée est :

$$M = a \times \log T - b \times D + c$$

T est la durée du signal (seconde) ; D, la distance épacentrale ; M, la magnitude locale ; a, b et c, les coefficients à déterminer.

Dans ce cas, on est généralement confronté à deux types de problèmes :

- On ne dispose généralement pas de valeurs faibles de la magnitude (< 4) calculées par les observatoires internationaux. On ne peut alors déterminer les coefficients a, b et c de la formule que pour les séismes de magnitude supérieure à 4. La faible fourchette (4-5) de magnitude pour laquelle la formule a alors été calculée ne nous permet pas d'extrapoler aux faibles magnitudes.

Pour pallier cet inconvénient, nous avons choisi parmi les formules qui s'appliquent dans d'autres régions du globe celle qui passe au mieux par les points déterminés par la magnitude (> 4) donnée par les observatoires internationaux et la durée du signal mesurée sur une station de référence (OUL).

Dans cette formule qui est : $M = 2,44 \times \log T - 1,30$ valable pour la région de Pékin (R.D. Adams, 1977), nous avons éliminé le terme relatif à la distance que nous considérons comme négligeable.

- Le deuxième problème concerne les variations locales qui font que la coda dure plus ou moins longtemps selon les sites.

Nous avons alors déterminé les coefficients a et c pour chaque station à partir du calcul de la magnitude donné par la formule de la station de référence.

Enfin, la magnitude de chaque séisme est obtenue par la moyenne des valeurs calculées aux différentes stations.

CHAPITRE VI

VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DE
LA SISMICITE

VI.1. REPARTITION SPATIALE DES EPICENTRES

VI.1.1. La sismicité liée aux déformations de surface

VI.1.2. L'essaim situé aux environs NE de la faille principale

VI.2. REPARTITION DES FOYERS EN PROFONDEUR

VI.2.1. Distribution des profondeurs

VI.2.2. La projection des foyers sur des plans verticaux

VI.3. VARIATION TEMPORELLE DE LA SISMICITE

VI.4. DISTRIBUTION DES MAGNITUDES

494 répliques du séisme d'El-Asnam du 10 octobre 1980 ont été localisées. Cette activité sismique est relative à la période du 15 octobre au 16 novembre 1980.

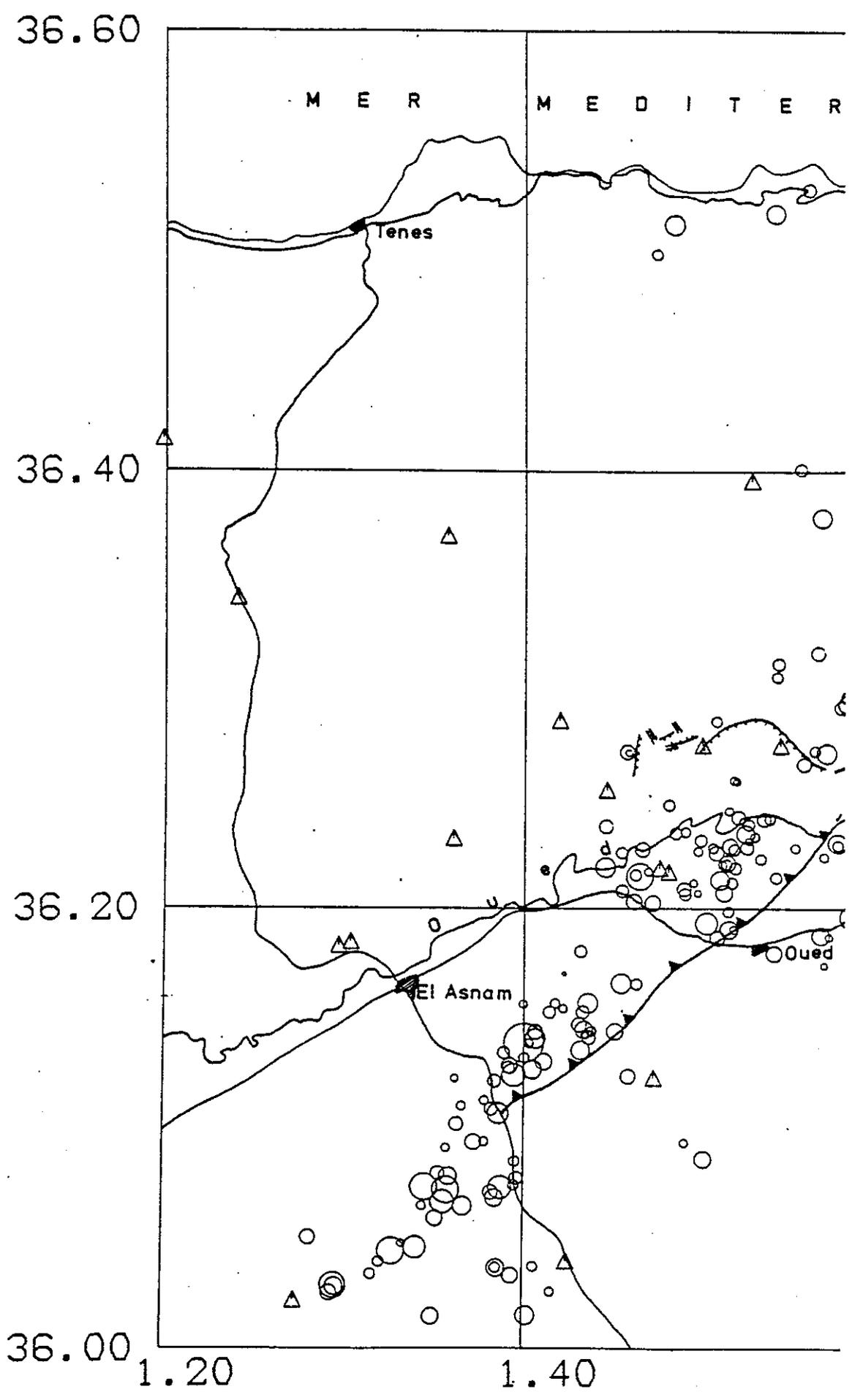
Nous allons étudier dans ce chapitre la répartition spatiale des foyers par rapport aux déformations de surface, ainsi que la variation temporelle de la sismicité. La distribution des magnitudes sera également examinée.

Au cours de ce qui suivra, les foyers les mieux localisés seront considérés comme étant ceux pour lesquels les erreurs standard sur la position de l'épicentre (ERH) et la profondeur (ERZ) sont inférieures à 2 km, le résidu moyen (RMS) inférieur à 0,15 seconde et la distance à la station la plus proche inférieure au double de la profondeur (C. Soufleris et al., 1980).

VI.1. REPARTITION SPATIALE DES EPICENTRES

Sur la figure VI.1 sont reportés tous les séismes que nous avons localisés, soit environ 494 épicentres. La carte des répliques les mieux localisées (figure VI.2) diffère de la première par une diminution du nombre d'épicentres dans la partie septentrionale. Ceci est dû au fait que les séismes qui se sont produits dans cette région (nord) ont généralement de faibles profondeurs. D'ailleurs, le nombre de séismes les mieux localisés qui est de 276 augmente sensiblement (372) lorsqu'on supprime la contrainte sur la profondeur du foyer (figure VI.3).

Nous voyons apparaître deux types de sismicité ; les répliques qui semblent être directement liées aux déformations visibles en surface, et une sismicité très diffuse probablement due à une tectonique plus complexe.



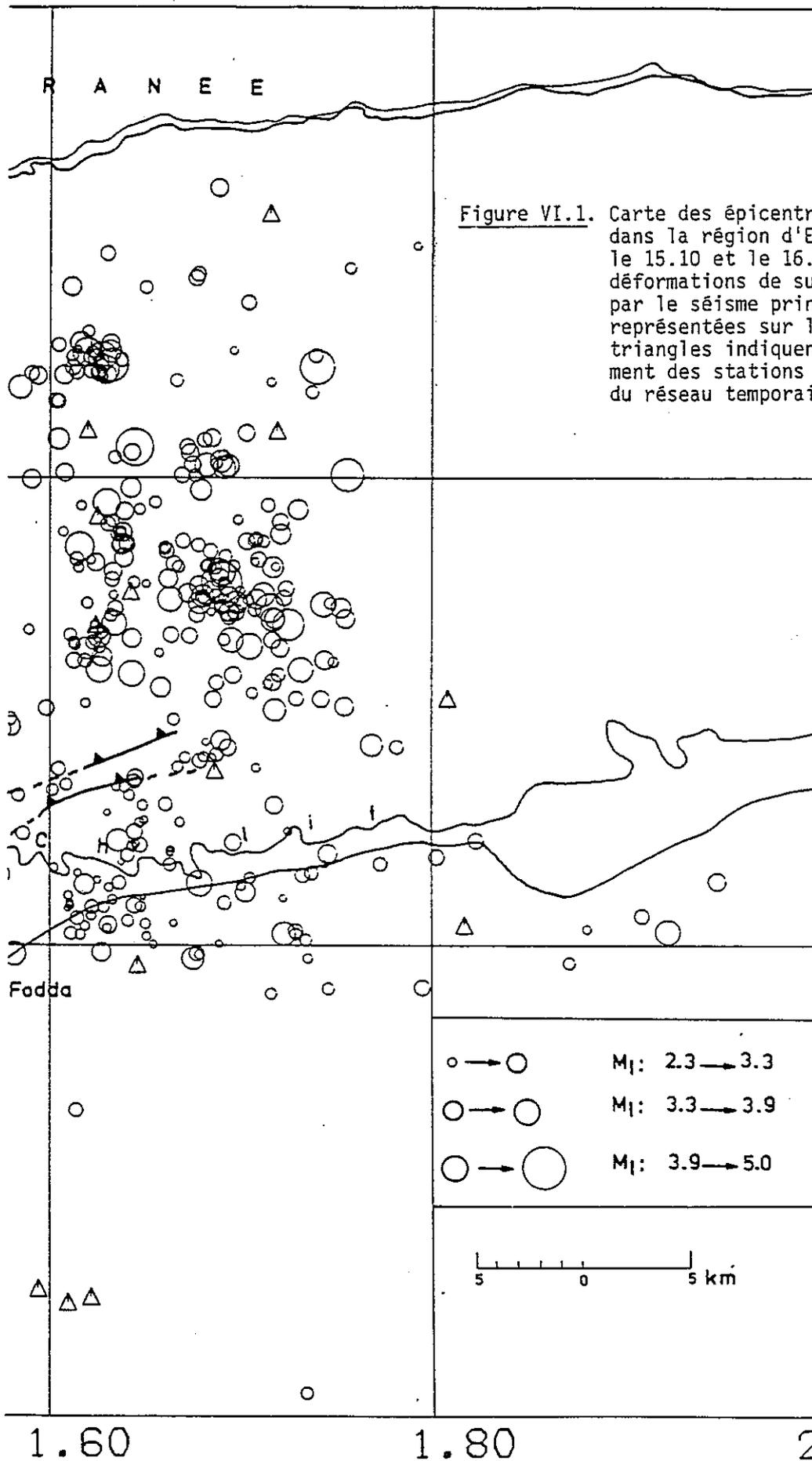


Figure VI.1. Carte des épicentres enregistrés dans la région d'El Asnam entre le 15.10 et le 16.11.1980. Les déformations de surface causées par le séisme principal sont représentées sur la figure. Les triangles indiquent l'emplacement des stations sismologiques du réseau temporaire.

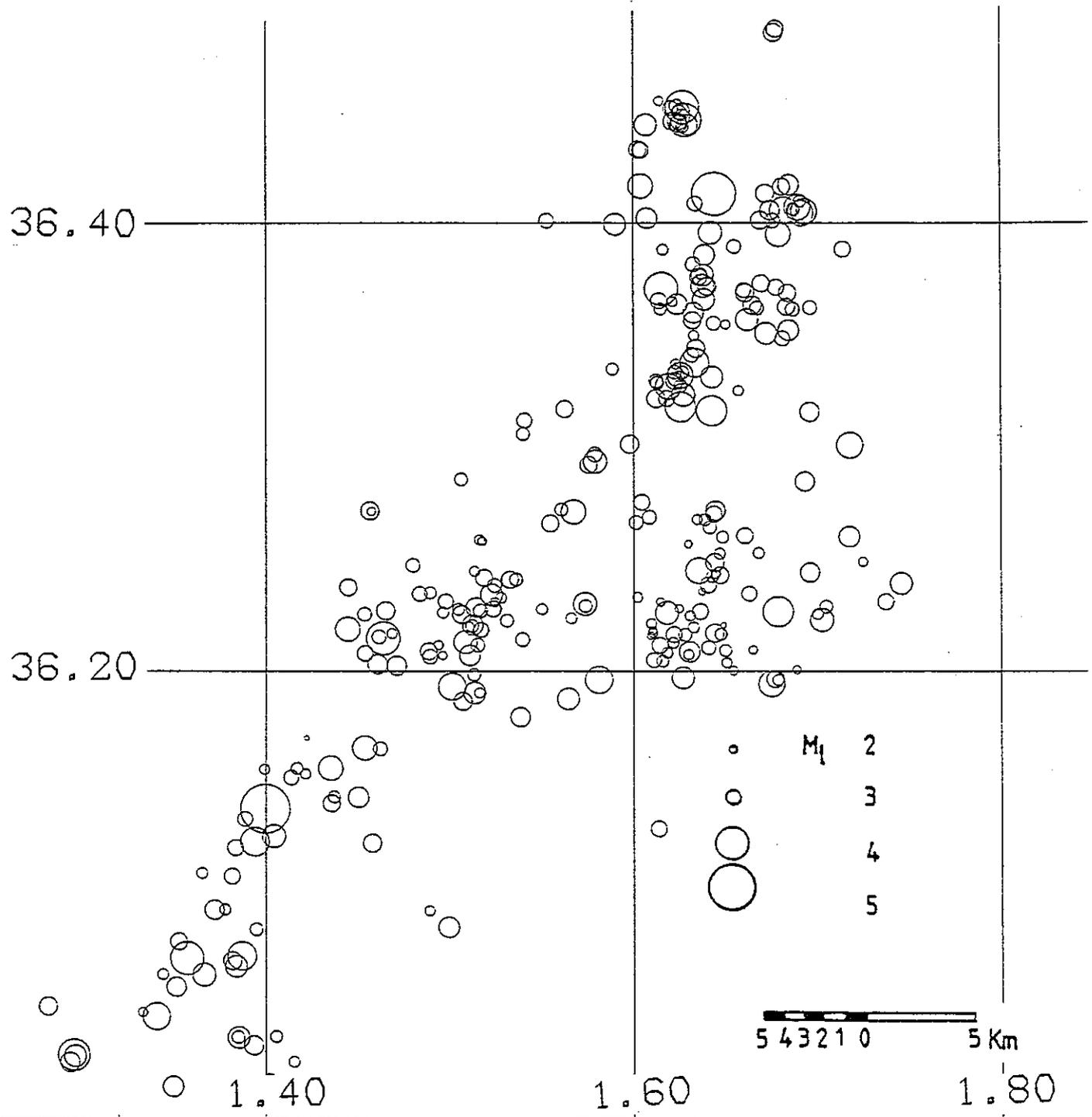


Figure VI.2. Carte des localisations sélectionnées ; erreur standard sur la position de l'épicentre (ERH) et la profondeur du foyer (ERZ) inférieure à 2 km, résidu moyen (RMS) inférieur à 0,15 seconde, la distance de l'épicentre à la station la plus proche inférieure à deux fois la profondeur du foyer.

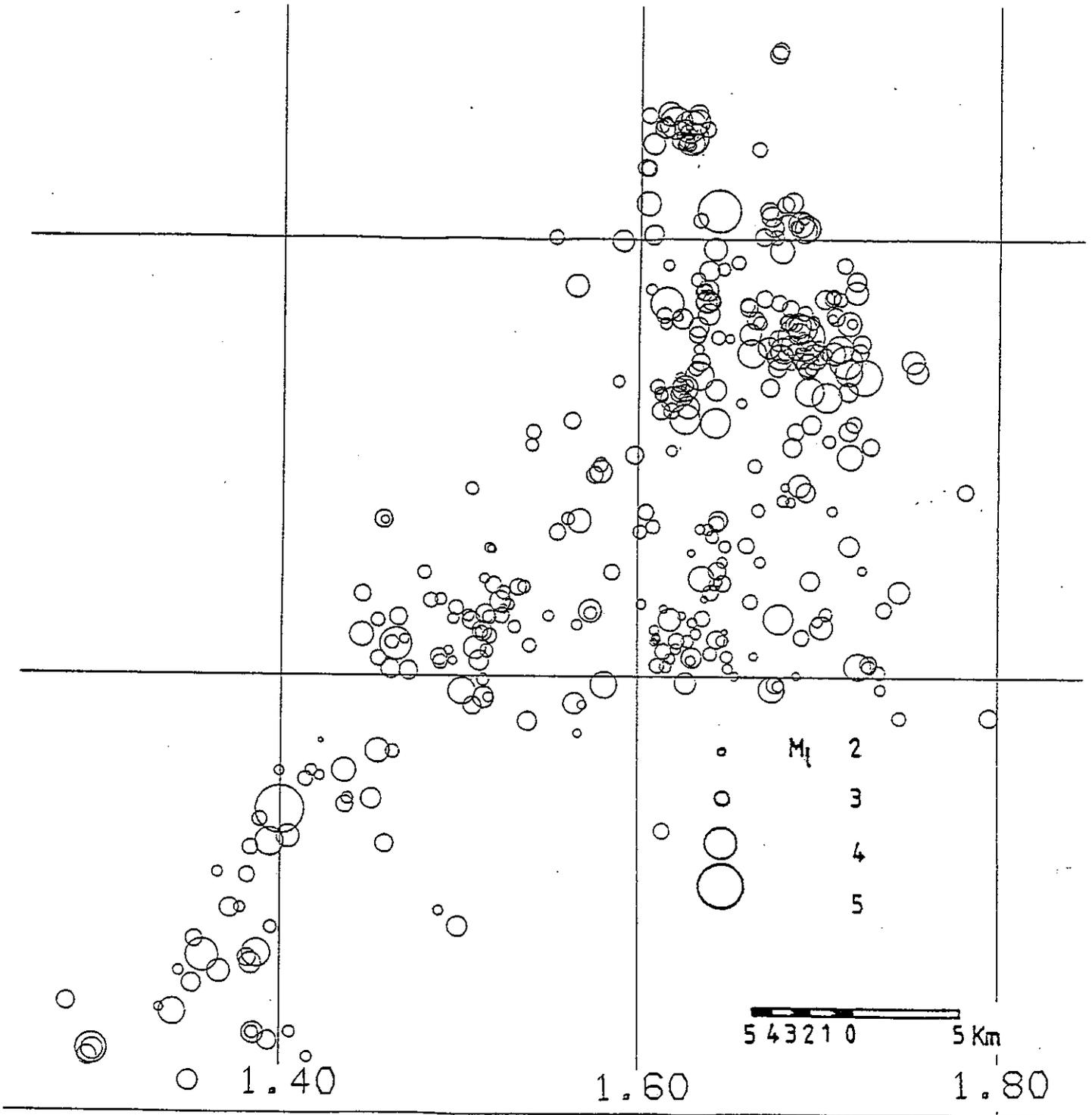


Figure VI.3. Carte des épicentres pour lesquels l'erreur standard sur la position de l'épicentre (ERH) et la profondeur du foyer (ERZ) est inférieure à 2 km, le résidu moyen (RMS) est inférieur à 0,15 seconde.

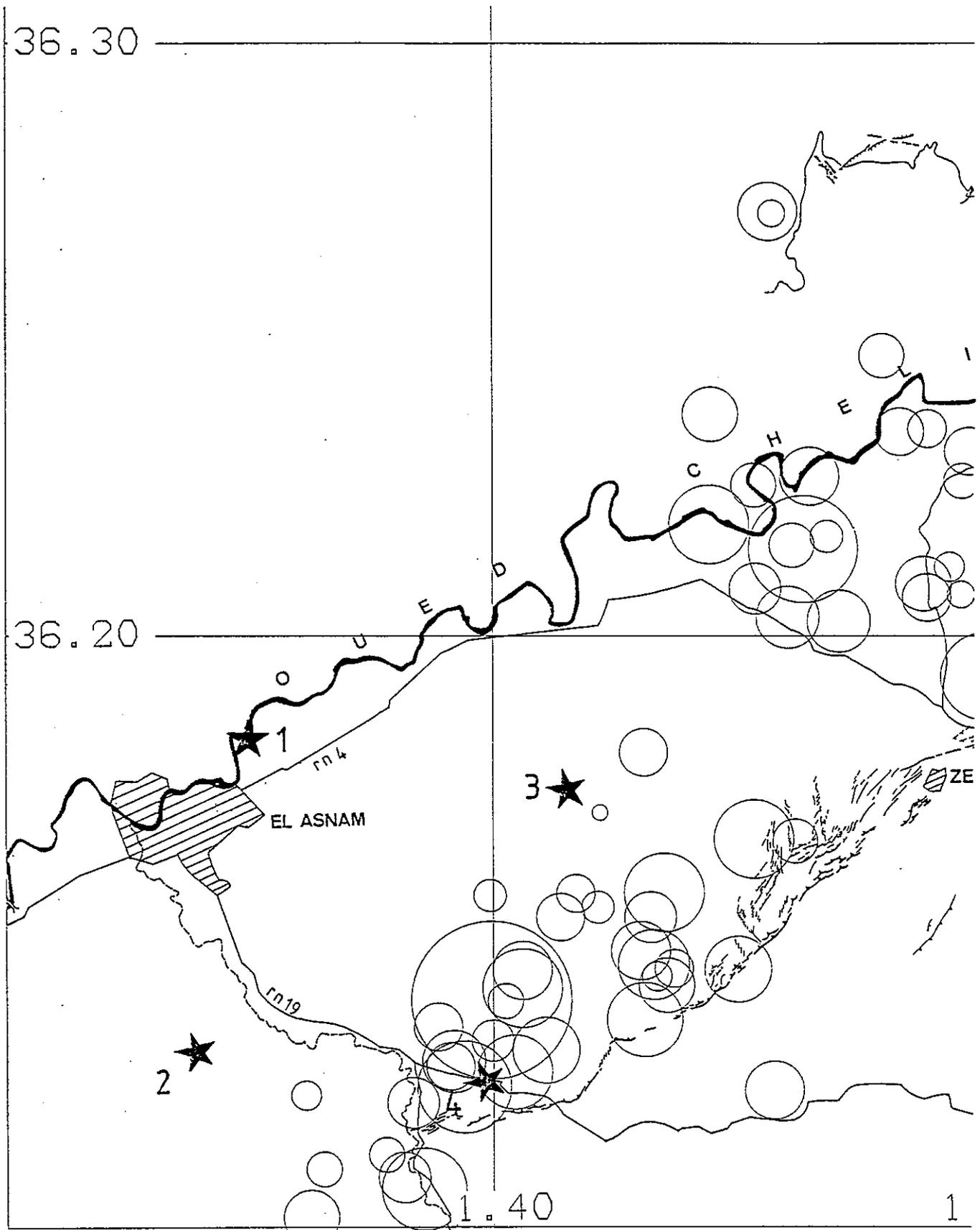
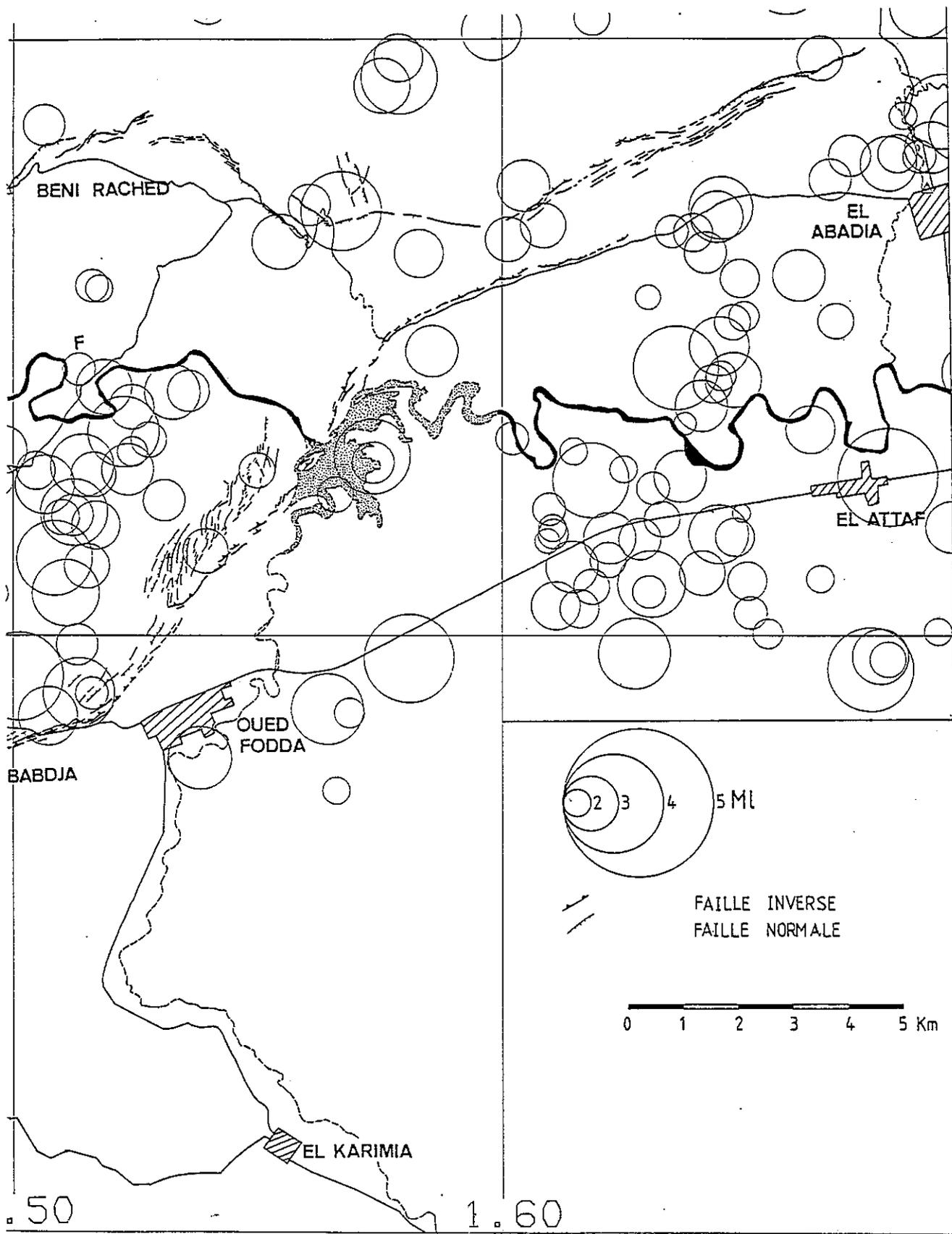


Figure VI.4. Position des répliques par rapport aux déformations de surface (carte des ruptures de surface établie à partir des photographies aériennes par H. Philip et M. Meghraoui).



Epicentre du séisme principal:

1: U.S.G.S.; 2: C.S.E.M.; 3; J. DOREL; 4: G. YIELDING et al.

VI.1.1. La sismicité liée aux déformations de surface

Elle est d'orientation NE-SW, avec un changement d'azimut (NNE-SSW) à l'extrémité SW où la faille n'est pas visible en surface.

Il est probable que le changement de la direction de la sismicité au sud de l'extrémité SW de la fracture principale soit lié à une variation de l'azimut de la faille qui devient NNE-SSW. Ainsi, ce changement d'azimut est susceptible de rendre compte de l'interruption brutale de la déformation à cet endroit, qui dépend probablement aussi de la nature du terrain, de la distribution des contraintes et de l'orientation de la faille aussi bien en profondeur (pendage), qu'en surface.

D'autre part, une lacune de sismicité de 4 à 5 km de large est visible le long de la faille juste au sud de Oued-Fodda. L'interprétation de cette lacune est délicate ; pour certains (Ouyed et al., 1981), elle correspond à une région où l'ensemble des contraintes ont été libérées lors du séisme principal (importantes déformations ; plus de 4 m de rejet vertical et 1,30 m de coulissage senestre), pour d'autres (G. Yielding et al., 1981), au contraire, elle se trouve à l'endroit où la déformation est pratiquement nulle et constitue une "barrière non déformée" au sens de Das et Aki (1977). Pour mieux situer cette lacune de sismicité et l'ensemble des épicentres par rapport aux failles observées sur le terrain, nous représentons sur la figure VI.4 les épicentres des séismes enregistrés dans la région déformée ainsi que le détail des ruptures de surface (H. Philip et M. Meghraoui, 1981).

Dans la région de Béni-Rached où les déformations de surface sont importantes (failles normales), nous relevons très peu d'épicentres. L'examen de la répartition des foyers en profondeur (voir paragraphe suivant) nous permettra de préciser la position des hypocentres des quelques séismes enregistrés dans cette région par rapport au système de failles.

Enfin, les épicentres des séismes qui semblent liés à la faille principale inverse sont situés sur le compartiment NW ; ce qui indique que le pendage de la faille est vers le NW.

VI.1.2. L'essai situé aux environs de l'extrémité NE de la faille principale

Cet essai est composé de l'ensemble des épicentres situés à l'est du méridien $1,60^{\circ}\text{E}$, et représente plus de 66 % de la sismicité totale. Il correspond à une région où la structure tectonique est probablement complexe, comme le montre d'ailleurs la carte néotectonique (M. Meghraoui, 1981) sur laquelle nous avons reporté la sismicité (figure VI.5).

Nous relevons (figure VI.1) dans cette région, deux alignements d'épicentres ; l'un au nord du parallèle $36,30^{\circ}\text{N}$ et à l'est du méridien $1,60^{\circ}\text{E}$ orienté dans la direction NS, l'autre au nord du parallèle $36,20^{\circ}\text{N}$ et à l'est du méridien $1,60^{\circ}\text{E}$ orienté NNE-SSW à NE-SW. Ces alignements ressortent plus nettement sur la figure VI.2 où sont représentées uniquement les localisations sélectionnées. D'autre part, ces alignements sont compatibles avec la structure géologique de la région (voir figure VI.5).

VI.2. REPARTITION DES FOYERS EN PROFONDEUR

Sur la figure VI.6, sont représentés les séismes par tranche de profondeur ainsi que les déformations observées en surface.

Nous allons examiner la distribution régionale des profondeurs ainsi que la répartition des projections des foyers sur des plans verticaux orthogonaux aux structures observées en surface.

VI.2.1. Distribution des profondeurs

Les foyers situés aux environs de l'extrémité NE de la faille sont plus superficiels que ceux qui semblent liés à la fracture principale.

En effet, nous avons pour chacune des deux régions la distribution des profondeurs suivante :

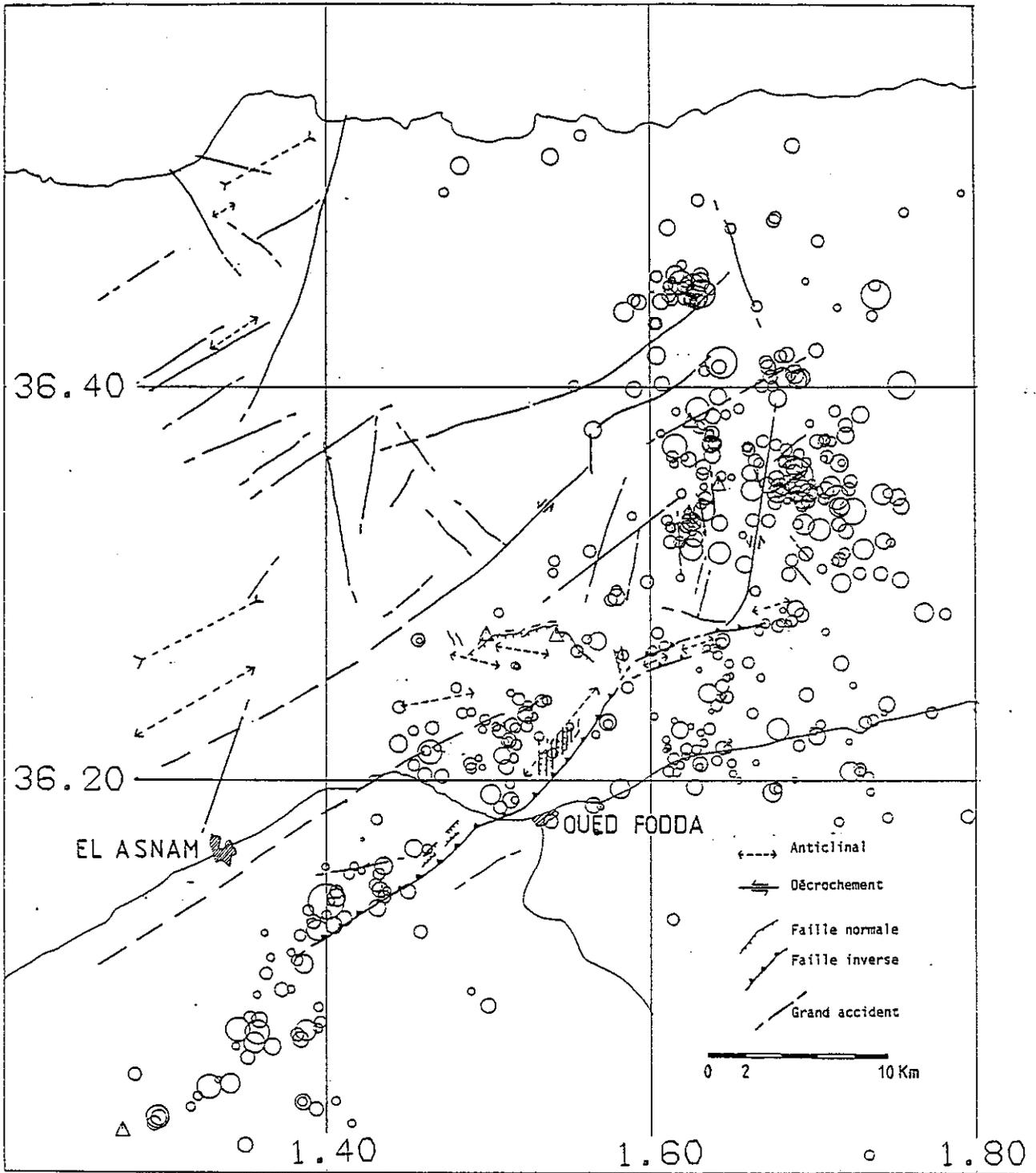


Figure VI.5. Position des répliques par rapport à l'ensemble de la fracturation (Carte de l'ensemble de la fracturation établie par M. Meghraoui).

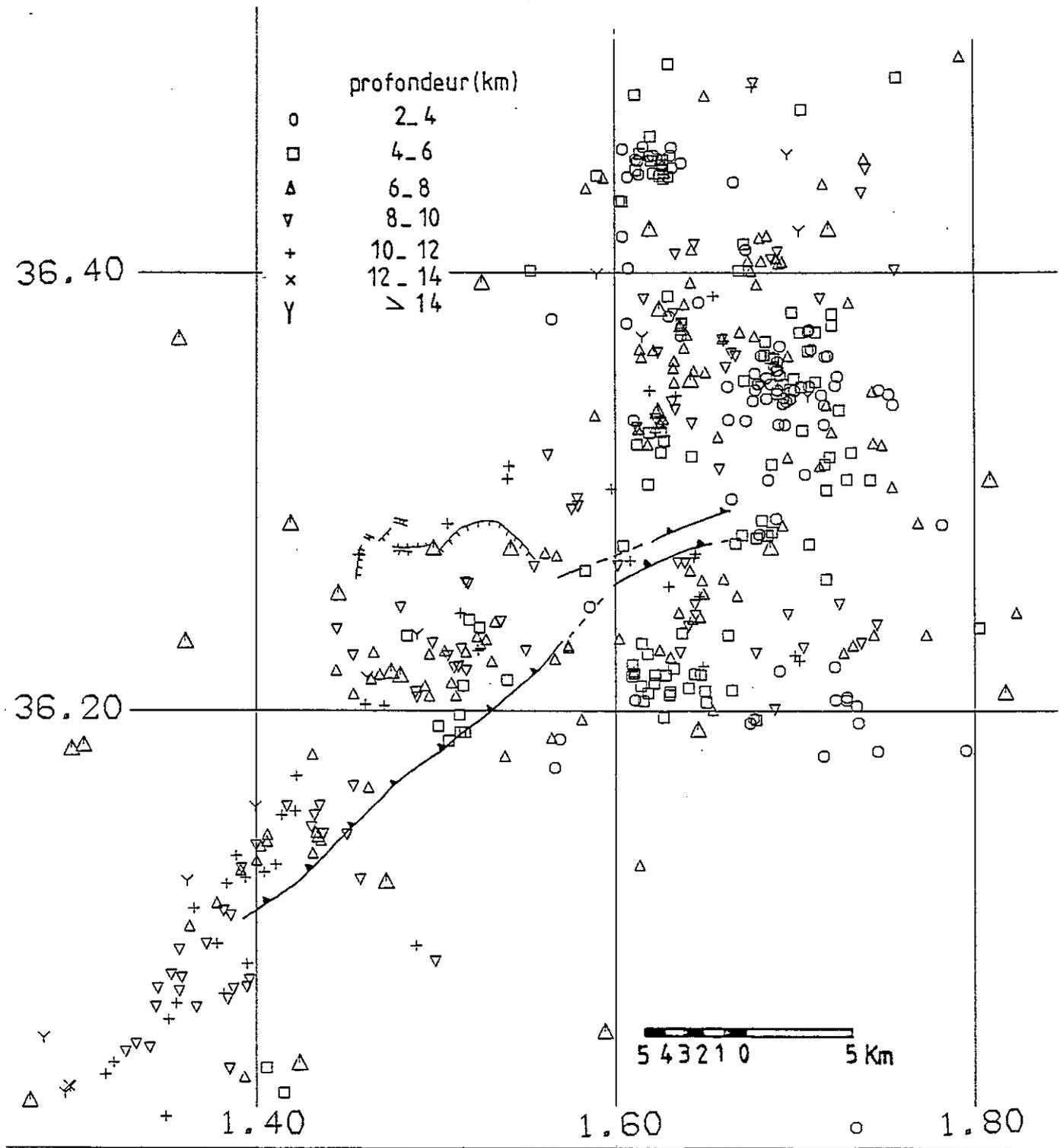


Figure VI.6. Distribution spatiale des profondeurs.

- Essaim au NE de la faille :

Dans cette région, la profondeur la plus probable est comprise entre 2 et 3 km et plus de 48 % des séismes ont une profondeur inférieure à 3 km (figure VI.7.a).

Généralement, les foyers situés à moins de 4 km de profondeur sont regroupés en un essaim très serré. C'est le cas du groupe de séismes situé au nord du parallèle 36,40°N et de celui qui se trouve entre les parallèles 36,30°N et 36,40°N. C'est également le cas pour les répliques dont la profondeur est comprise entre 2 et 4 km et qui sont situées juste au nord du parallèle 36,20°N et à l'est du méridien 1,60°E.

- Sismicité liée à la faille principale :

Les foyers sont moins superficiels que ceux de la région étudiée précédemment. En effet, la profondeur la plus probable est comprise entre 7 et 8 km (voir figure VI.7.b) et plus de 73 % des séismes se sont produits à une profondeur supérieure à 5 km.

D'autre part, la progression (augmentation) des profondeurs lorsqu'on se déplace du NE vers le SW est très nette. La première idée qui nous vient à l'esprit devant un tel phénomène, est qu'il s'agit là d'un effet qui provient de la distribution des stations sismologiques et du modèle de vitesse choisi qui ne représente probablement pas la structure de vitesse très complexe de la région (voir § V.2). Cependant, si nous observons la carte structurale (M. Meghraoui) de la région, sur laquelle est également représentée la sismicité, nous remarquons que les séismes de la partie septentrionale qui sont plus superficiels, se sont produits dans le substratum anté-néogène qui correspond à des terrains plus durs donc plus cassants que les terrains quaternaire, pliocène et miocène de la vallée qui sont plus tendres (voir figure VI.8). Cette explication qui semble plus probable confirme alors les observations, à savoir que les séismes de la partie septentrionale sont plus superficiels que ceux qui se sont produits dans la vallée.

Enfin, toutes les répliques se sont produites à des profondeurs inférieures à 13 km.

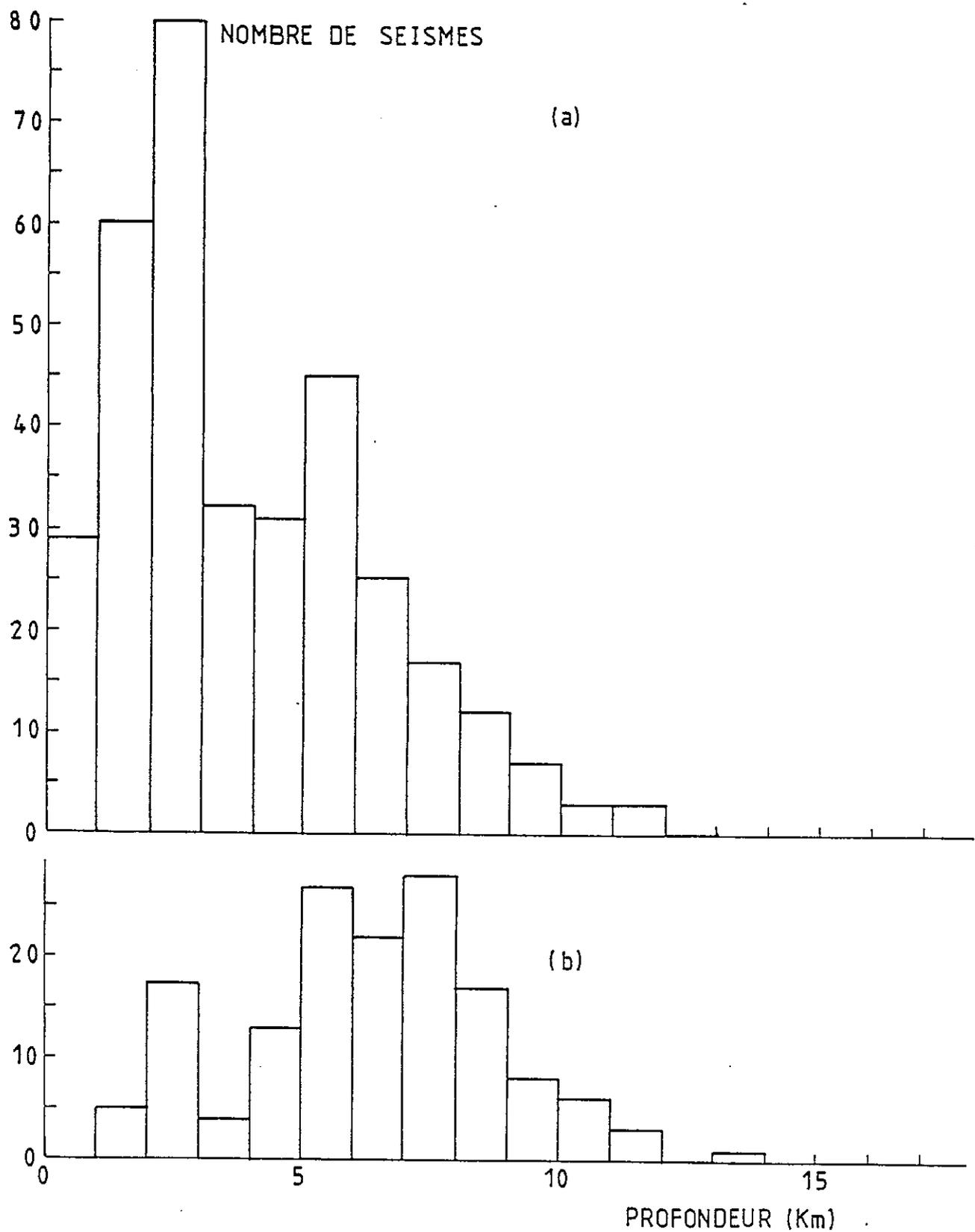


Figure VI.7. Distribution des profondeurs.
(a) : essaim situé aux environs NE de la faille ;
(b) : sêismes liés à la faille principale inverse.

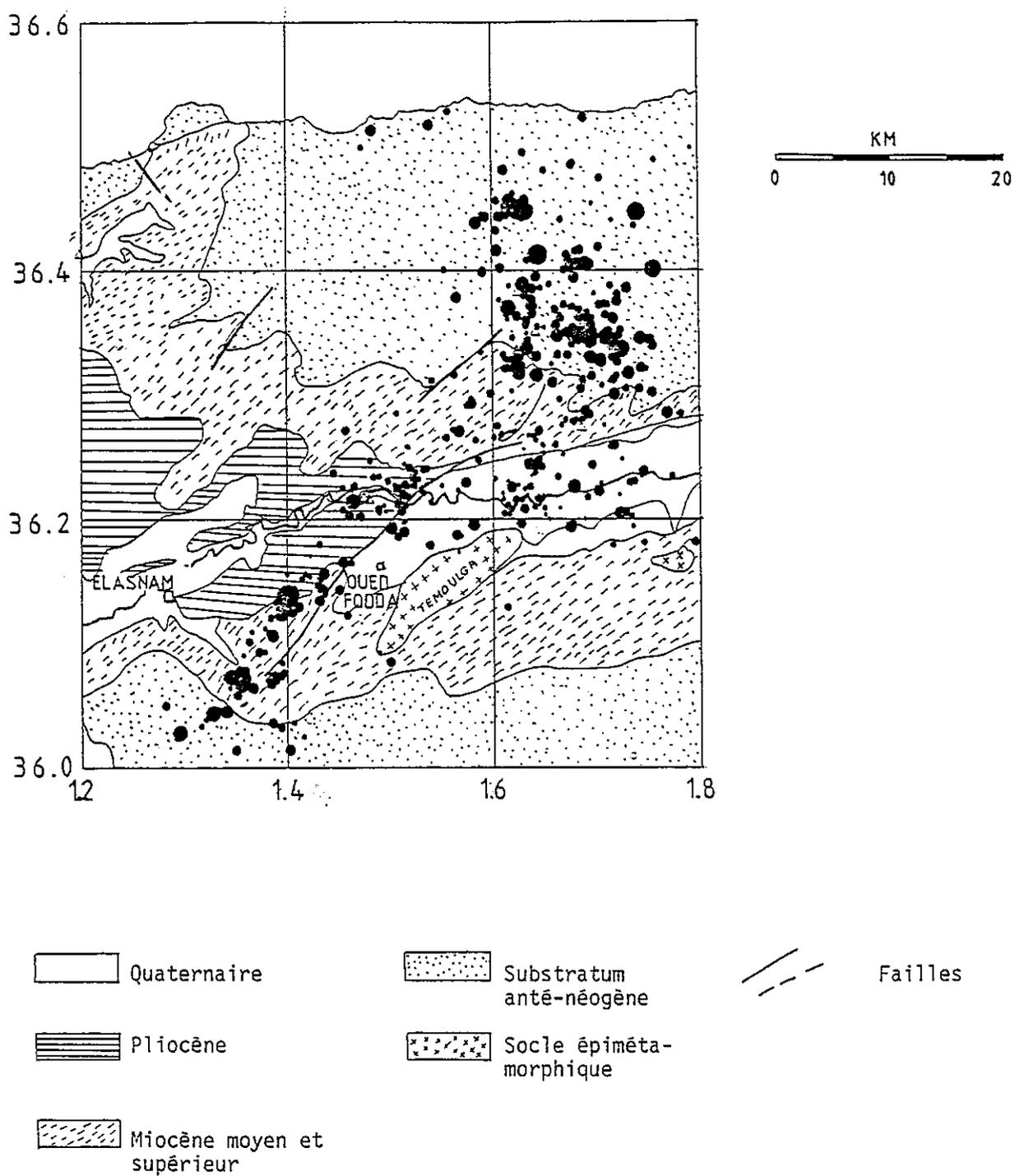


Figure VI.8. Position des répliques par rapport aux structures géologiques.

VI.2.2. La projection des foyers sur des plans verticaux

Le but :

Si les séismes se produisaient sur un plan de faille unique, la projection des foyers sur un plan orthogonal à ce plan de faille nous permettrait d'obtenir un alignement des points ainsi projetés. Nous pouvons alors déterminer l'azimut, le pendage et la dimension du plan de faille.

En pratique, le problème est plus complexe pour deux raisons majeures :

- . L'azimut et le pendage de la faille ne restent pas spatialement constants.
- . Les séismes ne se produisent pas sur un plan de faille unique mais sur tout un système de cassures qui peuvent avoir des azimuts et des pendages différents.

La première difficulté peut être évitée en partageant la faille en plusieurs segments de manière à ce que chaque portion de faille ainsi découpée ait un azimut constant.

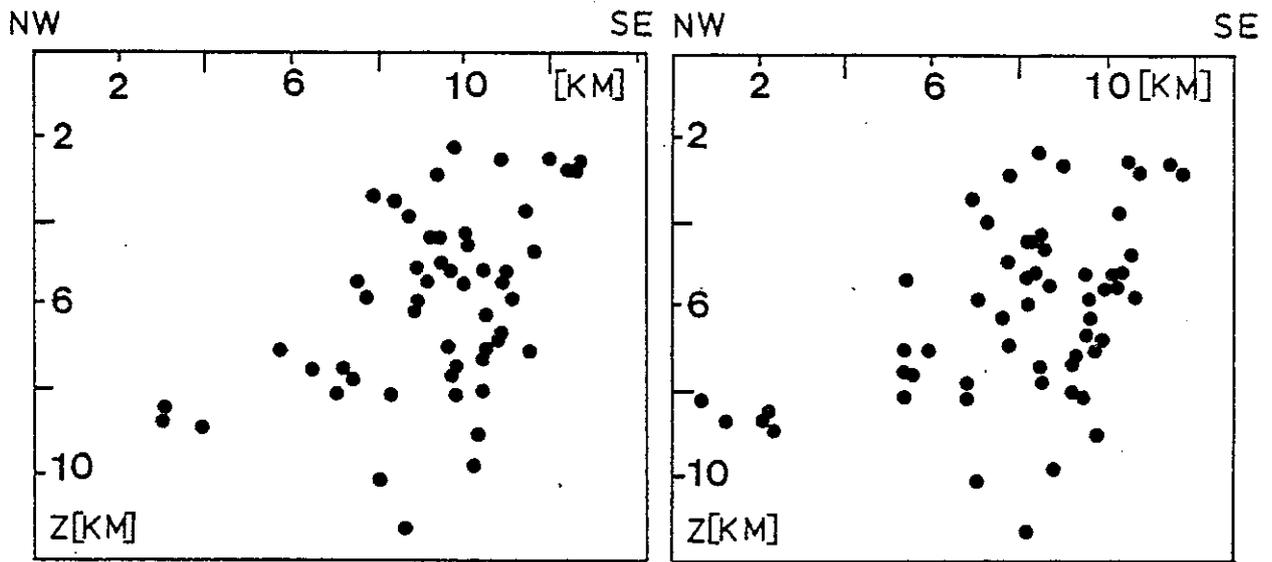
Par contre, le deuxième problème ne peut être résolu que par la connaissance précise de la tectonique de la région.

La méthode :

Nous choisissons d'abord une direction approximative du plan de projection qui doit être orthogonal aux structures géologiques. Ce choix est fait à partir des déformations de surface et de la distribution spatiale des profondeurs.

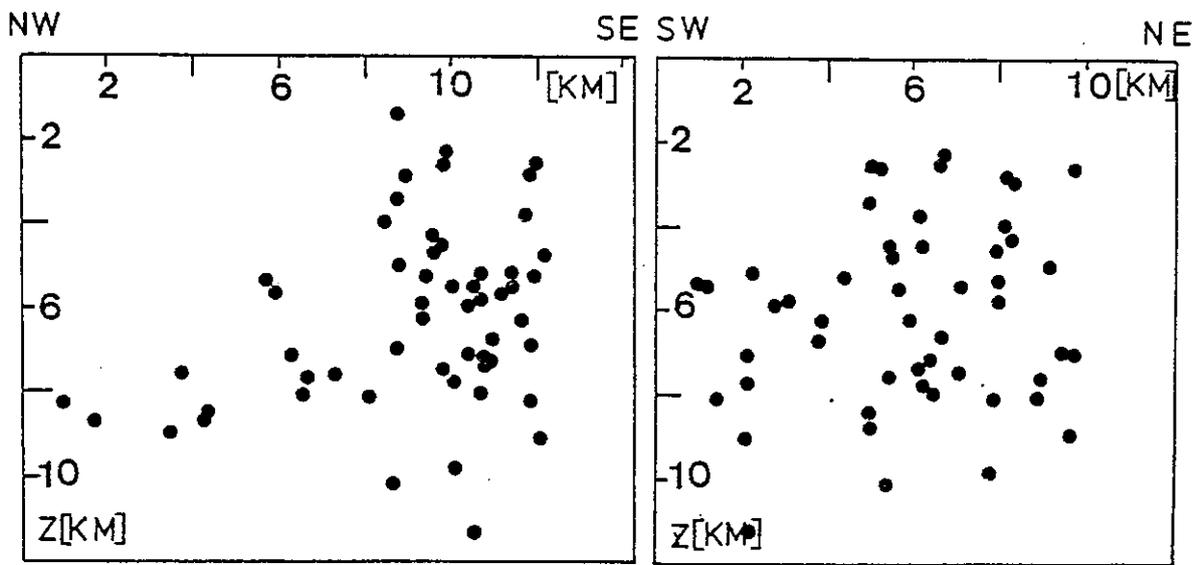
Ensuite, nous faisons varier l'azimut du plan de projection de façon que l'essai obtenu soit le moins dispersé possible.

Nous montrons sur la figure VI.9 comment varie la disposition des points projetés lorsqu'on fait tourner le plan de projection. Les foyers relatifs aux coupes de la figure VI.9 sont les mêmes que ceux de la coupe C-C' (voir figure VI.10).



AZIMUT = 150°

AZIMUT = 160°



AZIMUT = 170°

AZIMUT = 60°

Figure VI.9. Projection des foyers (coupe C-C', voir fig. VI.10) sur un plan vertical d'azimut variable.

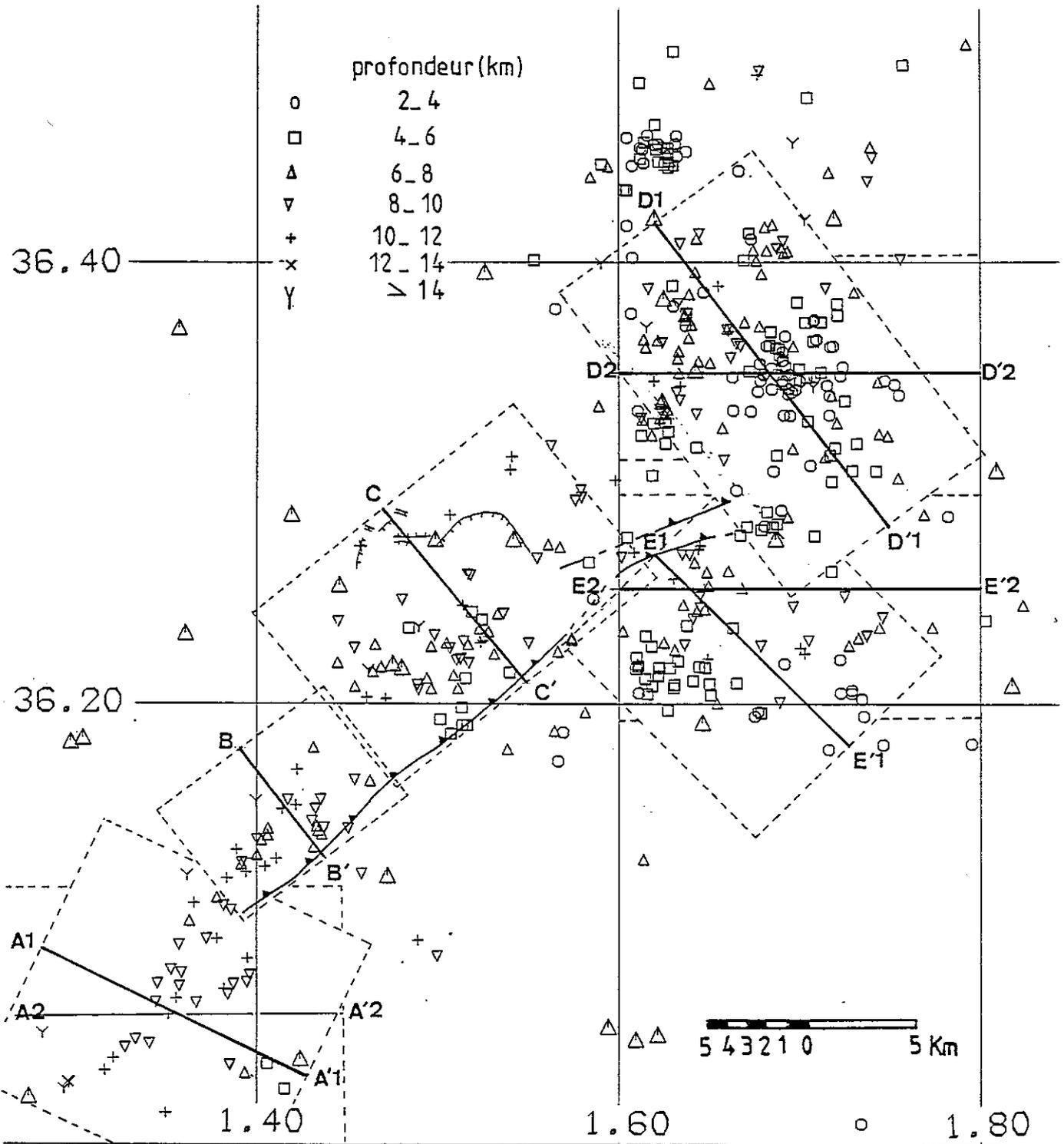


Figure VI.10. Emplacement des différentes coupes. Les plans de projection sont indiqués par un trait continu. Les rectangles (en pointillés) entourent les séismes relatifs à chaque coupe.

Les résultats :

A l'endroit où la faille est visible en surface, nous avons effectué deux coupes selon le plan orienté approximativement NW-SE. Les coupes B-B' (relative à la moitié SW de la faille) et C-C' (partie centrale de la faille) sont séparées par la lacune de sismicité qu'on peut observer à l'ouest de Oued-Fodda.

Dans la région où il n'existe pas de trace précise de la déformation, nous avons effectué des projections de foyers sismiques selon les directions EW et NW-SE. C'est le cas pour l'essai situé au SW (coupes A1-A'1 et A2-A'2) et ceux aux environs de l'extrémité NE de la faille ; partie nord (coupes D1-D'1 et D2-D'2) et partie sud (coupes E1-E'1 et E2-E'2).

Les emplacements des différentes coupes sont indiqués sur la figure VI.10 et nous avons fait correspondre à chacune d'elles une projection sur un plan orthogonal au premier ; ce qui permet de repérer plus facilement les foyers sismiques par rapport à leur position horizontale. D'autre part, sur l'ensemble des coupes, les foyers les mieux localisés sont représentés par des cercles pleins.

- Coupes A1-A'1 et A2-A'2.

Dans cette région, on n'observe pas de déformations de surface, mais le changement de la direction de la sismicité indique une variation de l'azimut de la faille.

Nous obtenons (figure VI.11) deux essais dont le premier (situé au nord du plan vertical d'abscisse 8,5 km) donne une plus faible dispersion des foyers projetés pour un plan de projection d'azimut N117°E. Ce qui correspond à un plan de faille orienté N27°E quasiment vertical. Le deuxième essai (au sud du plan vertical d'abscisse 8,5 km, sur la figure VI.11) est beaucoup moins dispersé pour un plan de projection orienté N90°E (voir figure VI.12). Si cette configuration représente une structure tectonique, le plan de faille correspondant est alors orienté NS avec un très fort pendage vers l'ouest.

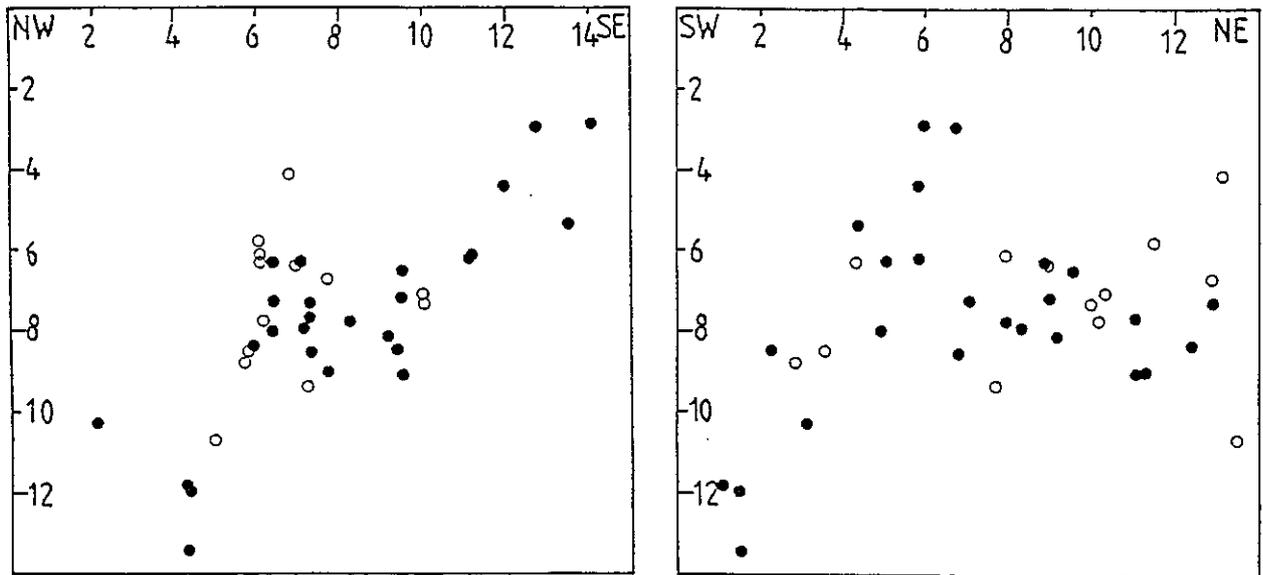


Figure VI.11. Projection des foyers des séismes sur un plan vertical orienté N117°E (coupe A1-A'1, à gauche; voir fig. VI.10). A droite: coupe selon un plan orthogonal au premier. Les distances sont données en km; les cercles pleins sont les foyers les mieux déterminés (ERH, ERZ < 2 km, RMS 0.15 sec., Dmin < 2 x profondeur).

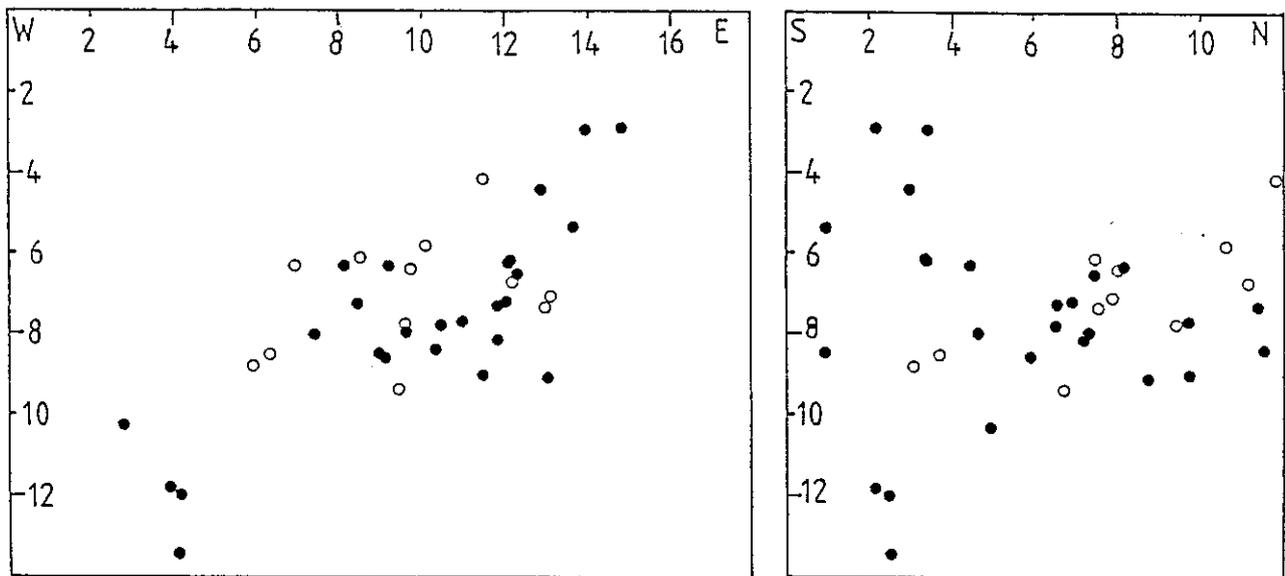


Figure VI.12. Coupe A2-A'2 (à gauche) selon le plan N90°E. Même légende que la figure VI.11.

- Coupe B - B'

La trace de la faille en surface définit une direction approximative du plan de projection. Nous avons choisi le plan de projection orienté N140°E, ce qui correspond à un plan de faille d'azimut N50°E.

Nous obtenons un nuage de points (figure VI.13) dont le prolongement de l'enveloppe supérieure passe par la trace de la faille en surface. Si cette enveloppe correspond au plan de faille, nous obtenons alors un pendage de 68° NW environ.

D'autre part, si nous considérons que le pendage réel du plan de faille est celui calculé à partir du mécanisme au foyer du choc principal (52° NW) et que celui-ci passe effectivement par la trace que nous observons en surface (figure VI.13), alors les répliques se sont toutes produites dans le compartiment chevauché.

- Coupe C - C'

Nous obtenons une enveloppe bien définie qui passe par la trace de la faille en surface. Il est probable que cette enveloppe correspond au plan de faille qui aurait alors un pendage de 45° NW.

Dans ce cas, toutes les répliques sont localisées dans le compartiment chevauché, le compartiment chevauchant étant absolument asismique. Une explication possible de ce phénomène est que les contraintes accumulées sur le compartiment NW, très déformé (failles en extension) s'étaient libérées lors du séisme principal.

D'autre part, il est intéressant de signaler que les séismes qui se sont produits dans la région de Béni-Rached appartiennent à l'essaïm de séismes représentés sur la figure VI.14 (coupe C-C') et sont donc probablement liés à la faille principale inverse. Ainsi, comme il est montré sur la figure VI.19, la faille principale s'estompe à 10 km de profondeur à environ 3 km au NW de la faille normale de Béni-Rached.

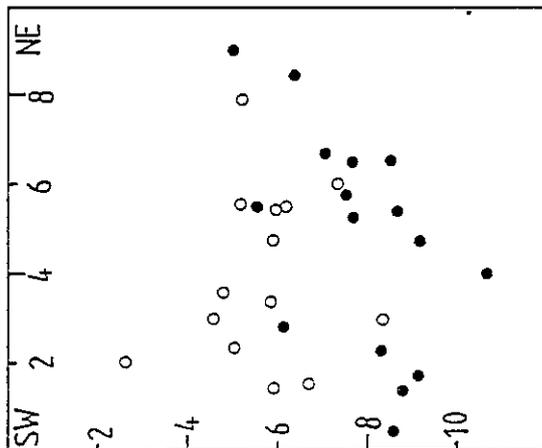
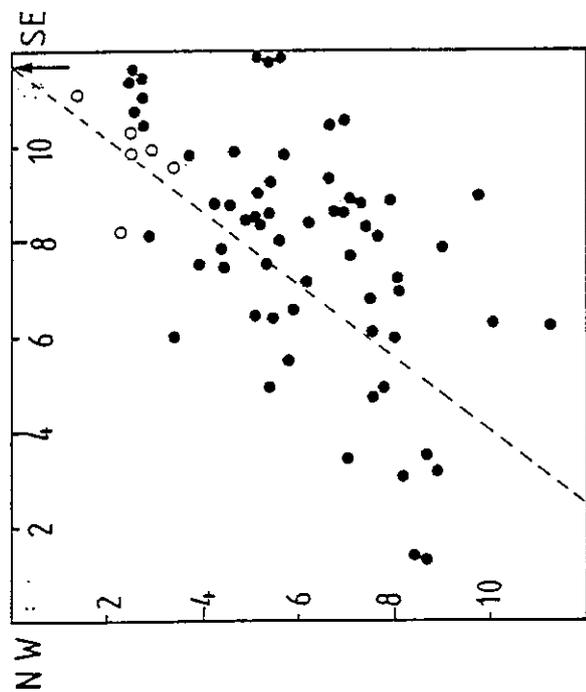


Figure VI.13. Coupe B-B' (en haut) selon le plan N141°E. La flèche indique la trace de la faille en surface; en pointillés: le plan de pendage 52° NW; Les cercles pleins sont les foyers les mieux déterminés (voir Fig. VI.11). En bas: coupe selon un plan orthogonal au premier.

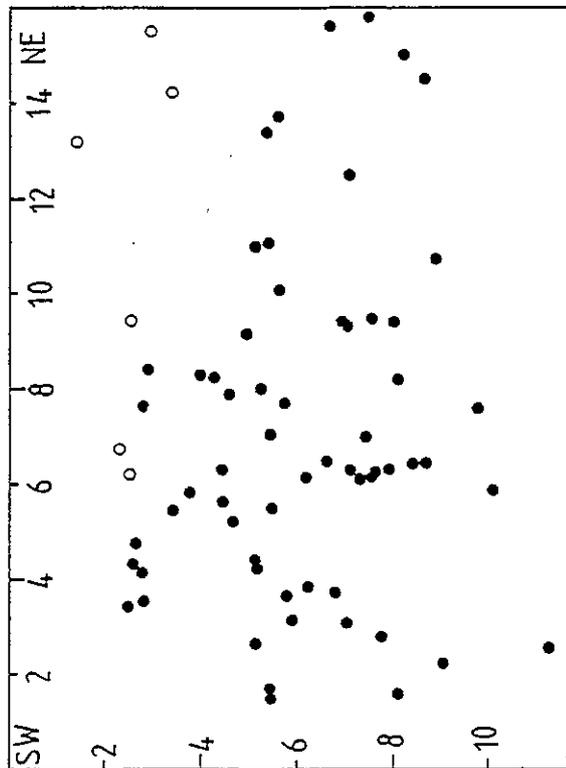


Figure VI.14. Coupe C-C' (en haut) selon le plan N138°E. Même légende que la figure VI.13.

Il apparaît donc que les failles normales de Bêni-Rached sont sismiquement inactives.

- Coupes D1-D'1 et D2-D'2

Sur la figure VI.15 (coupe D1-D'1), nous voyons apparaître trois essaïms dont celui du centre (en surface, compris entre les abscisses 8 et 10 km) est allongé et semble correspondre à une structure tectonique qui plonge vers le NW. Les autres essaïms sont très dispersés.

La projection des mêmes foyers sur un plan vertical (coupe D2-D'2, figure VI.16) orienté $N90^{\circ}E$ ne donne aucune disposition particulière des points obtenus.

Les coupes D1-D'1 et D2-D'2 seront commentées et interprétées par rapport aux mécanismes au foyer dans le chapitre VII.

- Coupes E1-E'1 et E2-E'2

Ces coupes sont représentées sur les figures VI.17 (coupe E1-E'1) et VI.18 (coupe E2-E'2) selon les directions $N135^{\circ}E$ et $N90^{\circ}E$. Elles ne donnent aucun alignement privilégié des points obtenus. Ceci traduit vraisemblablement la complexité de la tectonique de la région.

Dans ce paragraphe, nous avons étudié la variation de l'azimut et du pendage de la faille principale inverse. Dans sa partie SW où elle n'est pas visible en surface elle est de direction NNE-SSW et pratiquement verticale ; ce segment a une longueur de 12 km environ.

Plus au nord, sa direction est NE-SW avec un important pendage vers le NW ($68^{\circ} NW$). Enfin, dans sa partie centrale, elle garde la même direction et son pendage diminué ($45^{\circ} NW$).

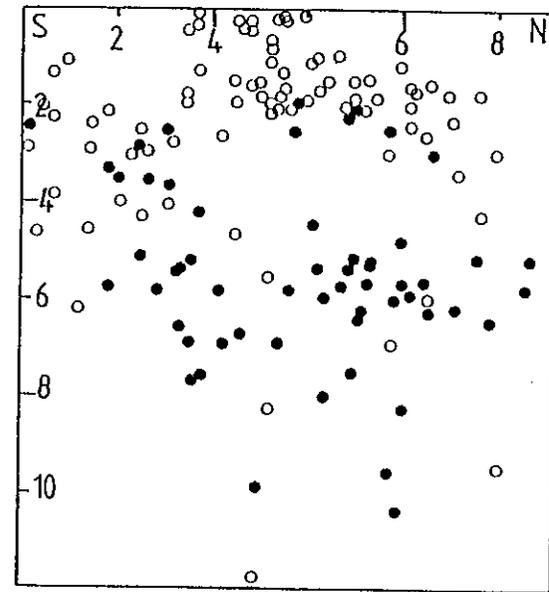
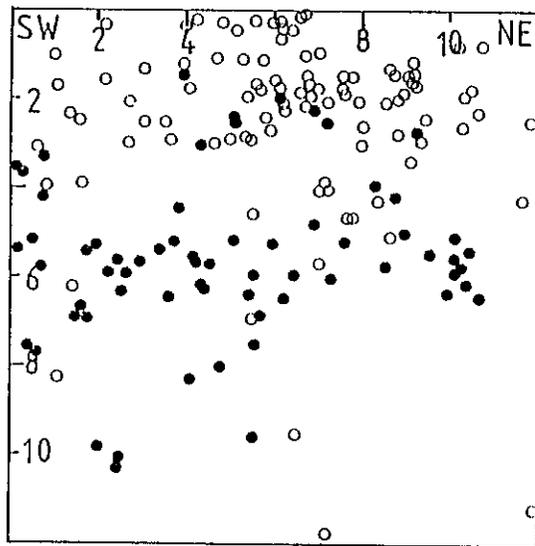
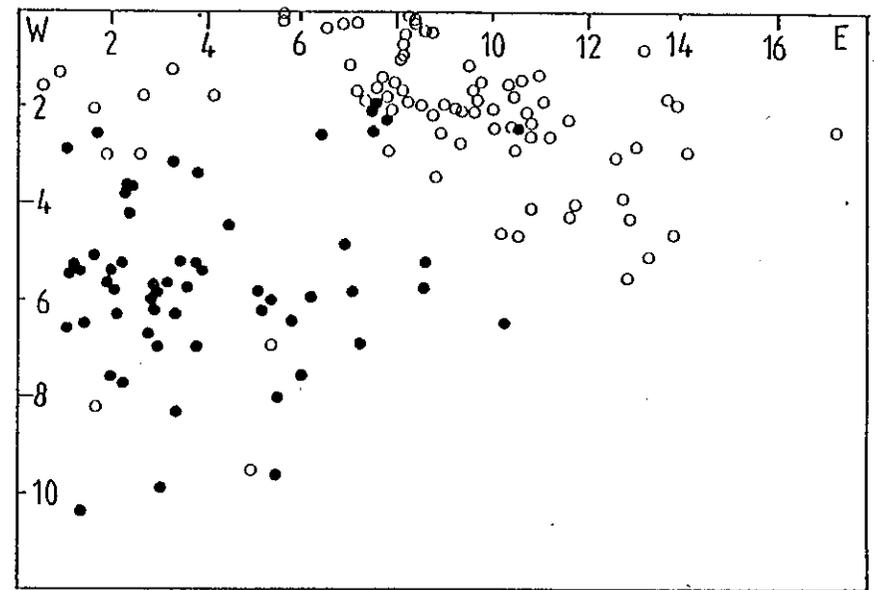
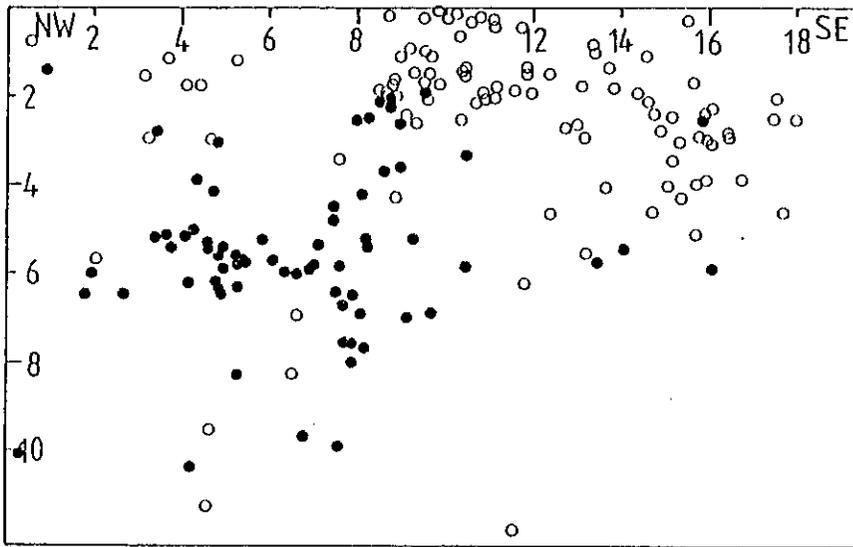


Figure VI.15. Coupe D1-D'1 (en haut) selon le plan N143°E.
Même légende que la figure VI.13.

Figure VI.16. Coupe D2-D'2 (en haut) selon le plan N90°E.
Même légende que la figure VI.13.

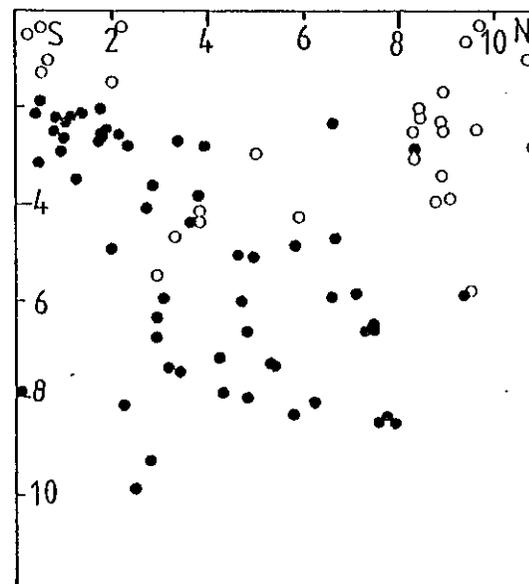
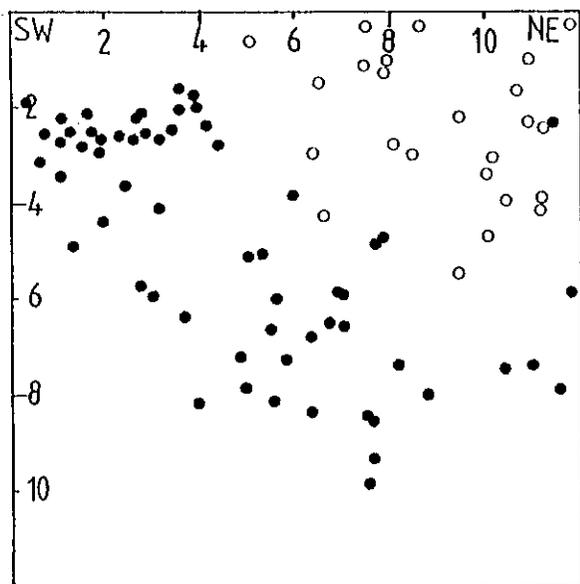
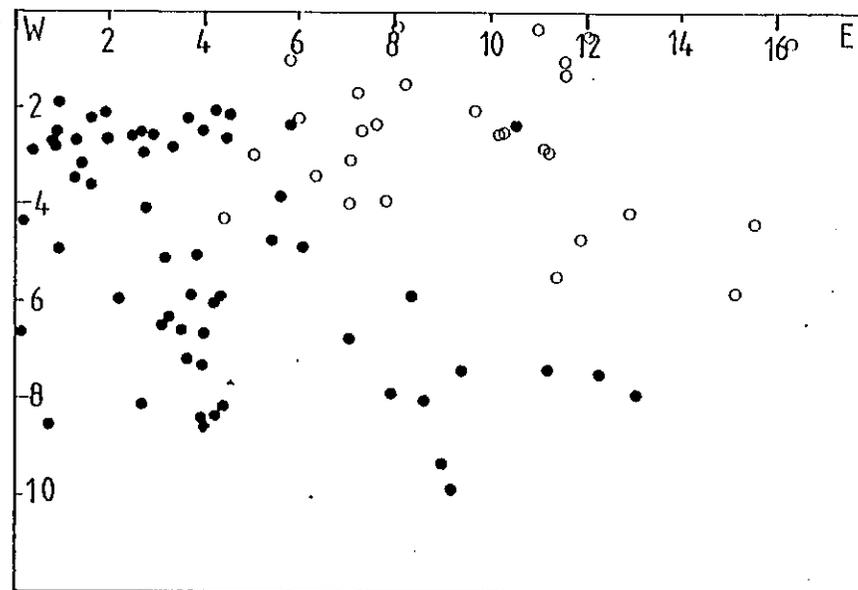
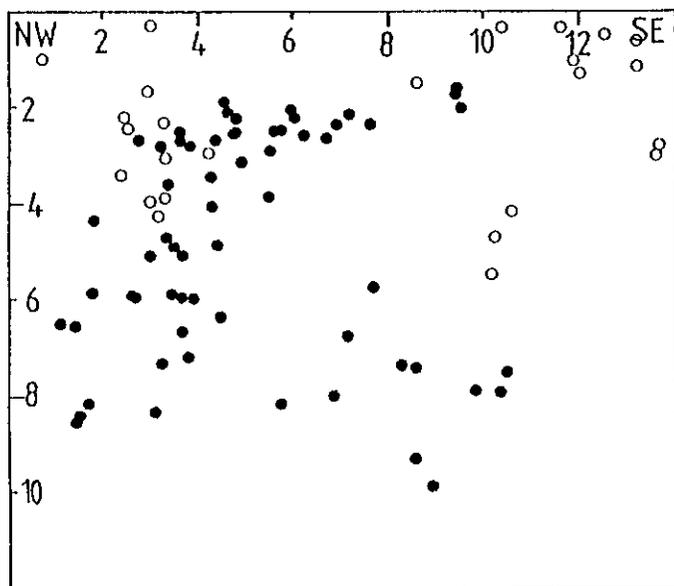


Figure VI.17. Coupe E1-E'1 (en haut) selon le plan N135°E.
Même légende que la figure VI.13.

Figure VI.18. Coupe E2-E'2 (en haut) selon le plan N90°E.
Même légende que la figure VI.13.

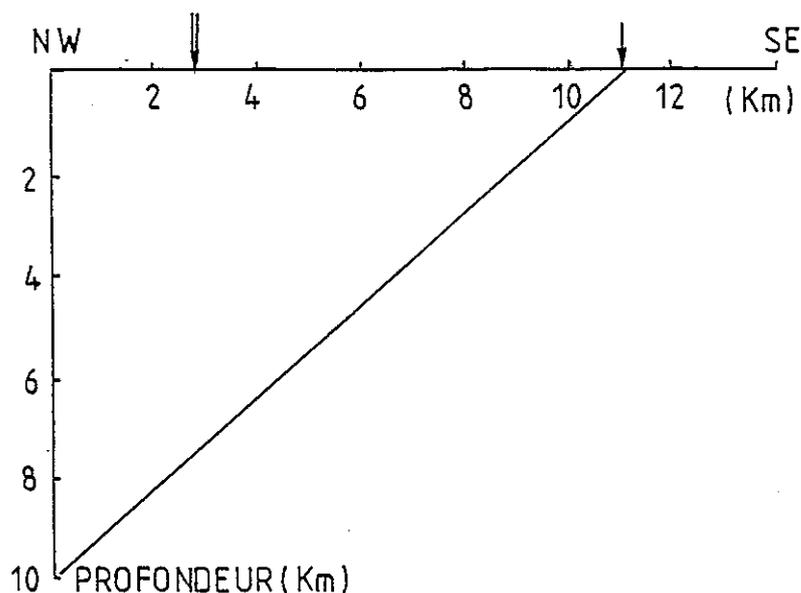


Figure VI.19. Situation du système de failles normales de Béni-Rached (↓) par rapport à la faille principale inverse (↓).

VI.3. VARIATION TEMPORELLE DE LA SISMICITE

Nous avons examiné la variation temporelle en établissant, dans l'ordre chronologique des cartes de sismicité qui comportent chacune 100 événements (figures VI.20.a, b, c, d et e).

Nous remarquons l'apparition de deux essaims très actifs de séismes dont la profondeur est inférieure à 4 km. Le premier groupe de tremblements de terre s'est manifesté juste à l'ouest du méridien 1,7°E et entre les parallèles 36,3°N et 36,4°N, à la suite du séisme du 30 octobre 1980 à 23 h 38 mn de magnitude 5,0 (figure VI.20.c).

La deuxième série de séismes a commencé après le séisme du 8 novembre à 2 h 6 mn ($M_L = 4,2$) à l'est du méridien 1,6°E et au nord du parallèle 36,4°N (figure VI.20.e). Cet essaim a continué à être très actif au moins jusqu'à la fin du mois de février 1981 (Hoang Trong P., 1981).

D'autre part, nous avons examiné la variation temporelle de la sismicité en profondeur en représentant des coupes par tranche de temps. Selon les endroits, les coupes comportent de 15 à 40 foyers sismiques.

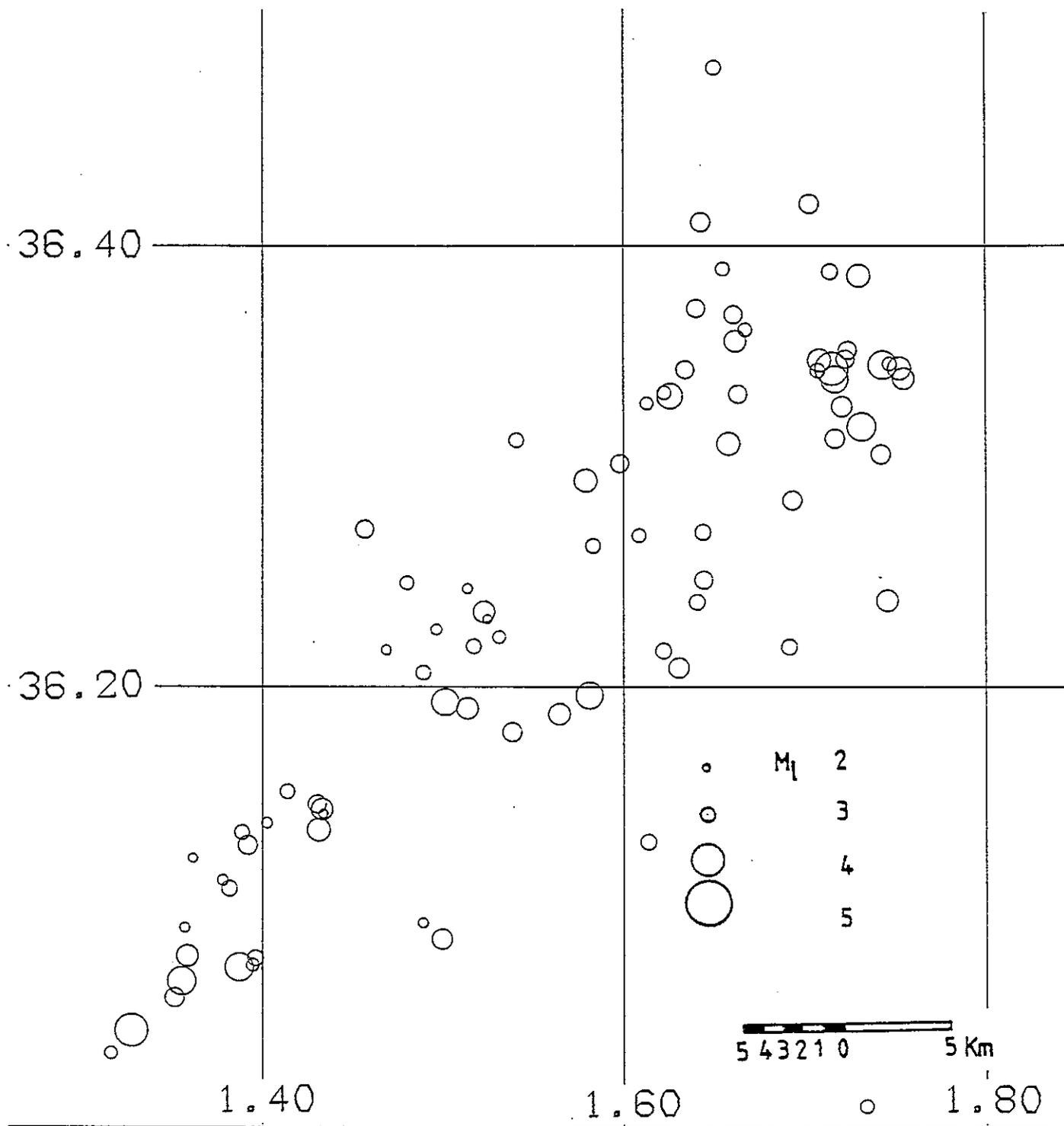


Figure VI.20.a. Variation spatio-temporelle de la sismicité (du séisme n°1 au n° 100).

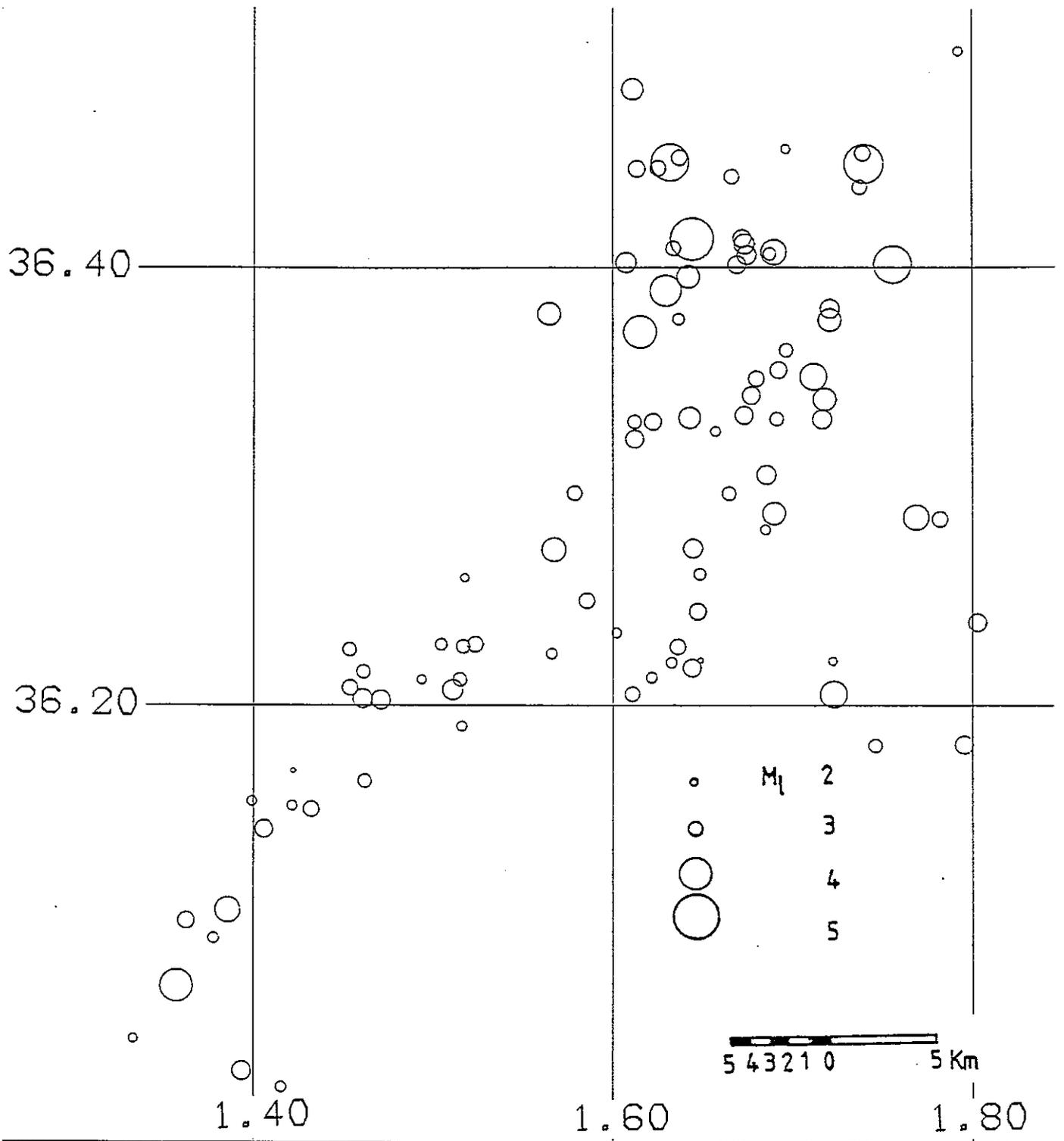


Figure VI.20.b. Variation spatio-temporelle de la sismicité (du séisme n° 101 au n° 200).

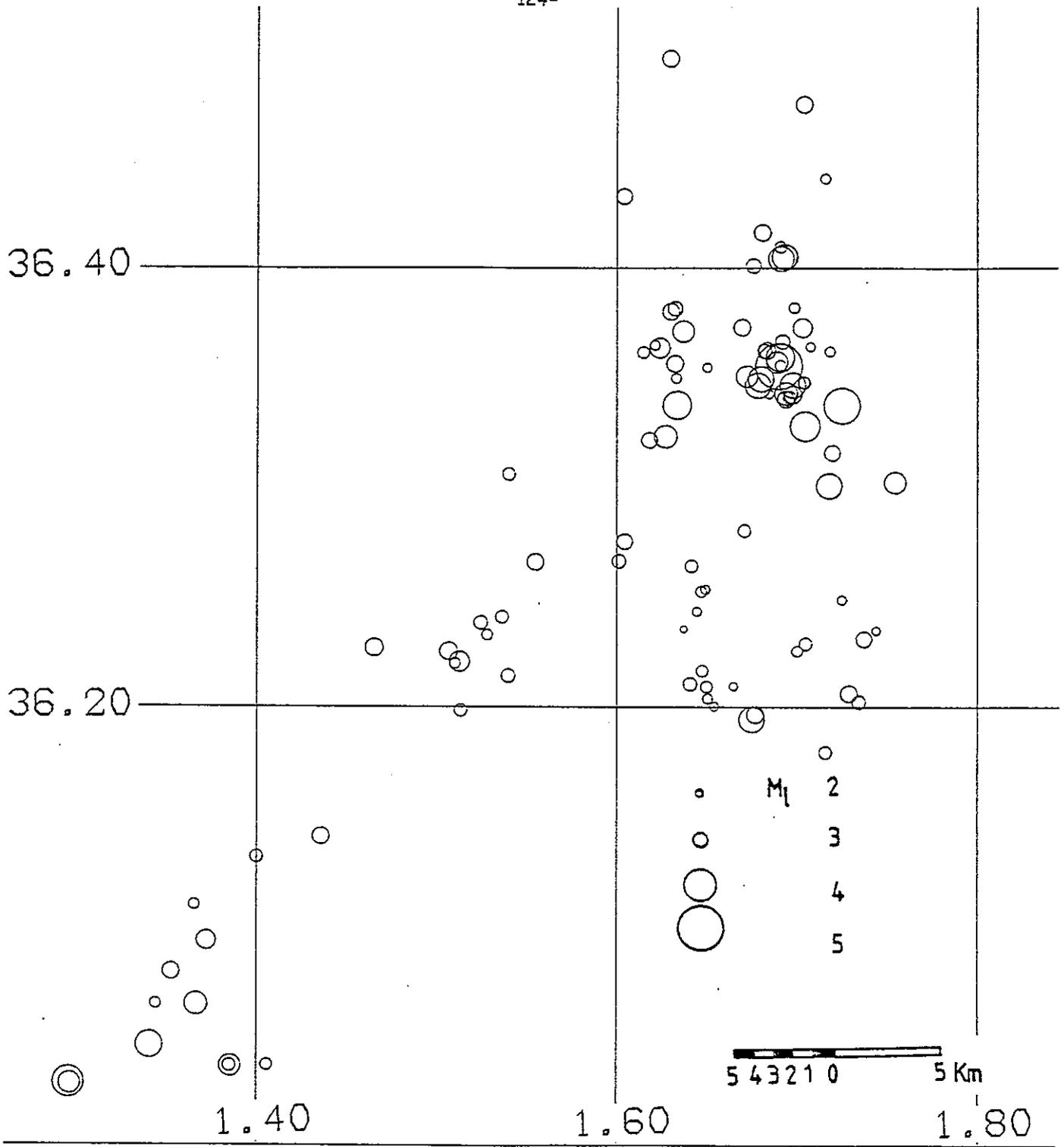


Figure VI.20.c Variation spatio-temporelle de la sismicité (du séisme n° 201 au n° 300).

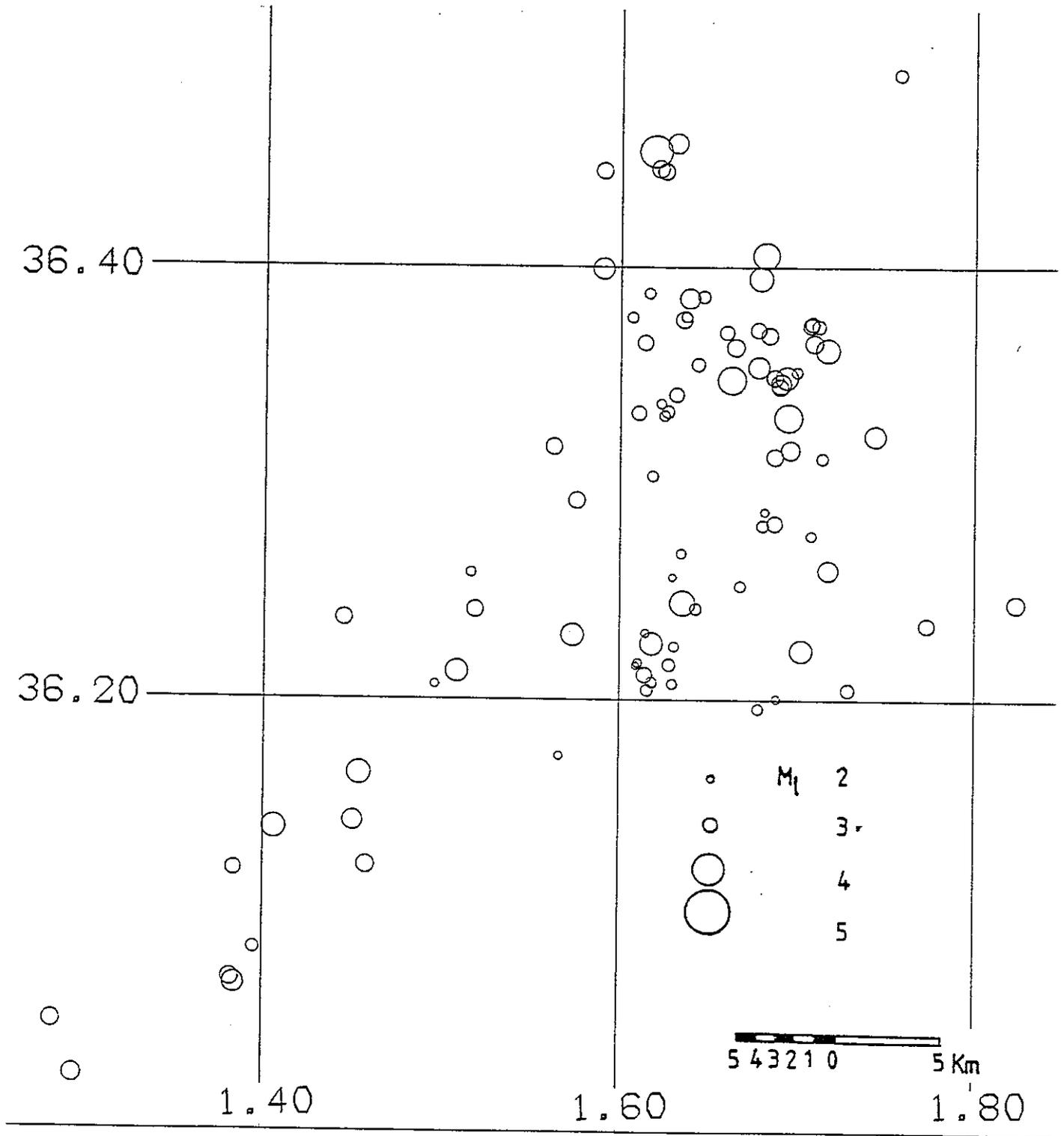


Figure VI.20.d Variation spatio-temporelle de la sismicité (du séisme n° 301 au n° 400).

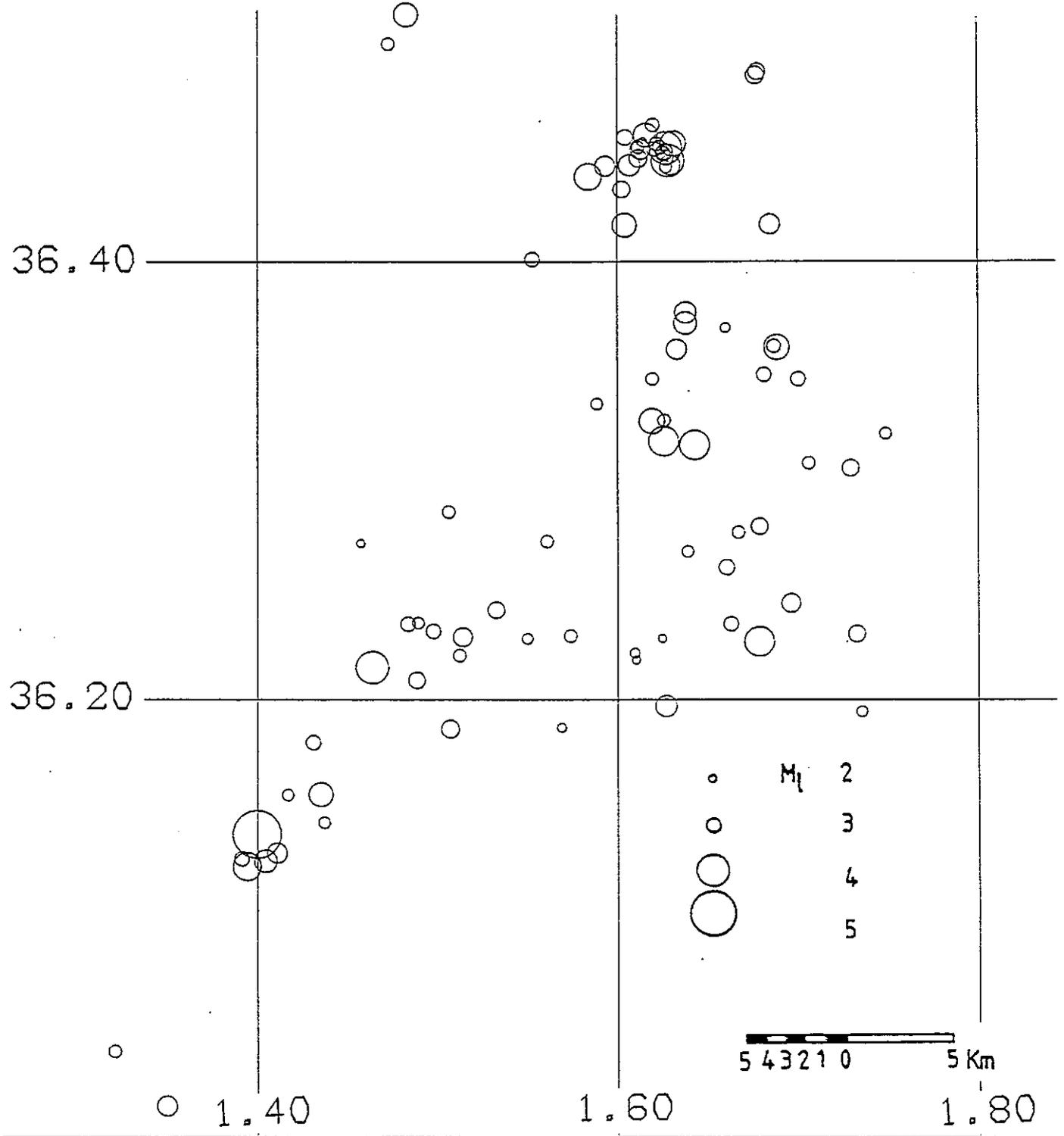


Figure VI.20.e Variation spatio-temporelle de la sismicité (du séisme n° 401 au n° 494).

Les figures VI.21.a et b, VI.22.a et b et VI.23.a, b, c et d qui correspondent respectivement aux coupes A1-A'1, B-B' et C-C' comportent chacune 15 événements. Elles n'indiquent aucune variation particulière de la disposition des projections des foyers sur les différents plans verticaux.

Par contre, la distribution des foyers correspondant à la coupe D1-D'1 (figure VI.24) montre un alignement très net (figure VI.24.c) après le tremblement de terre du 30 octobre 1980 à 23 h 38 mn ($M_L = 5,0$). Nous arrivons ainsi à mettre en évidence l'existence d'un plan de faille orienté NE-SW et plongeant vers le NW. Ce plan de faille est probablement le prolongement de la faille principale vers le NW.

Sur la figure VI.25, nous représentons la variation temporelle de la sismicité pour la partie sud des environs de l'extrémité NE de la faille (coupe E1-E'1). Nous remarquons que la sismicité qui est d'abord répartie sur une profondeur de 0 à 10 km (figures VI.25.a et b) est ensuite surtout localisée à des profondeurs inférieures à 6 km (figures VI.25.c et d).

VI.4. DISTRIBUTION DES MAGNITUDES

Nous avons établi pour l'ensemble de la région et pour la période du 15 octobre au 16 novembre 1980 la loi cumulative de Richter qui relie le nombre de séismes à leur magnitude (voir figure VI.26).

L'étude régionale de la loi de Richter (variation régionale de la pente de la droite obtenue) a été tentée, mais sans succès. En effet, pour aboutir à des valeurs représentatives, il faudrait prendre en compte pour l'ensemble de la région tous les séismes dont la magnitude est supérieure à une valeur minimale donnée. Cette contrainte n'a pas été respectée dans cette étude.

Cependant, des études de la variation régionale du coefficient b de la loi $\log N = a - b \times M$ (N est le nombre de séismes de magnitude supérieure ou égale à M , a et b des coefficients) ont été effectuées de façon indépendante et par des méthodes différentes par A. Cisternas et M. Boughacha (1981). Ces deux études aboutissent au même résultat, à savoir que le coefficient b est nettement plus élevé pour l'essai qui se situe

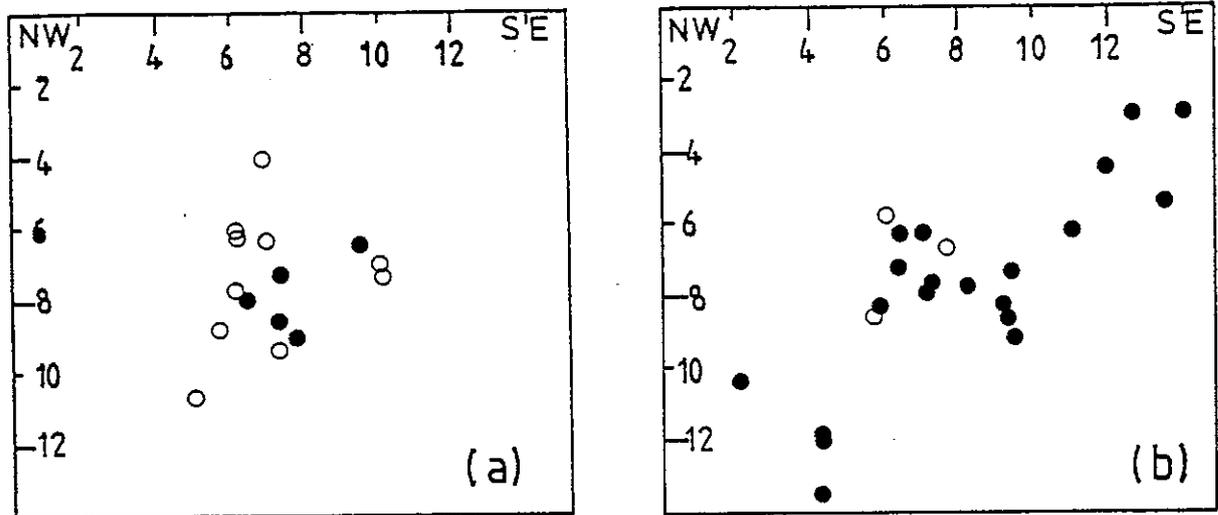


Figure VI.21. Variation temporelle de la sismicité en profondeur. Région correspondant à la coupe A1-A'1 (voir figure VI.10). (a) : du séisme n°1 au n° 117 ; (b) : du séisme n° 119 au n° 481.

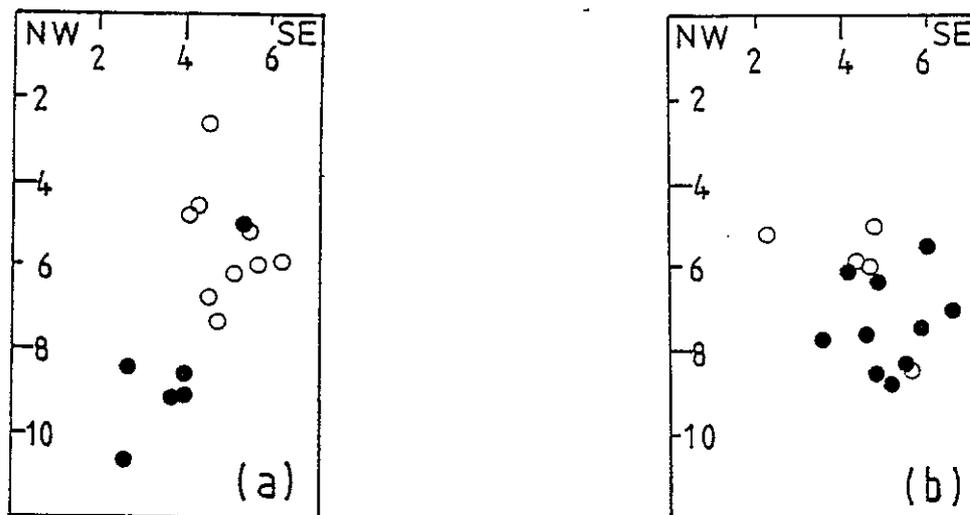


Figure VI.22. Variation temporelle de la sismicité en profondeur. Région correspondant à la coupe B-B' (voir figure VI.10). (a) : du séisme n° 6 au n° 176 ; (b) : du séisme n° 276 au n° 467.

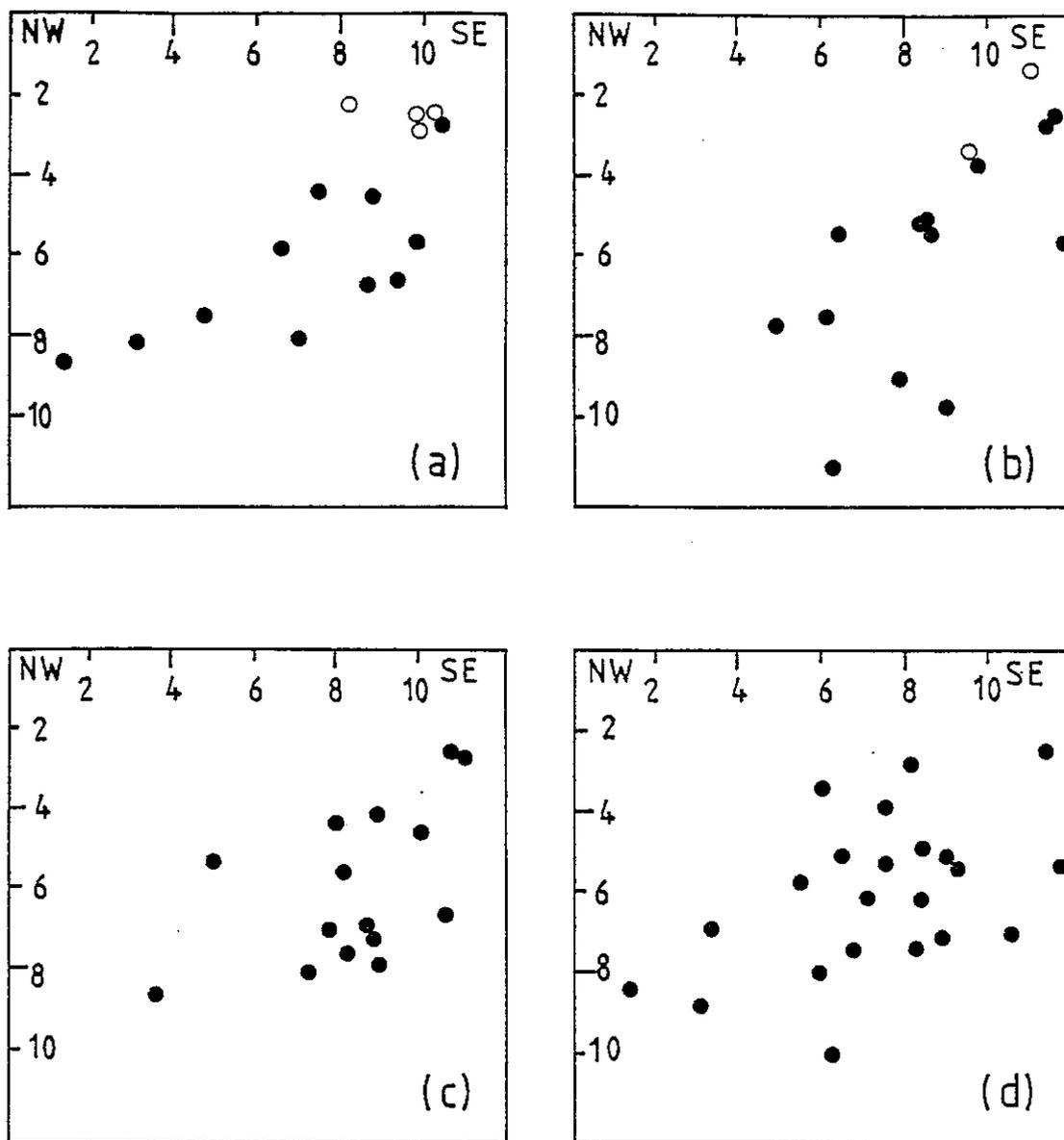


Figure VI.23. Variation temporelle de la sismicité en profondeur. Région correspondant à la coupe C-C' (voir figure VI.10). (a) : du séisme n° 20 au n° 73 ; (b) : du séisme n° 84 au n° 169 ; (c) : du séisme n° 179 au n° 290 ; (d) : du séisme n° 330 au n° 493.

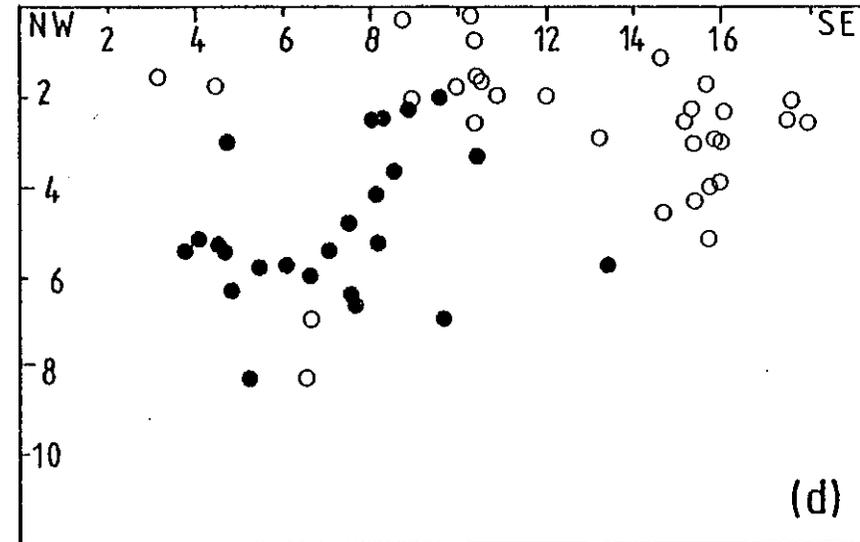
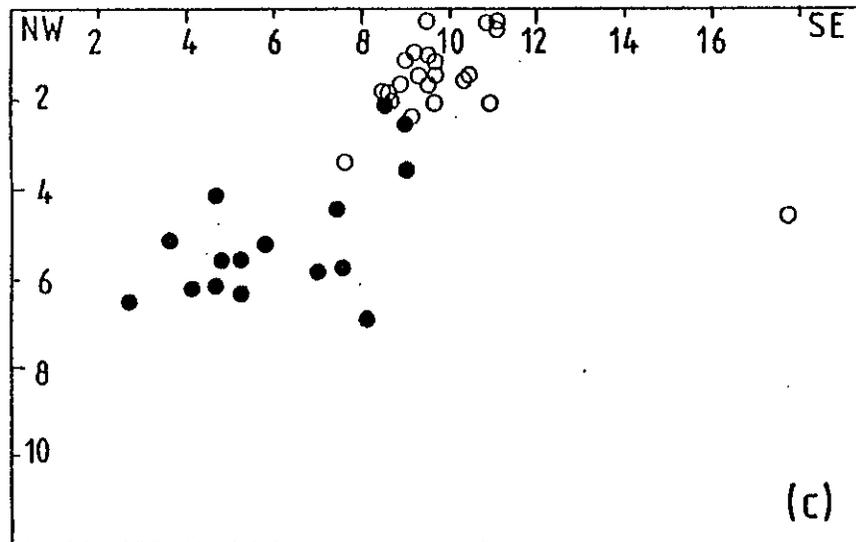
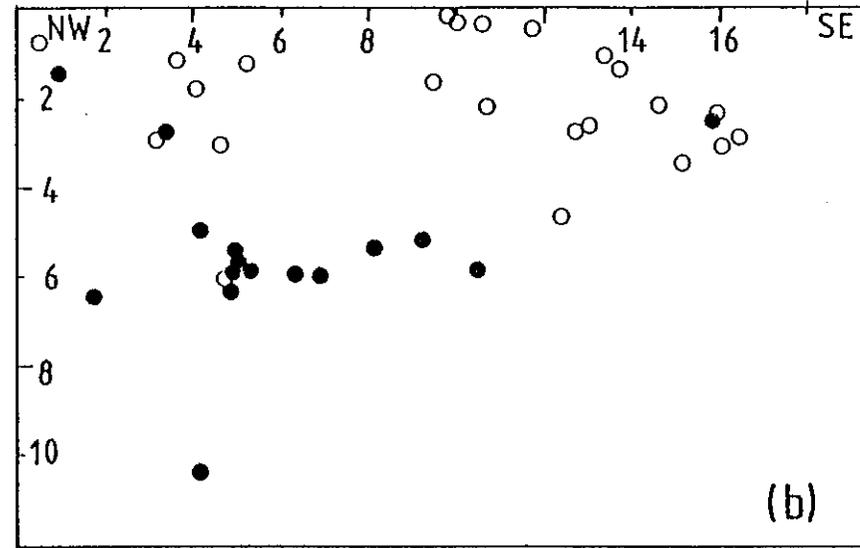
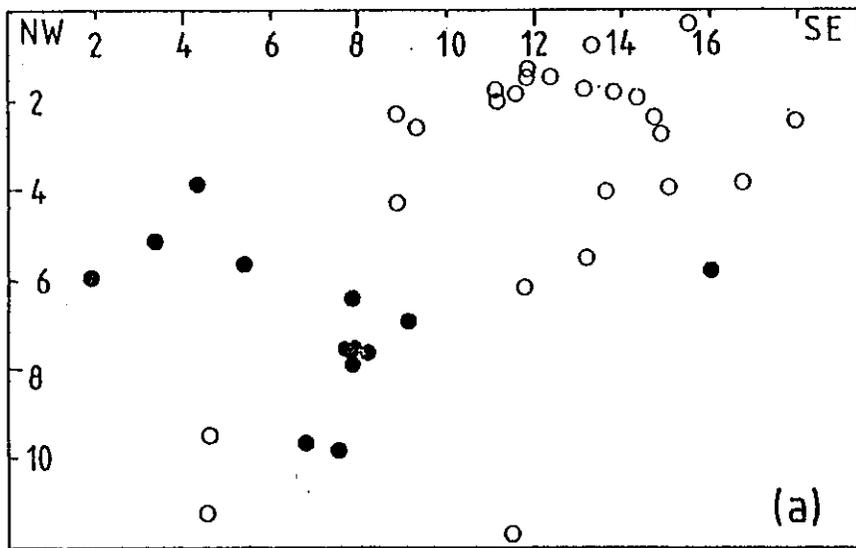


Figure VI.24. Variation temporelle de la sismicité en profondeur. Région correspondant à la coupe D1-D'1 (voir figure VI.10). (a) : du séisme n° 2 au n° 135 ; (b) : du séisme n° 143 au n° 241 ; (c) : du séisme n° 246 au n° 322 ; (d) : du séisme n° 323 au n° 494.

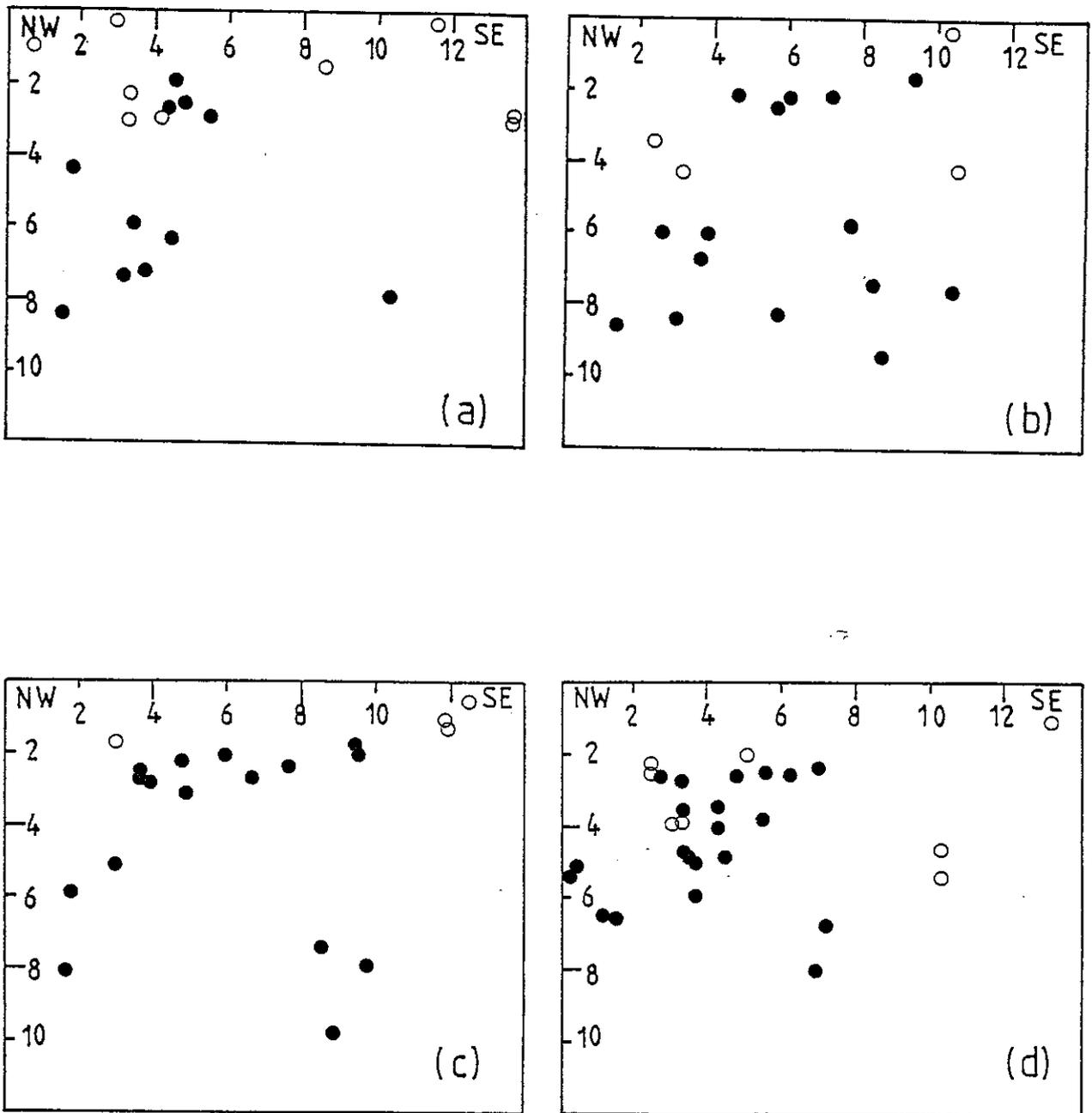


Figure VI.25. Variation temporelle de la sismicité en profondeur. Région correspondant à la coupe E1-E'1 (voir figure VI.10). (a) : du séisme n° 14 au n° 162 ; (b) : du séisme n° 186 au n° 235 ; (c) : du séisme n° 236 au n° 341 ; (d) : du séisme n° 347 au n° 486.

au nord du parallèle 36,30°N que pour la sismicité liée à la faille principale inverse.

Cette variation du coefficient b peut être liée à une fracturation plus importante dans la partie nord où la structure géologique est d'ailleurs plus complexe.

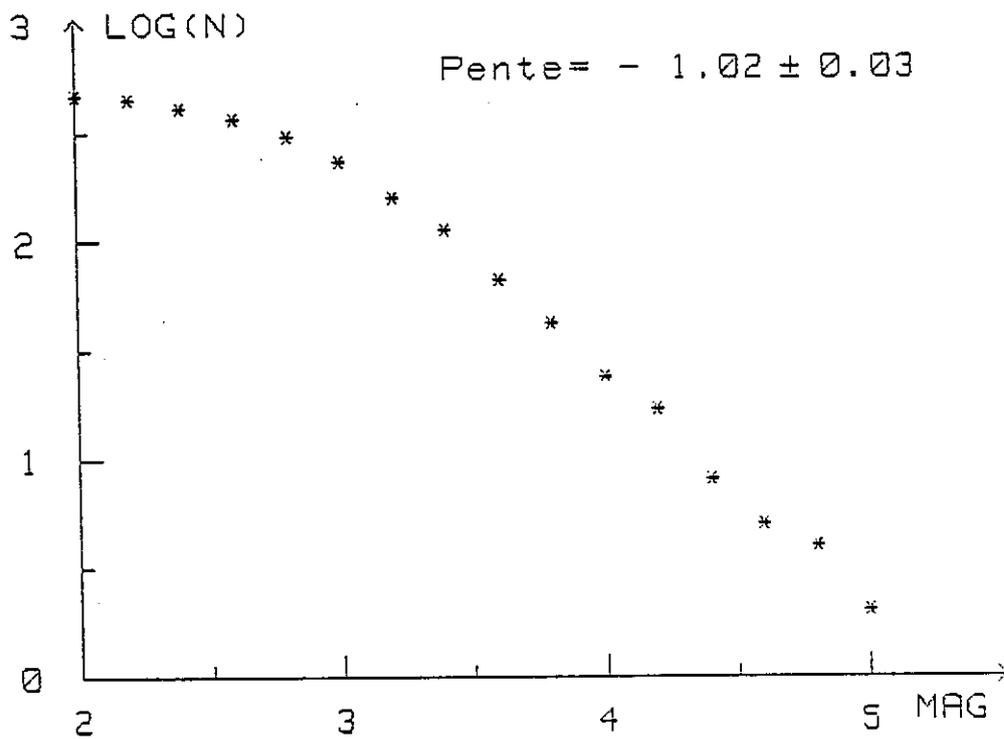


Figure VI.26. Loi cumulative log (N) (N est le nombre de séismes de magnitude supérieure ou égale à M) en fonction de la magnitude M pour l'ensemble des répliques localisées dans cette étude.

CHAPITRE VII

LES MECANISMES AU FOYER DES REPLIQUES

VII.1. METHODE

VII.2. LE PROBLEME DE LA PRECISION DES PARAMETRES DES MECANISMES AU FOYER

VII.2.1. Les séismes très superficiels

VII.2.2. Les erreurs introduites par l'indetermination du foyer

VII.3. LES RESULTATS

VII.3.1. La moitié SW de la faille

VII.3.2. La moitié NE de la faille

VII.3.3. Région située aux alentours de l'extrémité NE de la faille. Partie au nord du parallèle 36,3°N

VII.3.4. Région située aux alentours de l'extrémité NE de la faille. Partie au sud du parallèle 36,3°N

VII.4. DIRECTION ET NATURE DES CONTRAINTES DEDUITES DES SOLUTIONS FOCALES

VII.4.1. Répartition spatiale des axes P et T et des vecteurs glissement

VII.4.2. Distribution des azimuts et des pendages des axes P et T

VII.5. LES RESULTATS PRINCIPAUX DES MECANISMES AU FOYER

VII.5.1. Région située au SW de la lacune de sismicité

VII.5.2. Moitié NE de la faille

VII.5.3. Environs NE de la faille, partie au nord du parallèle 36,3°N

VII.5.4. Environs NE de la faille, partie au sud du parallèle 36,3°N

Le mécanisme au foyer traduit la manière avec laquelle l'énergie se libère au foyer d'un séisme. Une solution est obtenue en représentant le sens du premier mouvement des ondes P à différentes stations sismologiques, à l'aide de transformations mathématiques appropriées.

Les sens du premier mouvement de l'onde P se répartissent généralement dans l'espace en quatre quadrants ; dont deux en compression (le premier mouvement se fait du foyer vers la station) et deux en dilatation (le premier mouvement se fait de la station vers le foyer). Ces quatre quadrants sont délimités par deux plans, qui sont le plan de faille et le plan auxiliaire.

A cause de la symétrie des déplacements, il n'est pas possible en se basant uniquement sur la solution focale de distinguer le plan auxiliaire du plan de faille. Cependant, la répartition spatiale des répliques et l'étude géologique (faille provoquée par le séisme, néotectonique) peuvent nous donner des indications quant au choix du plan de faille.

Dans ce chapitre, nous allons exposer sommairement la méthode utilisée pour le calcul des solutions focales, traiter le problème des erreurs sur l'inclinaison et l'azimut des rais sismiques introduites par l'indétermination de la position du foyer, discuter la qualité et la signification du point de vue tectonique (quand cela est possible) de chaque solution focale et enfin étudier l'état des contraintes.

VII.1. METHODE

Parmi les transformations mathématiques qui permettent de représenter la répartition spatiale des sens du premier mouvement autour du foyer d'un séisme, les projections stéréographique et de Schmidt (dite équi-aréale) sont les plus utilisées. Ces deux transformations sont représentées sur les figures VII.1 et VII.2.

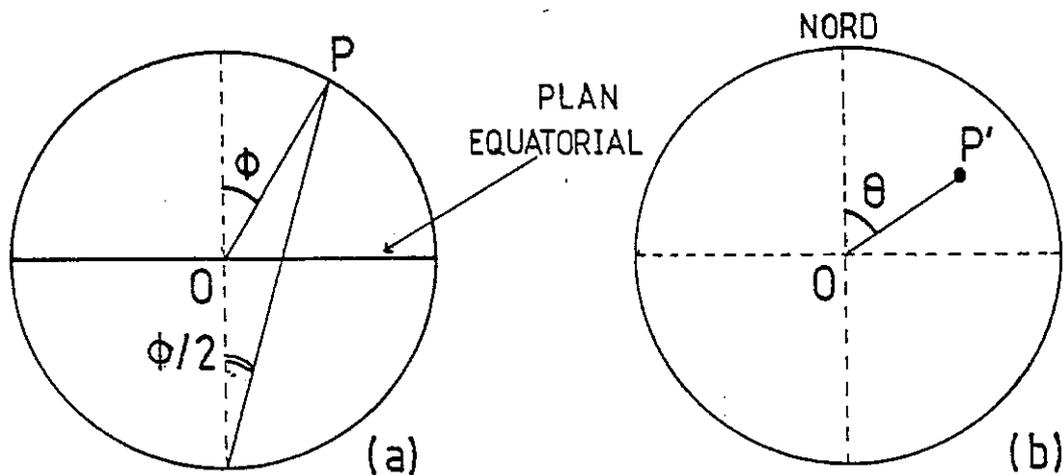


Figure VII.1. Projection stéréographique qui transforme le point P en P'. (a) : plan vertical passant par O (confondu avec le foyer du séisme) et P (intersection du rai sismique OP avec la sphère focale). (b) : plan équatorial sur lequel se trouve le point P', θ correspond à l'azimut du rai, la longueur du segment OP' est $\text{tg}(\phi/2)$.

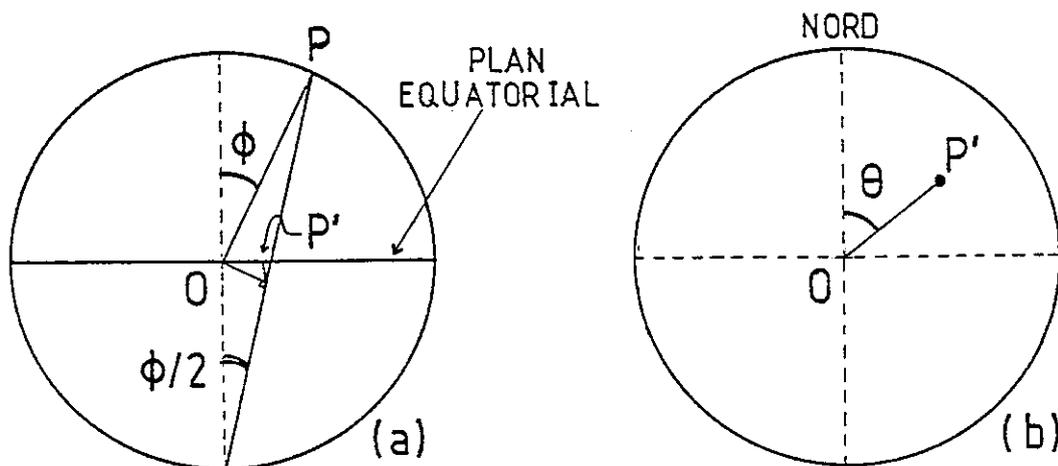


Figure VII.2. Projection de Schmidt. (a) : plan vertical passant par le centre de la sphère et le point P. (b) : plan équatorial. L'angle azimutal θ reste inchangé, et la longueur du segment OP' est $\sin \phi/2$. Cette projection conserve les surfaces.

A l'aide de ces transformations, connaissant le sens du premier mouvement de l'onde P à différentes stations sismologiques, nous pouvons représenter dans le plan l'ensemble des éléments (plans nodaux, axes de contrainte maximale et minimale, pôles des plans nodaux) qui caractérisent la solution focale. Le mécanisme de rupture est alors défini à partir du moment où le choix du plan de faille est fixé.

Nous donnons sur la figure VII.3, la représentation des principaux mécanismes au foyer.

VII.2. LE PROBLEME DE LA PRECISION DES PARAMETRES DES MECANISMES AU FOYER

A chaque fois qu'on utilise des valeurs numériques pour essayer de rendre compte d'un phénomène physique quelconque, on se demande si ces données sont fiables ; on pose alors le problème de l'estimation des erreurs. C'est précisément cette question (en relation avec le calcul de solutions focales) que nous allons aborder dans ce paragraphe.

Il faut alors tenter de répondre à deux questions : d'abord, à quelle phase correspond la première arrivée (onde réfractée ou directe), surtout pour les séismes très superficiels (situés au-dessus d'un réflecteur). Puis, quelle est l'erreur induite par le déplacement du foyer sur l'azimut et l'inclinaison de chaque rai sismique.

VII.2.1. Les séismes très superficiels

Dans ce cas, le foyer se situe au-dessus du réflecteur. Selon l'angle d'incidence du rai, le contraste de vitesse de part et d'autre du réflecteur et la position de la station, il sera enregistré en premier soit l'onde directe, soit l'onde réfractée dont le rai aura alors un angle d'incidence constant.

Nous obtenons donc dans le cas d'ondes réfractées, un ensemble de points d'azimut variable, disposés en cercle autour du foyer. Cette disposition peut changer considérablement la représentation du mécanisme au foyer par rapport à la disposition obtenue à partir des ondes directes.

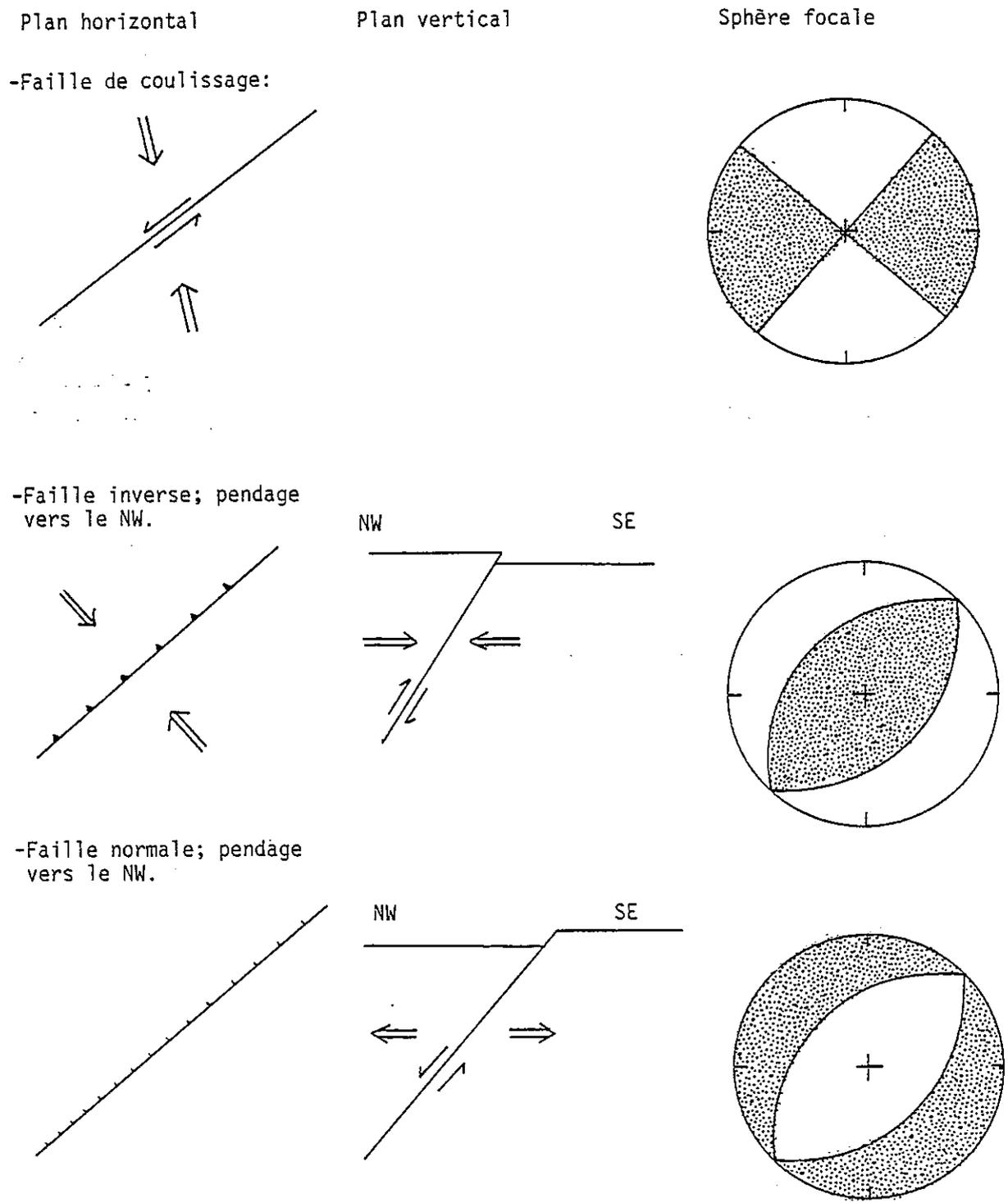


Figure VII.3. Représentation des différents types de failles. Les flèches à double trait indiquent la direction de contrainte maximale ($\Rightarrow \Leftarrow$) ou minimale ($\Leftarrow \Rightarrow$) ; les flèches à trait simple indiquent le sens du mouvement de chacun des deux compartiments. La sphère focale représente le mécanisme de rupture sur la faille ; en foncé, les quadrants en compression, en blanc, les quadrants en dilatation.

A titre d'exemple, nous présentons trois cas de figures pour lesquels nous avons calculé les solutions focales en tenant compte d'abord du modèle de vitesse utilisé (foyer au-dessus du réflecteur qu'on suppose être à 3 km de profondeur, donc existence d'ondes réfractées), puis en considérant uniquement les ondes directes. Les trois séismes que nous avons choisis sont spatialement très voisins (distance entre foyers inférieure à 2 km).

Dans le premier cas, il n'est pas possible de tracer un mécanisme au foyer classique (plans orthogonaux) lorsqu'on prend en compte les rais réfractés. Cependant, la solution la plus probable donne des plans nodaux avec des pendages qui s'inversent (vers la NW et le NE) par rapport à ceux obtenus à partir des ondes directes (vers le SE et le SW) (voir figure VII.4.a).

Pour les deux autres solutions focales (figures VII.4.b,c), le sens de plongement des plans nodaux reste inchangé, mais la composante de coulissage devient importante lorsqu'on prend en compte les ondes réfractées.

On voit alors que l'identification du rai réfracté peut être déterminante dans le calcul d'une solution focale. A cela, il faut ajouter les importantes erreurs sur l'inclinaison et l'azimut du rai sismique qui sont introduites par l'indétermination du foyer. Cette question sera traitée dans le paragraphe suivant.

VII.2.2. Les erreurs introduites par l'indétermination du foyer

Nous avons vu au chapitre V que la précision des localisations était liée à plusieurs paramètres. Etant donné la complexité de la structure de vitesse de la région (une inversion n'a pas encore été tentée), il est difficile d'avoir une idée précise sur la valeur des erreurs commises sur la position du foyer.

Pour simplifier le problème, nous considérons que les erreurs sur la position de l'épicentre et la profondeur du foyer sont respectivement 1 et 2 km (voir § V.3), et ce, pour n'importe quelle profondeur.

Ainsi, le déplacement du foyer va induire une variation de l'azimut et de l'inclinaison du rai sismique. Les calculs seront faits pour un demi-espace homogène.

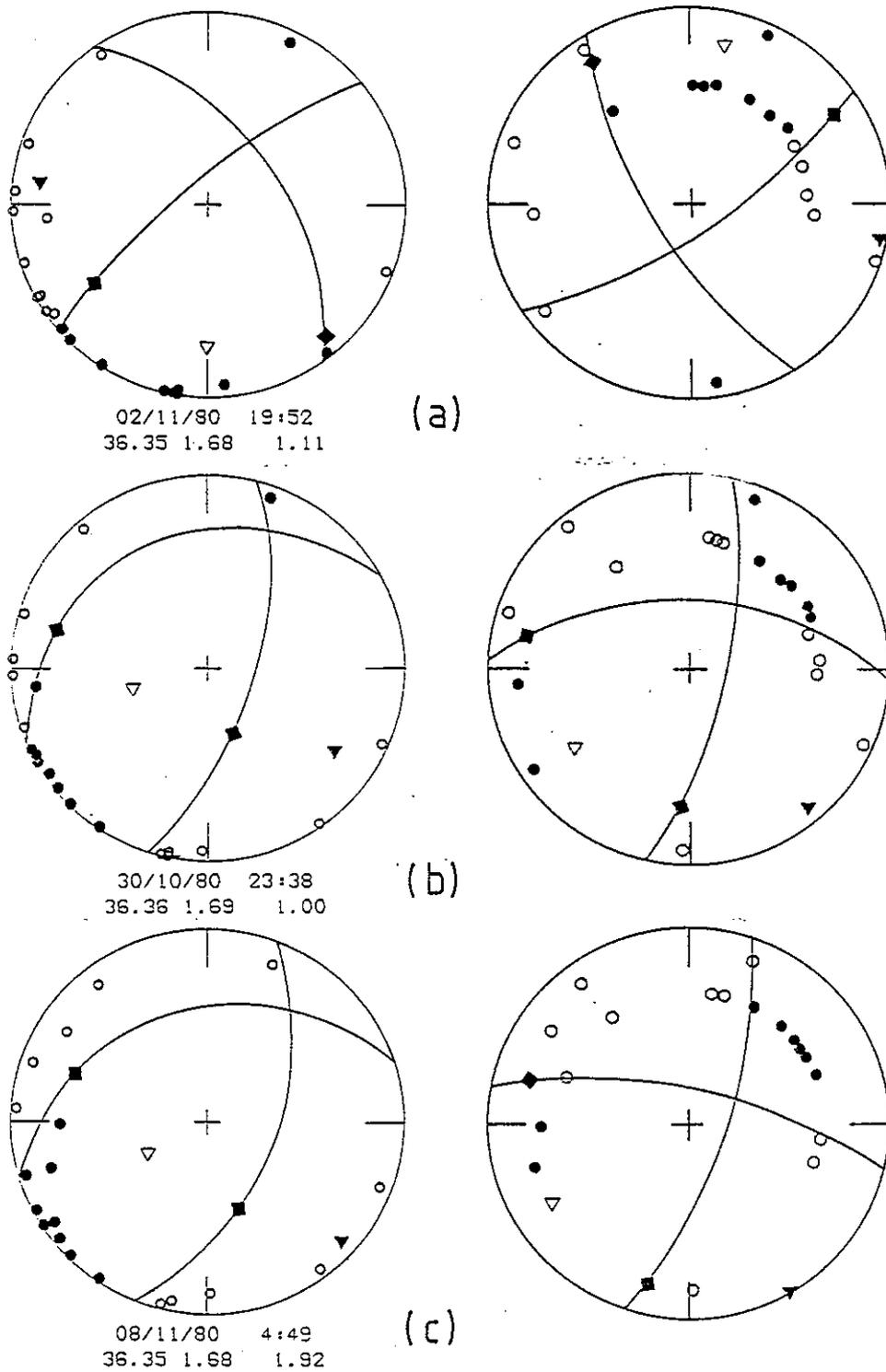


Figure VII.4. Solutions focales de 3 séismes très superficiels (h inférieur à 3km), dans le cas où l'ensemble des ondes enregistrées sont directes (à gauche) et où il existe des ondes réfractées (à droite). La représentation est faite en projection de Schmidt de l'hémisphère supérieur : cercles pleins, compressions ; cercles creux, dilatations ; les triangles pleins et creux représentent respectivement les axes P et T. En bas de chaque séisme, nous indiquons la date, l'heure, les coordonnées de l'épicentre (en degrés) et la profondeur du foyer en kilomètres.

a) Erreur sur l'azimut du rai

Le déplacement vertical du foyer n'influera en aucune façon sur l'azimut du rai sismique qui dépend uniquement de la position de l'épicentre.

Si nous considérons un déplacement ΔD de l'épicentre dont la distance à la station est D , nous aurons alors une variation ΔAz de l'azimut. ΔAz qui est l'angle entre le segment de droite ES et celui joignant la station S à un point (I) du cercle centré sur l'épicentre E , est maximal lorsque SI est tangent au cercle (figure VII.5).

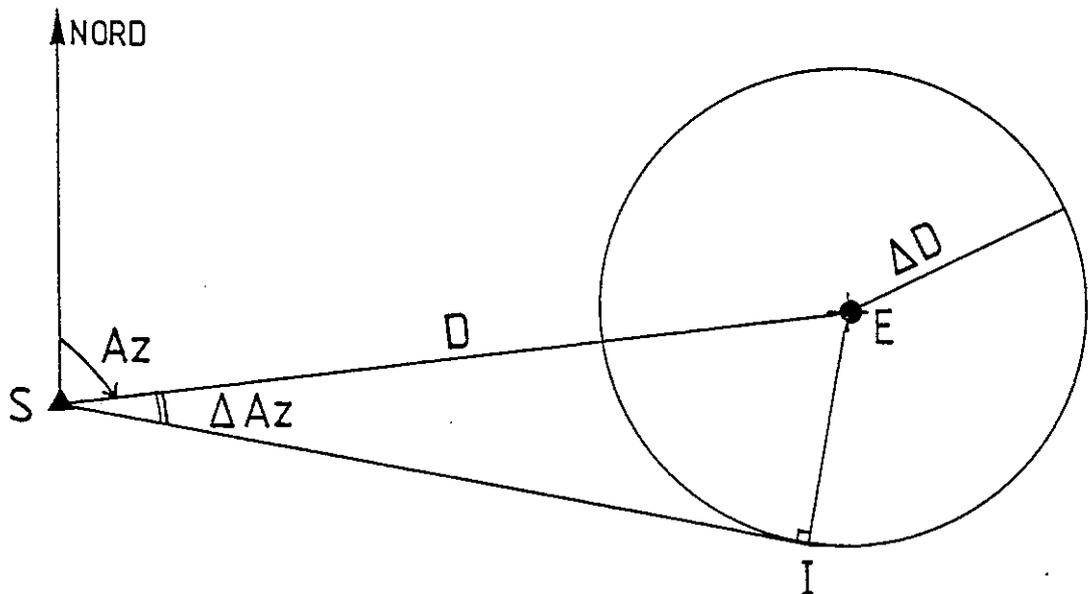


Figure VII.5. Variation maximale ΔAz de l'azimut Az lorsque l'épicentre E se déplace d'une quantité ΔD . D est la distance épicentrale, SI le segment tangent au cercle de rayon ΔD .

Dans ce cas, on obtient :

$$\Delta Az = \text{Arcsin} \left(\frac{\Delta D}{D} \right)$$

La courbe représentée par l'équation ci-dessus est tracée sur la figure VII.6 pour $\Delta D = 1$ km, on voit que l'erreur commise sur l'azimut du rai décroît très vite pour être inférieure à 5° pour des distances épacentrales supérieures à 11 km.

Ainsi, dans le calcul de solutions focales, les azimuts des rais correspondant aux stations les plus éloignées étant plus précis, les plans nodaux dont le tracé est guidé par les sens du premier mouvement à des distances plus importantes ont des azimuts mieux déterminés.

b) Erreur sur l'inclinaison du rai

Dans ce cas, l'erreur sera due non seulement à un déplacement horizontal mais aussi vertical du foyer sismique.

Le problème peut être traité de deux manières : soit en considérant des variations infinitésimales de la profondeur du foyer et de la distance épacentrale, soit en procédant par la géométrie.

Si la deuxième méthode nous permet d'aboutir à une estimation réelle de l'erreur sur l'inclinaison du rai, la première n'est qu'une approximation valable uniquement pour de faibles valeurs des différentes variations des paramètres (inclinaison, profondeur, distance épacentrale).

- Calcul par éléments infinitésimaux.

Soit un foyer F situé à la profondeur $H = EF$, E étant l'épicentre. La station S est telle que $ES = D$, D est la distance épacentrale (voir figure VII.7).

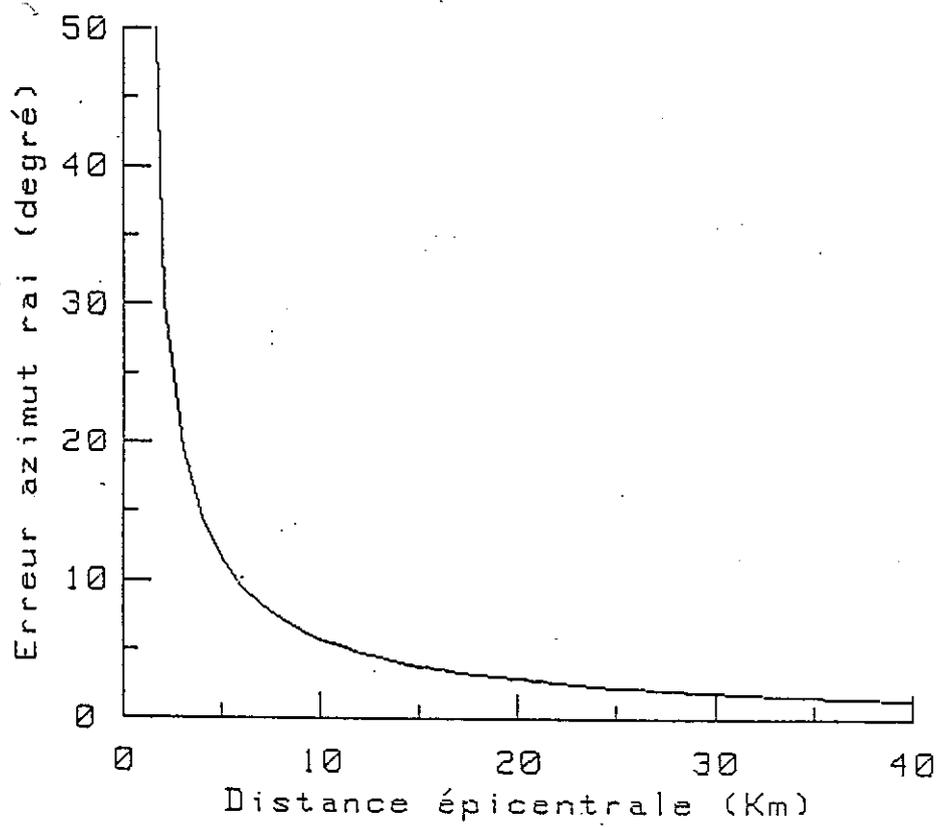


Figure VII.6. Variation de l'erreur sur l'azimut du rai en fonction de la distance épacentrale, pour un modèle composé d'un demi-espace homogène et une erreur sur la distance épacentrale de 1 km.

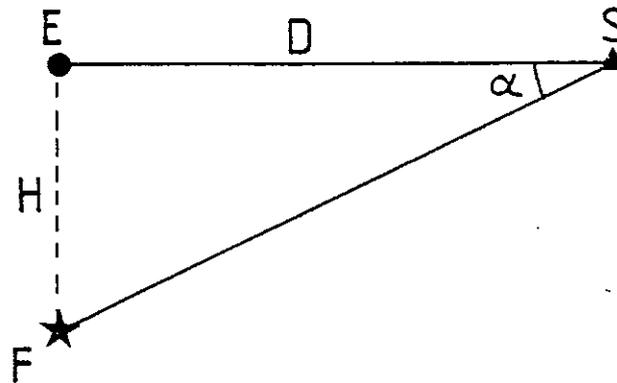


Figure VII.7. Schéma montrant la disposition des paramètres qui vont intervenir dans le calcul de l'erreur sur l'inclinaison α . E, épicentre ; F, foyer ; S, station sismologique ; D, distance épacentrale ; H, profondeur.

L'angle d'inclinaison du rai est donné par :

$$\alpha = \text{Arctg} \left(\frac{H}{D} \right)$$

Si l'on considère une variation infinitésimale dH de H et dD de D , il s'ensuit une variation $d\alpha$ de α donnée par la formule :

$$d\alpha = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{1}{(D^2 + H^2)} \cdot (D dh - h dD).$$

$d\alpha$ est exprimé ici en degré.

H et D étant positifs, la valeur maximale de $d\alpha$ est obtenue pour dh positif et dD négatif.

Nous représentons sur la figure VII.8.a la variation $d\alpha$ en fonction de l'inclinaison α , pour plusieurs valeurs de H et pour $dH = 2$ km et $dD = -1$ km.

- Calcul à partir de la géométrie.

Dans ce cas, il est tenu compte des variations finies de la profondeur et de la distance épacentrale. Ces variations finies seront désignées par la lettre Δ .

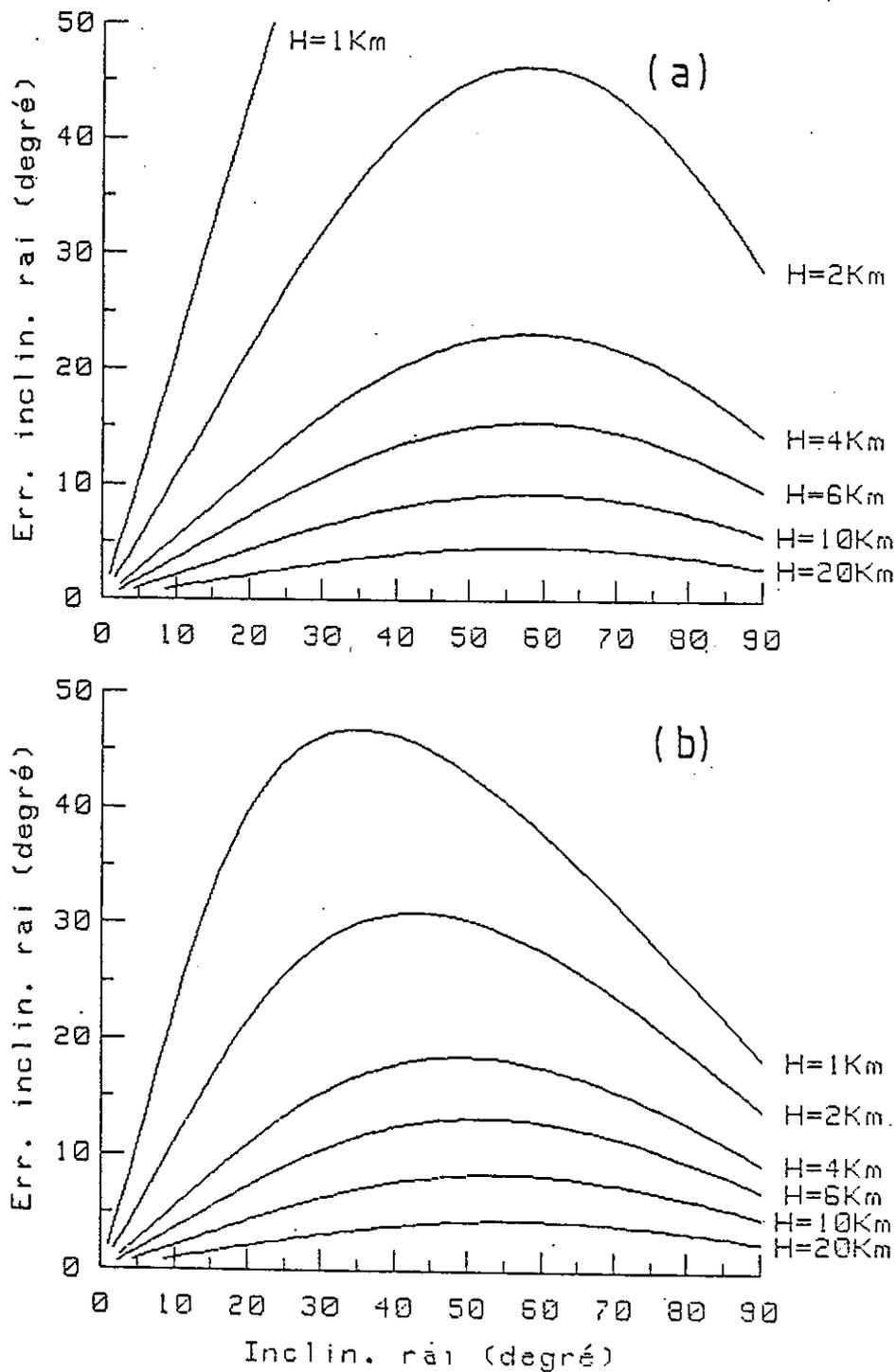


Figure VII.8. Erreur sur l'inclinaison du rai en fonction de cette même inclinaison dans le cas d'un demi-espace homogène et une erreur de 1 km sur la position de l'épicentre et de 2 km sur la profondeur du foyer. Le calcul est fait pour plusieurs valeurs de la profondeur H . (a) : en considérant des variations infinitésimales ; (b) : pour des variations finies.

Nous obtenons le schéma suivant :

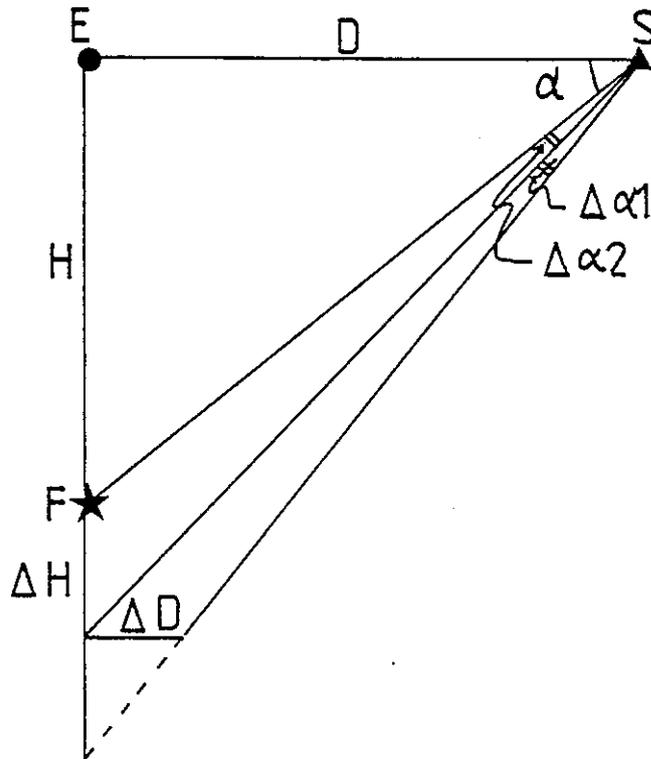


Figure VII.9. Variation de l'inclinaison α . Une variation ΔH de la profondeur provoque une variation $\Delta\alpha_1$ de l'angle α . Le déplacement de l'épicentre qui induit une variation $\Delta\alpha_2$ doit se faire de telle sorte que $\Delta\alpha_2$ s'ajoute à $\Delta\alpha_1$.

Nous obtenons alors :

$$\operatorname{tg} (\alpha + \Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2) = \frac{1}{D} (H + \Delta H + \Delta D \times \operatorname{tg} (\alpha + \Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2))$$

Ce qui donne :

$$\Delta\alpha_1 + \Delta\alpha_2 = \Delta\alpha = \operatorname{Arctg} \left(\frac{H + \Delta H}{D - \Delta D} \right) - \operatorname{Arctg} \left(\frac{H}{D} \right)$$

Nous représentons sur la figure VII.8.b, les courbes $\Delta\alpha$ en fonction de α , pour différentes valeurs de la profondeur H et pour $\Delta D = 1$ km et $\Delta H = 2$ km.

Nous vérifions que les courbes tracées à partir des deux méthodes (éléments infinitésimaux, figure VII.8.a et variation finie, figure VII.8.b) ont la même allure générale et sont superposables pour les faibles valeurs de $\Delta\alpha$.

Lorsque l'on représente les sens du premier mouvement de l'onde P sur une sphère focale (en projection de Schmidt par exemple), il est possible, connaissant la profondeur du foyer, d'associer à chaque point un espace dans lequel il est probable de se trouver ; c'est-à-dire que pour chaque station, on peut estimer l'erreur sur l'inclinaison et l'azimut du rai. Cependant, l'erreur commise sur l'azimut et le pendage des plans nodaux est difficile à déterminer car elle ne dépend pas seulement de la position des plans eux-mêmes, mais aussi de la distribution des sens du premier mouvement sur la sphère focale.

Toutefois, il est clair que le pendage d'un plan nodal sera d'autant plus précis que l'erreur sur l'inclinaison des rais qui ont servi à le déterminer est plus faible, donc le foyer plus profond.

VII.3. LES RESULTATS

Dans le calcul des solutions focales, nous avons utilisé la projection de Schmidt de l'hémisphère supérieur. Nous avons ainsi tracé 82 solutions focales individuelles qui représentent le mécanisme de rupture pour toute la zone où il a été enregistré des tremblements de terre, sauf au nord du parallèle $36,40^\circ\text{N}$ où l'essai est en dehors du réseau.

Pour des considérations que nous avons précisées au paragraphe précédent (le problème des paramètres des mécanismes au foyer), seules les solutions focales des séismes de profondeur supérieure à 3 km ont été calculées.

Les solutions les mieux déterminées (solutions pour lesquelles les plans nodaux ne peuvent pratiquement pas bouger) nous ont, dans certains cas, servi de guide

TABLEAU VII. A

Paramètres des mécanismes au foyer

Partie Sud de la faille

N°	PLAN 1		PLAN 2		P		T	
	Az.	Pend.	Az.	Pend.	Az.	Pend.	Az.	Pend.
108	310	40 SW	050	80 NW	172	24	284	42
167	260	55 S	028	50 NW	338	12	236	50
176	258	48 S	030	55 NW	148	08	242	60
205	176	65 E	270	80 S	138	30	042	12
214	292	80 SW	200	80 SE	160	14	244	00
273	176	60 E	270	80 S	138	30	038	18
274	174	60 E	268	80 S	138	28	040	12
276	250	44 SE	014	60 NW	130	10	232	60
297	234	60 SE	358	50 W	298	05	208	56
317	302	80 SW	208	70 SE	170	20	078	06
343	125	70 NE	212	84 SE	348	10	080	18
344	106	60 NE	208	70 SE	335	05	068	36
345	268	60 S	030	50 NW	330	05	237	50
363	268	80 S	174	60 E	138	25	040	10
377	070	60 NW	228	30 SE	156	18	352	74
378	266	64 S	050	30 NW	344	20	210	68
404	230	30 SE	040	62 NW	136	15	302	75
415	062	66 NW	184	40 E	130	16	020	58
427	250	40 SE	028	60 NW	142	10	246	64
434	278	80 S	184	80 E	142	12	050	04
437	268	54 S	035	50 NW	340	08	246	52
441	256	44 SE	012	66 NW	132	14	234	52
450	108	70 NE	208	70 SE	328	10	072	48
467	130	70 NE	222	80 SE	352	08	086	20

TABLEAU VII. B

Paramètres des mécanismes au foyer

Partie Nord de la faille

N°	PLAN 1		PLAN 2		P		T	
	Az.	Pend.	Az.	Pend.	Az.	Pend.	Az.	Pend.
29	300	80 SW	034	60 NW	348	14	250	28
43	328	80 SW	232	70 SE	192	20	102	06
122	110	60 NE	214	60 SE	342	00	072	46
126	290	80 SW	026	55 NW	342	20	240	30
161	168	50 E	266	75 S	132	40	030	18
169	052	50 NW	186	50 E	124	00	034	66
171	270	65 S	024	50 NW	330	10	228	50
179	056	50 NW	198	50 SE	308	00	032	70
191	358	70 W	252	50 SE	118	12	220	42
240	064	30 NW	190	70 E	300	22	072	55
244	258	50 S	038	50 NW	328	00	238	66
250	274	60 S	154	50 NE	132	56	036	05
256	178	55 E	296	55 SW	150	54	060	00
264	060	56 NW	282	45 SW	190	04	256	64
290	124	65 NE	236	50 SE	184	12	086	50
302	172	50 E	086	90	134	30	030	28
351	116	60 NE	220	54 SE	344	06	080	46
387	324	60 SW	070	50 NW	282	45	022	12
400	060	50 NW	198	50 SE	310	00	040	66
429	284	60 S	044	50 NW	344	04	252	54
431	254	60 SE	360	70 W	128	08	220	40
453	072	50 NW	208	50 SE	324	00	052	68
457	276	80 S	014	60 NW	328	10	234	28
476	260	25 S	042	70 NW	148	25	290	60
480	138	80 NE	236	50 SE	188	12	088	44
492	060	60 NW	185	40 E	124	10	024	63

TABLEAU VII. C

Paramètres des mécanismes au foyer

Essaim situé aux environs NE de la faille

Partie au nord du parallèle 36,3° N.

N°	PLAN 1		PLAN 2		P		T	
	Az.	Pend.	Az.	Pend.	Az.	Pend.	Az.	Pend.
183	268	50 S	052	48 NW	340	06	243	74
198	244	60 SE	056	30 NW	332	16	174	80
217	332	80 SW	241	90	290	08	198	10
221	332	75 SW	240	90	288	10	196	12
259	330	75 SW	236	90	286	10	194	12
265	278	44 S	054	58 NW	168	08	262	64
288	260	70 SE	017	40 NW	322	12	220	50
291	172	85 E	258	90	036	04	126	04
292	168	85 NE	070	50 NW	290	24	038	36
301	016	50 NW	270	70 S	328	12	228	46
324	296	60 SW	053	50 NW	357	08	258	54
357	174	84 E	262	90	038	02	130	06
374	338	65 SW	246	90	295	18	200	20
390	155	70 NE	258	50 S	115	45	210	14
395	242	20 SE	018	78 NW	125	30	268	56
423	089	48 N	215	50 SE	330	00	059	56
428	338	80 SW	246	90	113	10	205	20
432	268	68 S	019	50 NW	326	12	228	46

TABLEAU VII. D

Paramètres des mécanismes au foyer

Essaim situé aux environs NE de la faille

Partie au sud du parallèle 36,3° N.

N°	PLAN 1		PLAN 2		P		T	
	Az.	Pend.	Az.	Pend.	Az.	Pend.	Az.	Pend.
110	287	48 SW	042	66 NW	164	10	260	50
186	096	75 N	207	30 SE	168	28	038	54
194	284	48 SW	050	58 NW	168	05	262	60
212	281	60 SW	038	50 NW	338	10	242	56
225	286	60 SW	042	56 NW	345	05	254	50
226	292	60 SW	035	70 NW	165	10	256	38
263	297	60 SW	062	46 NW	004	10	262	60
313	295	60 SW	036	70 NW	167	10	260	38
338	288	60 SW	041	56 NW	353	06	250	50
366	068	70 NW	192	30 E	142	24	010	60
465	282	48 SW	040	60 NW	163	05	256	55
479	284	42 SW	038	70 NW	158	14	262	52
482	082	38 NW	252	52 SE	343	10	153	80

pour le calcul des mécanismes au foyer les moins bien contraints. Cependant, dans tous les cas, il n'est possible de tracer qu'un seul type de mécanisme de rupture, et généralement, l'azimut et le pendage des plans nodaux obtenus varient de 20° au maximum (erreur d'environ $\pm 10^\circ$).

Les résultats obtenus seront présentés pour quatre essais principaux. Les deux premiers correspondent à la faille principale inverse et sont séparés par la lacune de sismicité qui est localisée juste à l'ouest de Oued-Fodda, il s'agit des moitiés SW et NE de la faille. Les deux autres groupes de séismes sont situés aux environs de l'extrémité NE de la faille, à l'est du méridien $1,6^\circ\text{E}$ et sont séparés par le parallèle $36,3^\circ\text{N}$.

La précision des solutions focales ainsi que leurs relations avec les déformations de surface, la répartition spatio-temporelle de la sismicité et la néotectonique seront discutées pour chacun des quatre essais.

Les mécanismes au foyer sont représentés sur la figure VII.27, et leurs paramètres sont donnés dans les tableaux VII.A, VII.B, VII.C, VII.D pour chaque groupe de séismes.

VII.3.1. La moitié SW de la faille

Nous pouvons distinguer deux régions : la partie où la faille est visible en surface, au nord et la partie non déformée au sud. Les solutions focales relatives à cette région sont présentées sur la figure VII.10, les séismes auxquels elles se rapportent sont également indiqués.

- Partie où la faille n'est pas visible en surface.

Nous avons obtenu 9 solutions focales que nous pouvons diviser en deux groupes : deux mécanismes de faille inverse (297, 377) et sept mécanismes de cisaillement (205, 214, 273, 274, 317, 363, 434).

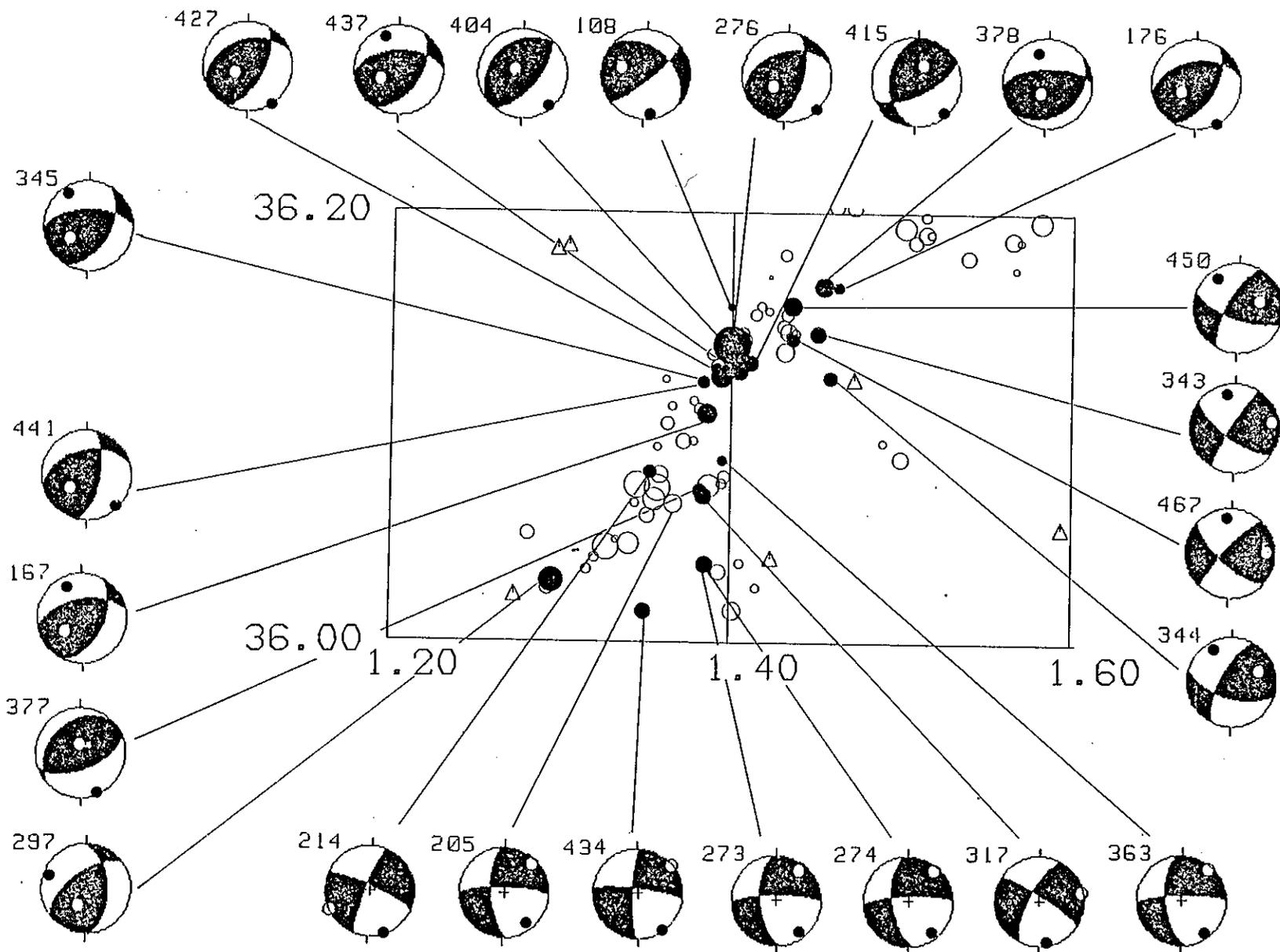


Figure VII.10. Représentation des solutions focales (projection de Schmidt de l'hémisphère supérieur) pour la moitié SW de la faille. Voir figure VII.21 pour légende.

a) Précision.

Le mécanisme n° 297 qui correspond au séisme le plus profond ($h = 13,5$ km) est bien déterminé malgré l'absence de lecture près de l'épicentre (la station la plus proche, MAS, était bruitée au moment du séisme). Cette solution est toutefois compatible avec les sens du premier mouvement obtenus pour les séismes n° 300 et 307 (chaque station a enregistré le même sens du premier mouvement pour chacun des trois séismes) qui se sont produits au même endroit que le n° 297 et à des profondeurs comparables. Les deux derniers qui sont probablement les répliques du premier ($M_L = 4,1$) ont été enregistrés par la station la plus proche, MAS, qui donne un sens du premier mouvement en compression (voir figure VII.11) ; ceci confirme la stabilité de la solution n° 297.

Les solutions focales n° 273, 274, 317, 377 et 434 sont assez précises. Toutefois, le pendage du plan nodal NS du n° 434 peut varier de 10° environ autour de la position verticale.

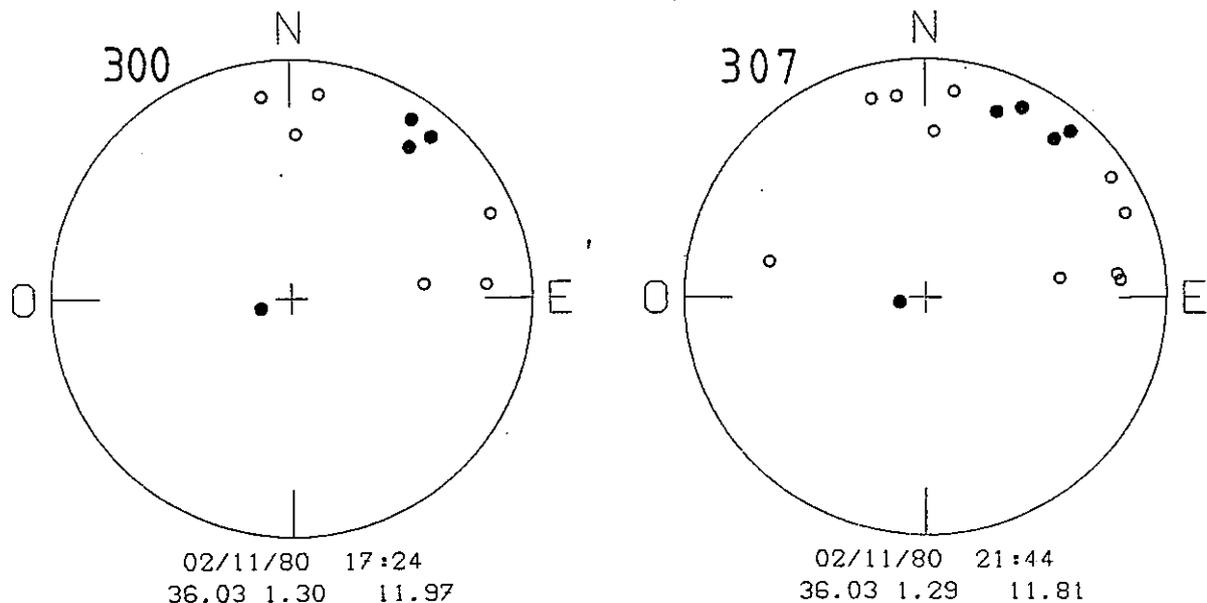


Figure VII.11. Distribution des sens du premier mouvement (projection de Schmidt de l'hémisphère supérieur) pour les séismes n° 300 et 307 qui ont très probablement le même mécanisme que le n° 297. La compression à la station MAS (au centre) confirme bien la stabilité de la solution n° 297. En bas, on indique : la date, l'heure, les coordonnées de l'épicentre (en degré) et la profondeur du foyer (en km) pour chacune des répliques.

Les solutions n° 205 et 363 ont un plan nodal (NS) stable, le deuxième plan a un azimut constant, mais un pendage qui peut varier de 50°S à 90°. La solution la moins bien contrainte est la 214. Cependant, pour ces trois séismes (205, 214, 363), les plans nodaux conservent la même direction (NS à NNE-SSW et EW à WNW-ESE), et la composante de cisaillement est prépondérante.

b) Relation avec la répartition spatio-temporelle de la sismicité

Dans cette région, la sismicité change de direction pour s'orienter NS à NNE-SSW. Dans ce cas, mis à part le mécanisme n° 377, toutes les solutions obtenues pour cette zone tendent à confirmer cette hypothèse. Le pendage des failles serait alors proche de la verticale, sauf pour le mécanisme du séisme n° 297 qui d'ailleurs a la particularité d'être le plus profond (H = 13,5 km).

Sur la figure VII.12, nous représentons les foyers projetés sur un plan vertical orienté N117°E (coupe A1-A'1 dont l'emplacement est indiqué sur la figure VI.10) ainsi que les solutions focales calculées pour cette région. L'essai compris entre les abscisses (échelle horizontale) 4 et 8,5 km est quasiment vertical et a un azimut N27°E. Les séismes n° 205 et 214 font partie de cet essaim et les plans nodaux NS de leurs mécanismes correspondraient au plan de faille. Les autres séismes pour lesquels on a pu calculer des solutions focales ne font pas partie du même essaim.

Si maintenant, on effectue une projection sur le plan vertical orienté N90°E (figure VII.13 ; coupe A2-A'2 dont l'emplacement est indiqué sur la figure VI.10), on voit apparaître à l'est du point d'abscisse 11,5 km un essaim de séismes d'allure verticale, auquel appartiennent les n° 273, 274, 317, 363 et 377. Le n° 377 qui a une importante composante de chevauchement ne correspond cependant pas à une telle orientation de la sismicité.

Toutefois, le séisme n° 434 n'appartient à aucun des deux groupes de séismes qui pourraient rendre compte des mécanismes n° 205, 214 et 273, 274, 317, 363.

Il est cependant clair que les éléments d'analyse sont insuffisants pour pouvoir conclure de façon définitive. Toutefois, le résultat essentiel est que les répliques dans cette région se sont manifestées surtout par des mouvements de coulissage sur des failles très inclinées.

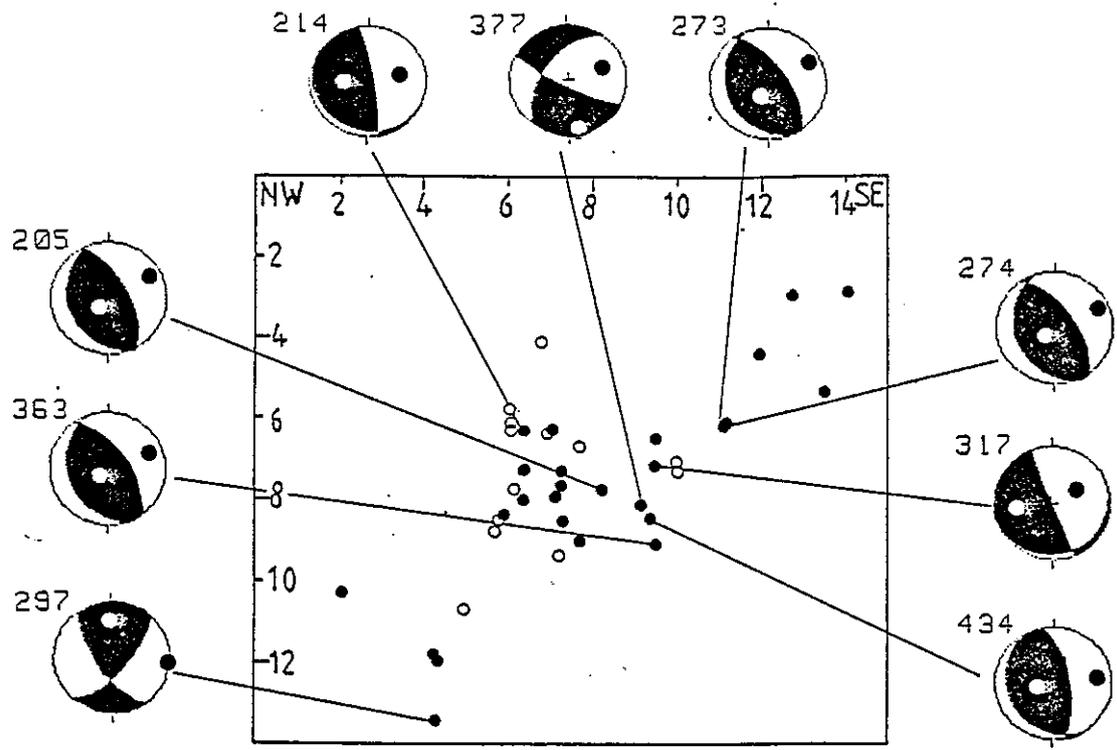


Figure VII.12. Représentation des solutions focales en coupe, ici A1-A'1. Voir figure VII.14 pour légende.

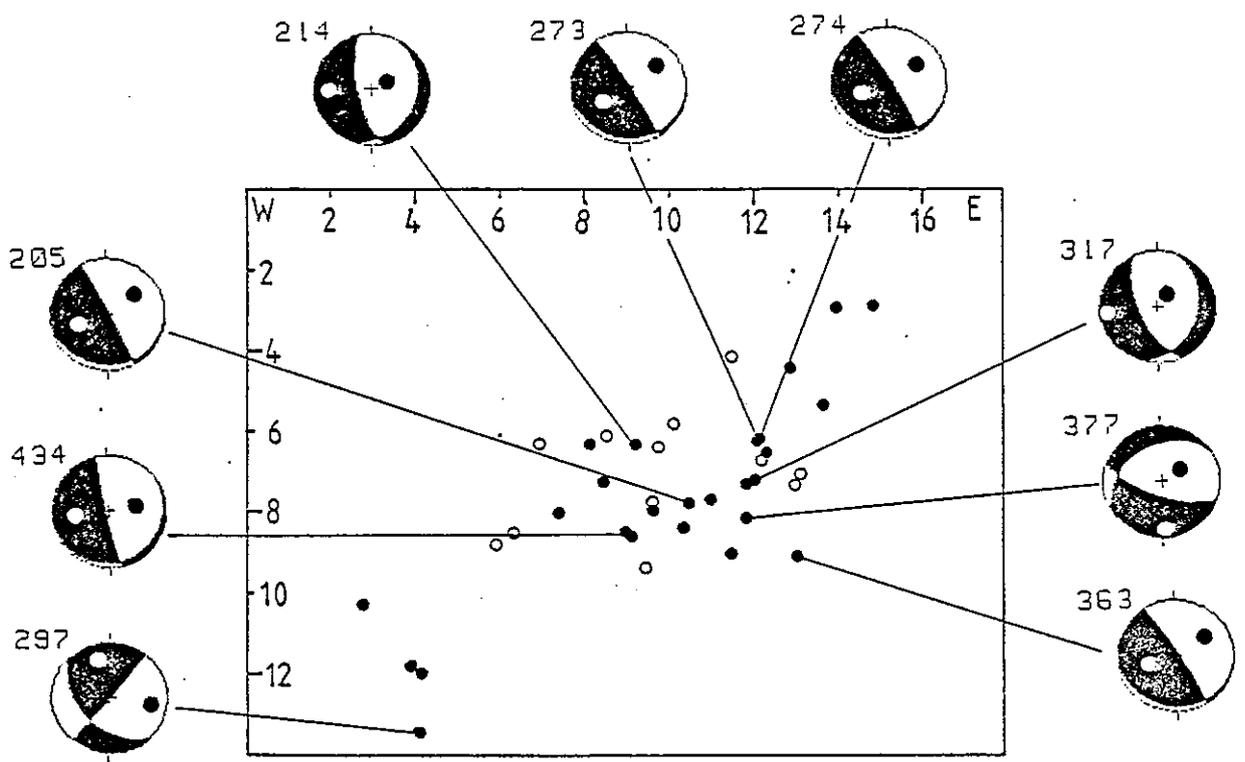


Figure VII.13. Représentation des solutions focales en coupe (A2-A'2). Voir figure VII.14 pour légende.

D'autre part, il est possible de donner une disposition d'accidents qui peut rendre compte de la plupart des mécanismes de cisaillement observés et de la distribution spatiale des foyers des séismes.

Ainsi, les mécanismes n° 205 et 214 seraient liés à un accident quasiment vertical de direction NS à NNE-SSW, qui serait le prolongement de la faille principale, avec un azimuth plus faible. Le mouvement sur cette faille est un coulissage senestre.

Les mécanismes n° 273, 274, 317 et 363 peuvent correspondre à un accident vertical, à l'est du premier. Sa direction est NS et le mouvement est également un coulissage senestre.

Les solutions focales n° 297 et 377 qui sont des mécanismes de faille inverse avec une faible composante de coulissage, ne s'intègrent pas dans ce schéma.

- Partie où la faille est visible en surface.

Dans cette région, nous avons pu calculer 15 solutions focales qui peuvent se diviser en deux groupes :

- . Le premier groupe comprend les solutions n° 343, 344, 450 et 467 qui sont proches et pour lesquelles la composante de coulissage est importante. Ces quatre événements sont spatialement voisins.
- . Le deuxième groupe est composé par les 11 autres mécanismes qui sont en faille inverse et qui sont probablement liés à la faille principale. Ces solutions focales montrent une légère composante de coulissage senestre, sauf pour le n° 415 pour lequel la composante horizontale du mouvement est dextre.

a) Précision

Les plans nodaux des solutions n° 343, 344, 450 et 467 (premier groupe) ont un azimuth assez précis (une variation maximale inférieure à 5°), mais un pendage qui peut varier de la valeur donnée dans le tableau VII.A jusqu'à 90°. Dans tous les cas, la composante horizontale du mouvement reste la plus importante.

Les autres mécanismes ont des plans nodaux assez bien contraints. Parmi ces solutions, les n° 108, 378 et 415 sont les plus précises.

b) Relation avec les déformations de surface.

Sur les 11 solutions focales du deuxième groupe, 9 (108, 167, 276, 345, 404, 415, 427, 437, 441) sont relatives au segment de la faille de 4 km de long environ, situé à l'extrême SW et orienté WSW-ENE (figure VI.4). L'azimut du plan nodal de direction NE-SW qui correspond très probablement au plan de faille est compris entre N12°E et N62°E et dépasse rarement N40°E pour l'ensemble de ces 9 séismes. Dans cette région, la trace de la faille en surface qui est de direction EW ne correspond pas à celle déterminée à partir des mécanismes au foyer ; elle n'est probablement qu'un effet de surface provoqué par une faille orientée NE-SW qui aurait joué en profondeur.

Juste au NE de ce segment, la faille s'oriente dans la direction NNE-SSW sur 2 km environ. Les séismes n° 343, 344, 450 et 467 qui se sont produits près de cette partie de la faille ont des mécanismes de cisaillement avec un plan nodal orienté NNE-SSW qui peut être associé au plan de faille. En effet, en plus de l'accord qu'il y a entre les directions de ce plan nodal et de la trace observée en surface dans cette partie de la faille, le déplacement senestre donné par les solutions focales est compatible avec la disposition des parties de la faille situées de part et d'autre de ce segment (voir figure VI.4).

Les séismes n° 176 et 378 qui se sont produits au NE des quatre répliques précédentes ont des mécanismes de faille inverse et sont très probablement liés à la faille principale.

c) Relation avec la répartition spatio-temporelle de la sismicité.

Si nous examinons la répartition spatiale des répliques, nous remarquons un essaim d'épicentres allongé dans la direction NS ; les séismes n° 450 et 467 dont le mécanisme est un cisaillement appartiennent à cet essaim (figure VII.10). Les événements n° 343 et 344 qui ont le même mécanisme que les séismes précédents (450 et 467) font probablement partie du même essaim. Cette disposition des épicentres nous suggère que le plan de faille pour ces quatre solutions focales est le plan nodal orienté NE-SW, nous avons alors un coulissage senestre qui vient d'ailleurs confirmer les observations

de surface dans cette région (voir § b ; relation avec les déformations de surface).

Il est intéressant de noter que cet accident orienté NNE-SSW constitue la limite SW de la lacune de sismicité localisée juste à l'ouest de Oued-Fodda. Toutefois, il faut préciser que deux séismes (n° 176, $M_L = 2,7$; n° 378, $M_L = 3,6$) se sont produits à l'intérieur de cette lacune.

D'autre part, il faut souligner que les solutions focales n° 343, 344, 450 et 467 (cisaillement) et celles déterminées dans la région (au SW) où la faille n'est pas visible en surface (273, 274, 317, 363) sont assez proches.

La figure VII.14 montre la projection des foyers des séismes de cette région sur un plan vertical d'azimut N141°E, ainsi que les solutions focales calculées pour certains de ces événements. Le plan de projection est indiqué sur la figure VI.10 (coupe B-B'). Si on considère les mécanismes au foyer de faille inverse, on voit que les pendages des plans nodaux orientés NE-SW sont les plus importants (80°NW, 66°NW, 66°NW) pour les séismes les plus profonds (n° 108, 415, 441). On n'observe cependant pas de variation continue du pendage avec la profondeur (voir figure VII.14).

Le pendage des plans nodaux associés à la faille principale (pour les 11 solutions focales) varie entre 50°NW et 66°NW, sauf pour les n° 108 (80°NW) et 378 (30°NW), leur azimut est compris entre 12° et 62° (tableau VII.A). Ces valeurs concordent avec celles calculées pour le séisme principal (Azimut, 40° ; pendage, 52°NW).

d) Relation avec la néotectonique.

Dans cette région, nous relevons (Figure VI.5) :

- . une faille de décrochement dextre, orientée NE-SW, située au sud d'El-Asnam.
- . entre la faille précédente et la faille principale, un accident orienté NE.
- . des failles normales orientées NE-SW au niveau de la lacune de sismicité.

Les solutions focales obtenues pour cette région et la répartition spatiale de la sismicité montrent que ces accidents ne se sont pas manifestés lors de la crise sismique étudiée dans ce mémoire.

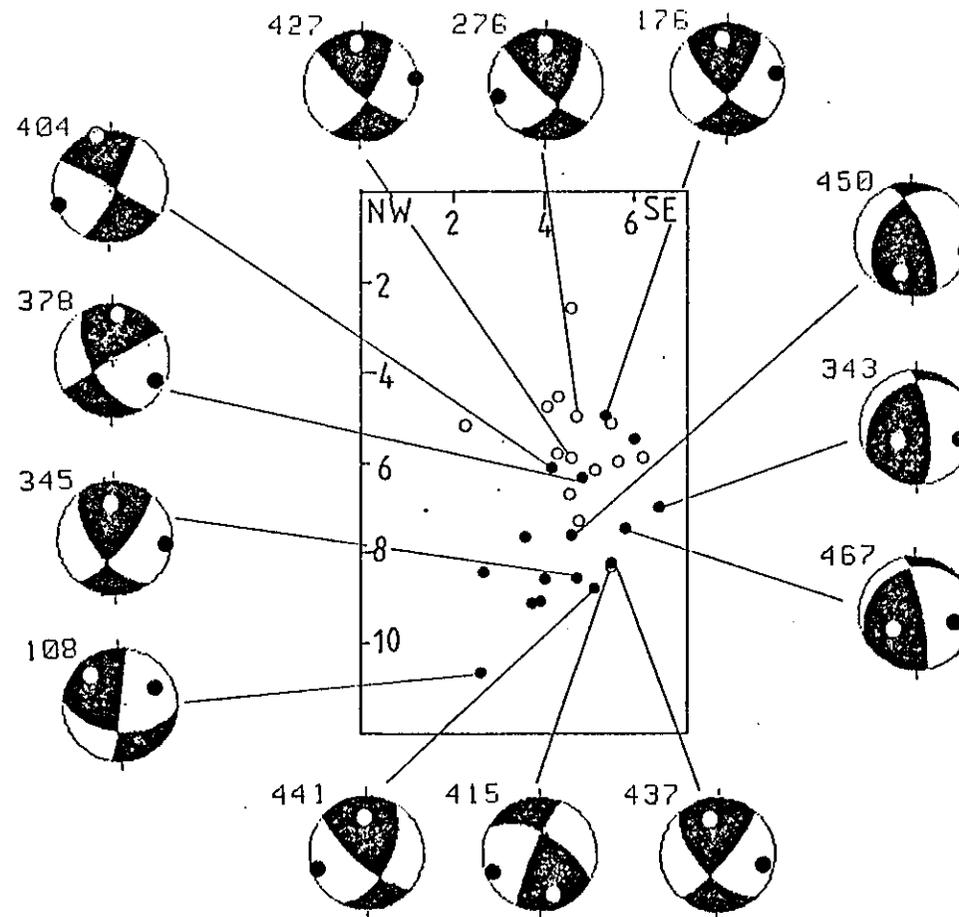


Figure VII.14. Représentation des solutions focales en coupe, ici B-B' (voir figure VI.10 pour l'emplacement). La projection de Schmidt de "l'hémisphère avant" est utilisée. Les distances sont indiquées en km. Les cercles pleins représentent les foyers les mieux localisés. Le numéro de chaque séisme est indiqué près de la sphère focale. Les quadrants en compression sont en noir et ceux en dilatation en blanc ; les cercles pleins et creux sur la sphère correspondent respectivement aux axes P et T.

Nous pouvons tirer deux résultats principaux : l'accord des solutions focales obtenues avec les déformations de surface observées et l'existence probable d'un accident orienté NNE-SSW, situé à la limite SW de la lacune de sismicité.

VII.3.2. La moitié NE de la faille

Cette région se trouve à l'intérieur du quadrilatère $36,2^{\circ}\text{N}$ - $36,4^{\circ}\text{N}$ et $1,4^{\circ}\text{E}$ - $1,6^{\circ}\text{E}$. En plus de la moitié NE de la faille, cette région englobe le système de failles normales de Béni-Rached. Les répliques et les solutions focales correspondantes sont représentées sur la figure VII.15.

Sur les 27 solutions focales obtenues, nous pouvons isoler principalement deux groupes :

- . Le premier groupe concerne les mécanismes qui ont un plan nodal orienté NE-SW et plongeant vers le NW, pour lesquels la composante de coulissage est soit légèrement dextre (169, 179, 400, 453, 492), soit légèrement senestre (171, 244, 264, 429, 476), soit enfin importante (senestre) (29, 126, 457).
- . Le second comprend les séismes n° 43, 122, 290, 351 et 480 qui appartiennent à l'essaim situé à l'ouest.

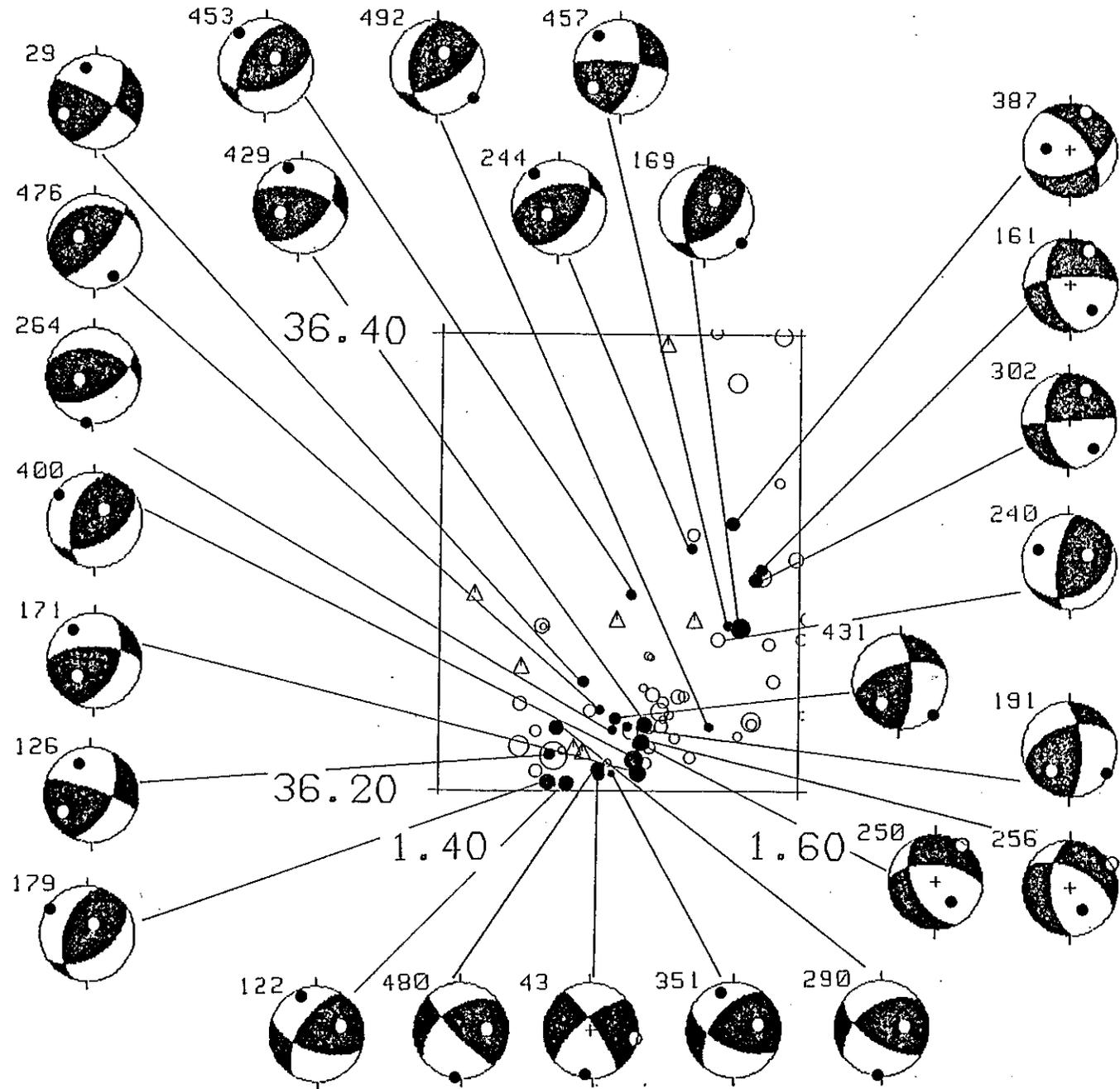
Les répliques du premier groupe sont probablement liées à la faille principale inverse avec une composante de coulissage dextre ou senestre, alors que la composante horizontale du mouvement des solutions focales calculées pour la partie SW est essentiellement senestre (voir § VII.3.1).

Les solutions focales du deuxième groupe sont vraisemblablement relatives à un accident secondaire qu'il est difficile de définir. Cependant, elles sont proches des solutions n° 343, 344, 450 et 467 calculées pour la moitié SW de la faille, avec l'azimut du plan nodal NE-SW plus important et une composante horizontale du mouvement plus faible.

En dehors de ces deux groupes, nous avons deux mécanismes de faille inverse avec un plan nodal NS (191, 431), un mécanisme de faille normale (387) au nord de Béni-Rached, trois mécanismes de cisaillement (161, 302, 457) et enfin, deux solutions foca-

Figure VII.15.

Représentation des solutions focales pour la moitié NE de la faille. Voir figure VII.21 pour la légende.



les particulières (250, 256, en faille normale) dans un essaim où il a été enregistré essentiellement des mouvements de raccourcissement.

a) Précision.

Le plan nodal de direction NNE-SSW du mécanisme n° 240 n'est pas assez bien déterminé ; son azimuth peut varier de 30° et son pendage de 20° environ pour atteindre 90° . La composante de coulissage sur le deuxième plan nodal est donc plus ou moins importante.

La solution focale n° 387 a un plan nodal ENE-WSW bien contraint, le pendage du deuxième plan peut varier de 65° SW à 85° SW.

Les pendages des plans nodaux du mécanisme n° 161 peuvent varier de 10° environ.

Toutes les autres solutions focales obtenues sont assez précises (variation de 5° pour l'azimuth et le pendage des plans nodaux).

b) Relation avec les déformations de surface.

Plus de la moitié des solutions focales calculées pour cette région ont un plan nodal orienté NE-SW avec un pendage vers le NW et sont donc susceptibles d'être rattachées à la faille principale inverse qui a joué au cours du tremblement de terre principal.

Parmi ces mécanismes, cinq ont une composante dextre et ne concordent pas avec les observations de terrain où on relève un mouvement senestre.

Les pendages et les azimuths du plan nodal orienté NE-SW varient respectivement de 50° NW à 60° NW et de 52° à 72° pour les mécanismes à composante dextre, de 45° NW à 70° NW et de 24° à 60° pour les mécanismes à composante senestre et enfin de 55° NW à 60° NW et de 14° à 34° pour les solutions à importante composante de coulissage senestre. Ces valeurs sont en accord avec celles données par les observations de terrain (un azimuth de 40°) et par le mécanisme au foyer du séisme principal (un azimuth de 40° et un pendage égal à 52° NW).

D'autre part, aucune solution focale n'est compatible avec l'important mouvement senestre qu'on observe sur le segment de la faille situé à l'ouest de Oued-Fodda (voir § III.2). Les solutions focales calculées pour les séismes enregistrés à Béné-Rached qui sont des mécanismes de faille inverse, ne correspondent pas non plus au système de failles normales de la région.

c) Relation avec la répartition spatio-temporelle de la sismicité.

Il est intéressant de remarquer que les séismes du groupe 2 font partie d'un essaim bien défini dans lequel on trouve aussi des séismes du groupe 1 (126, 179). Cet essaim est à la limite NE de la lacune de sismicité. Ainsi, cette lacune se situe entre deux essaims de séismes à mécanismes au foyer très proches. Il est cependant difficile de savoir si les séismes du groupe 2 (43, 122, 290, 351, 480) sont dans le prolongement des séismes de la moitié SW (343, 344, 450, 467 et 273, 274, 317, 363) (voir figure VII.10) pour lesquels on a un mécanisme de rupture similaire. Si tel est le cas, l'ensemble de ces séismes feraient alors partie d'un accident à fort pendage vers le SE et orienté NS, NNE-SSW puis NE-SW lorsqu'on se déplace du sud vers le nord. Ces directions sont indiquées par les solutions focales. Ainsi, pour les mécanismes du groupe 2, le plan de faille correspondrait au plan nodal orienté NE-SW.

Un autre point qu'il est important de signaler est qu'il n'y a pas ou peu de concordance entre les solutions focales obtenues et l'alignement d'épicentres dans la direction NS, sur environ 8 km, qui se situe juste à l'est du méridien $1,50^{\circ}\text{E}$ (figure VII.15). En effet, seuls les mécanismes n° 191 et 431 peuvent correspondre à un accident orienté NS, le plongement de la faille se ferait alors vers l'ouest. Il est bien entendu clair que l'existence de tels accidents n'est pas exclue comme le souligne la carte néotectonique (figure VI.5).

Mis à part les mécanismes des groupes 1 et 2 pour lesquels il est possible de donner une interprétation, les autres solutions focales ne sont apparemment pas liées à des ensembles de séismes particuliers de par leur position spatiale ou temporelle. Sur la figure VII.16 où sont représentées les projections des foyers sur un plan vertical orienté $\text{N}138^{\circ}\text{E}$, nous n'observons aucun arrangement spatial des séismes par type de mécanisme au foyer.

Le cas des solutions focales n° 250 et 256 (mécanismes de faille normale dans une région où il a été enregistré des mouvements de compression) est assez parti-

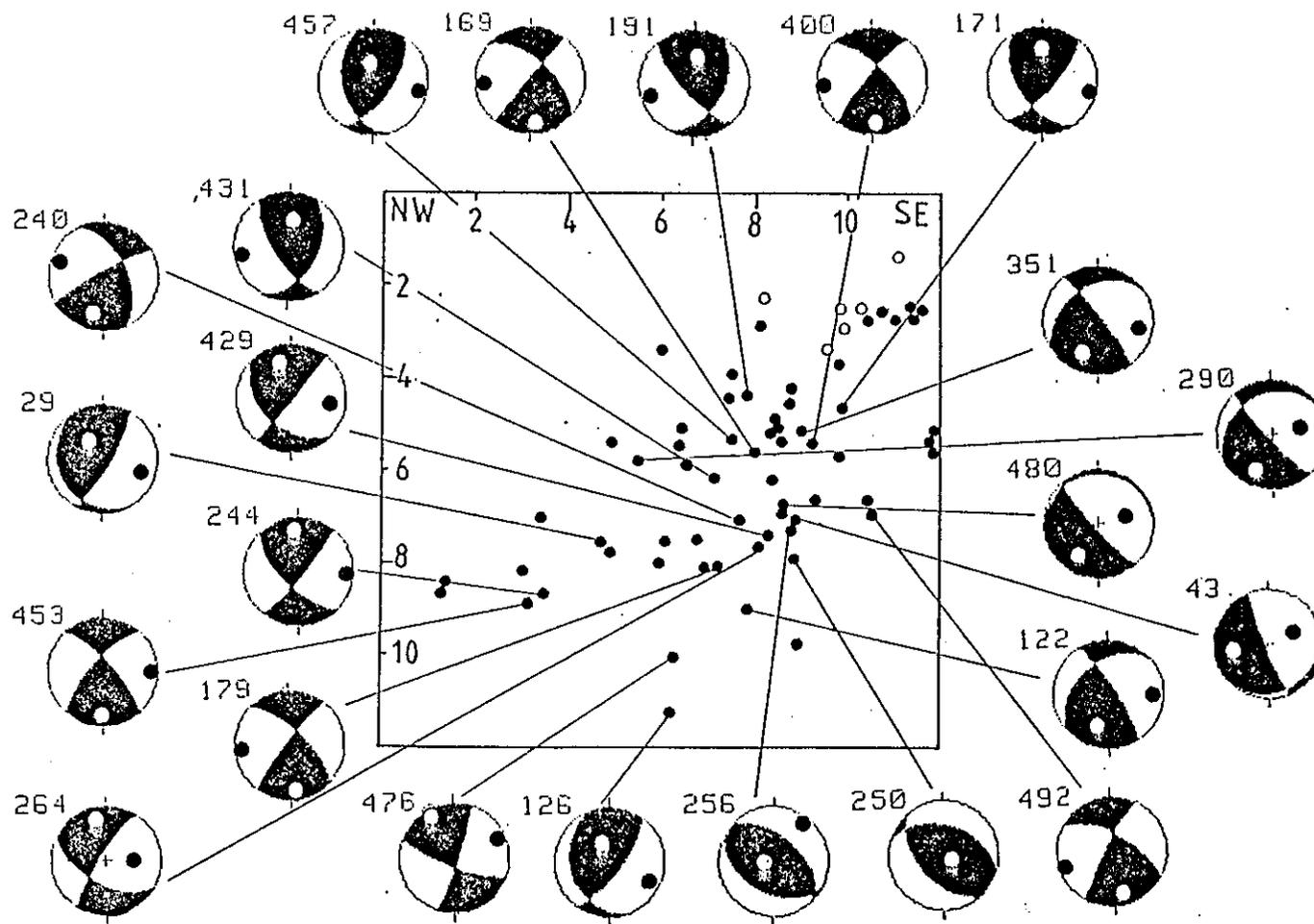


Figure VII.16. Représentation des solutions focales en coupe (C-C').
 Voir figure VII.14 pour légende.

culier de par la nature des forces mises en jeu (extension). Toutefois, ce phénomène semble lié à un réajustement des contraintes sur un accident secondaire que l'on peut associer à l'un ou à l'autre des plans nodaux. En effet, le séisme n° 250 s'est produit 2 heures environ après le tremblement de terre du 30 octobre à 23 h 38 mn (n° 248) de magnitude 5,0. Le séisme n° 248 qui est le plus important enregistré dans cette région au cours de la période étudiée ici se situe à environ 22 km au NE des épicentres n° 250 et 256. Cet exemple montre bien que l'existence simultanée des phases compressive et distensive est possible.

d) Relations avec la néotectonique.

Sur la carte néotectonique (figure VI.5), nous relevons des failles orientées NS juste au nord de l'accident majeur (Sarat el Maarouf). Bien que la sismicité semble s'aligner dans cette direction, seules deux solutions focales (191, 431) peuvent être associées à ces failles.

Ni la faille NE-SW à mouvement senestre de la région de Béni-Rached, ni la grande faille hypothétique longeant l'oued Chelif ne peuvent être rattachées à des solutions focales calculées pour cette région.

VII.3.3. Région située aux alentours de l'extrémité NE de la faille.

Partie au nord du parallèle 36,3°N

Cette région se situe dans le quadrilatère 36,3°N - 36,4°N et 1,6°E - 1,7°E. Nous n'avons pas calculé de solutions focales pour les séismes qui se sont produits à l'est et au nord de ce quadrilatère.

Nous obtenons pour cette région 18 mécanismes au foyer que l'on peut diviser en deux groupes principaux.

Le premier est constitué par les mécanismes (217, 221, 259, 291, 357, 374, 428) de séismes appartenant à un essaim bien délimité dans l'espace (voir figure VII.17). Il s'agit de mécanismes de cisaillement avec des plans nodaux orientés NNW-SSE et NE-SW. Les solutions n° 291 et 357 diffèrent des autres par la direction de l'axe de pression maximale qui est NE-SW alors qu'elle est généralement NNW-SSE à NW-SE.

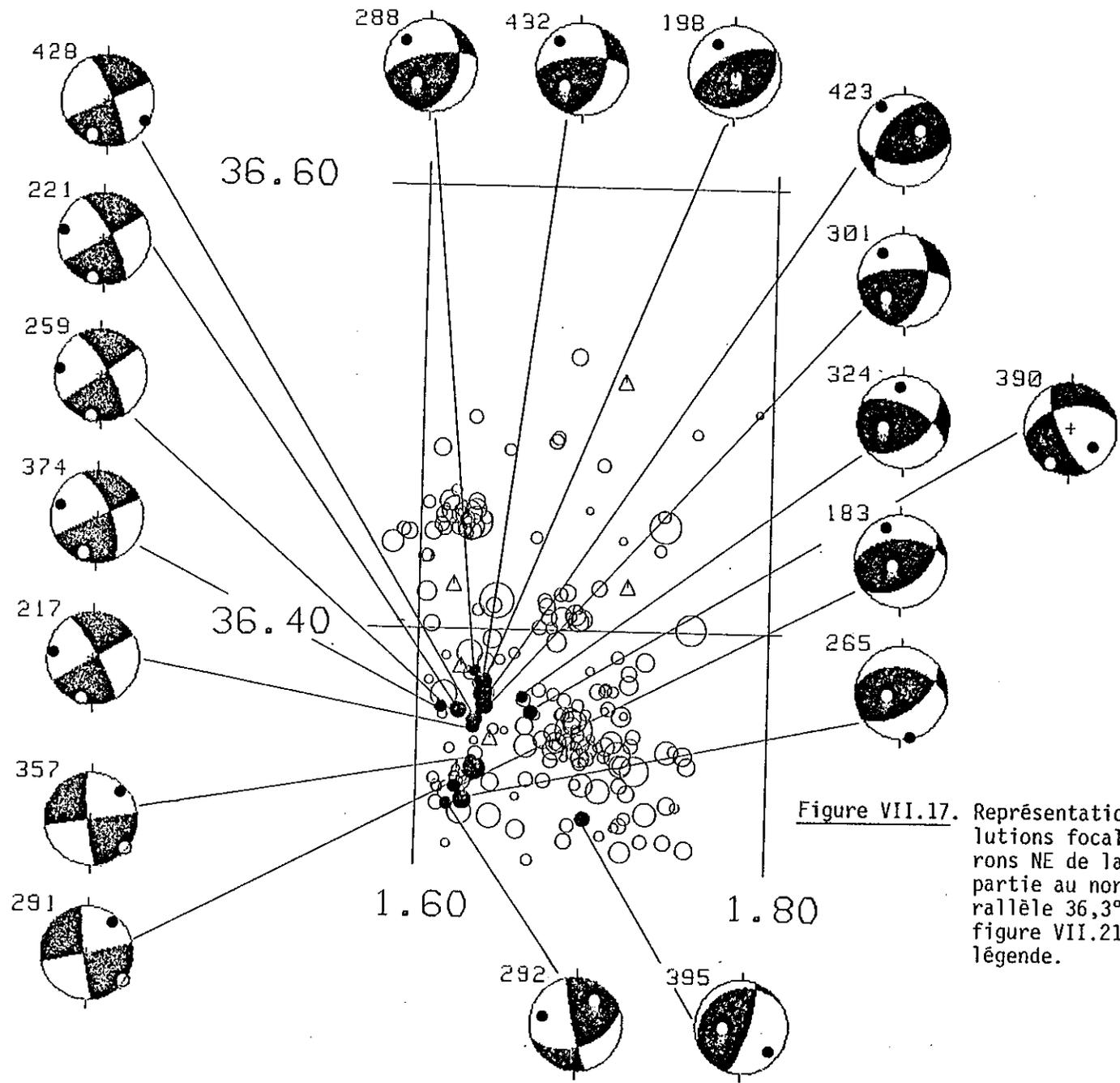


Figure VII.17. Représentation des solutions focales; environs NE de la faille, partie au nord du parallèle 36,3°N. Voir figure VII.21 pour la légende.

Le deuxième groupe comprend des solutions focales de faille inverse avec la même direction et pendage des plans nodaux (183, 265, 288, 301, 324, 432).

Parmi les cinq autres solutions focales, nous comptons quatre de type "faille inverse" avec des plans nodaux orientés différemment (198, 292, 395, 423) et un mécanisme de faille normale (390).

a) Précision.

Les mécanismes n° 183, 198, 265, 288, 291, 301, 324, 357, 390, 395 et 423 sont déterminés avec précision (variation de 5° environ pour les pendages et les azimuts).

Les solutions focales n° 217, 221, 259, 374 et 428 ont le plan nodal orienté NNW-SSE bien contraint alors que le deuxième plan a un azimut constant mais un pendage qui peut varier de 20°. Cependant, la composante de cisaillement reste de loin la plus importante.

L'azimut et le pendage du plan nodal EW du mécanisme n° 432 peuvent varier de 20° au maximum. Le pendage du plan nodal NNW-SSE de la solution focale n° 292 peut s'inverser.

b) Relation avec la variation spatio-temporelle de la sismicité.

Nous pouvons mettre en évidence un alignement d'épicentres dans la direction NS au nord du parallèle 36,3°N et à l'est du méridien 1,6°E (voir carte de sismicité, figure VI.1). Cet alignement est beaucoup plus net lorsqu'on ne représente que les localisations sélectionnées (voir figure VI.2). Ainsi, les solutions focales du premier groupe peuvent être associées à cette direction d'alignement des séismes, et le plan nodal orienté NNW-SSE correspondrait alors au plan de faille. Cet accident quasiment vertical a joué au cours de la crise sismique en coulissage senestre.

Le mouvement pour les mécanismes n° 291 et 357 qui est différent (coulissage dextre si le plan NNW-SSE est pris comme plan de faille) est peut-être provoqué par un effet local de réajustement des contraintes après le tremblement de terre du 30 octobre à 23 h 38 mn ($M_L = 5,0$) (soit un écart de 53 heures entre les n° 248 et 291) qui s'est produit à 5 km environ à l'est des épicentres n° 291 et 357.

Pour mettre en évidence le plan de faille relatif aux mécanismes au foyer du deuxième groupe (faille inverse), nous avons effectué la projection des foyers de cette région sur un plan vertical de direction N143°E (figure VII.18). Nous obtenons alors deux essaïms de séismes séparés par un espace asismique, le premier se situe au NE, le second dans la partie centrale (entre les abscisses 6 et 12 km). Le deuxième ensemble de séismes montre un plan de faille qui plonge vers le NW et qui apparaît de façon évidente lorsqu'on représente seulement (en coupe) les foyers des répliques qui se sont produites après l'important séisme du 30 octobre (n° 248, $M_L = 5,0$). La coupe en question (figure VI.24.c) est relative à 40 répliques (du n° 246 au n° 322) enregistrées du 30 octobre à 20 h 46 mn jusqu'au 3 novembre à 18 h 27 mn, soit une durée de 94 heures environ. Ces séismes sont très probablement les répliques du n° 248 ($M_L = 5,0$) dont le mécanisme au foyer est en faille inverse avec une composante de coulissage plus ou moins importante (selon qu'on tienne compte des ondes réfractées ou pas, voir figure VII.4.b) et un plan nodal orienté NE-SW (azimut, 15° ; pendage, 74°NW). Ce séisme étant très superficiel ($h = 1$ km), les paramètres de son mécanisme au foyer ne sont pas très précis.

Sur la figure VII.18 où sont représentées les projections des foyers sur le plan vertical orienté N 43°E, nous vérifions bien que les séismes du deuxième groupe (mécanismes de compression) se situent dans l'essaïm des répliques qui plonge vers le NW. Cependant, certains séismes du premier groupe (mécanismes de cisaillement) se trouvent dans le même essaïm que ceux du groupe 2, mais sont plus dispersés et sont répartis sur une faible tranche de profondeur (1 km environ). Les séismes qui se sont produits sur la faille de coulissage (groupe 1) sont d'ailleurs bien moins dispersés lorsqu'ils sont projetés sur un plan vertical orienté dans la direction EW (figure VII.19).

D'autre part, si on représente dans le plan horizontal et pour toute la région étudiée, les 90 répliques qui ont suivi le séisme n° 248 ($M_L = 5,0$) (Figure VII.20), on remarque que celles-ci s'alignent dans la direction de la faille principale indiquant que cet événement (n° 248) s'est bien produit sur le prolongement de l'accident majeur. Ceci est d'ailleurs confirmé par les solutions focales du groupe 2, ainsi que par la répartition des foyers en profondeur (après le séisme n° 248) qui sont discutés précédemment.

Ces observations montrent clairement que les mécanismes au foyer du groupe 2 auxquels on peut ajouter les solutions focales n° 198 et 292, sont bien liés à la faille principale inverse. Le plan nodal orienté NE-SW et plongeant vers le NW est alors le plan de faille, et la composante horizontale du mouvement est senestre. Dans ce cas,

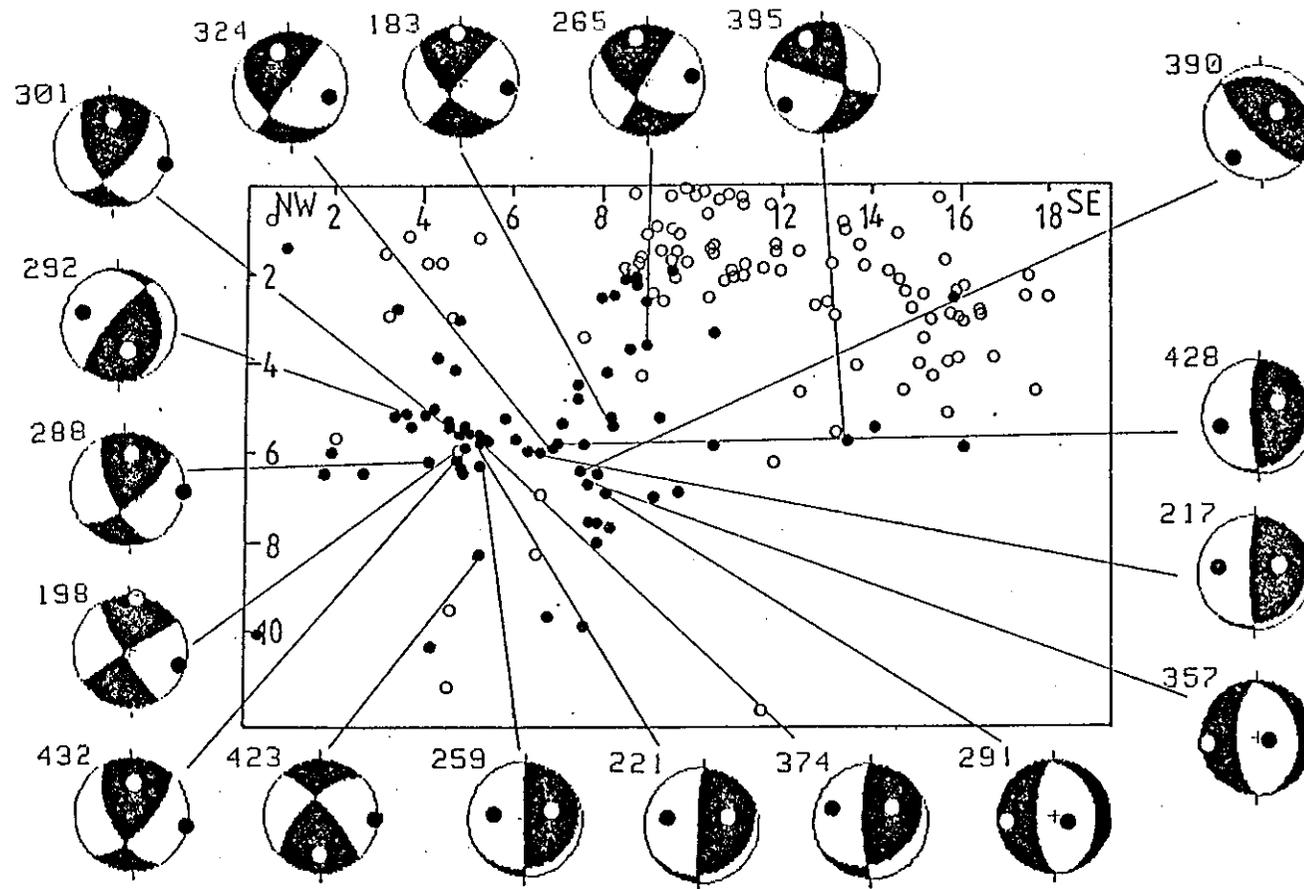


Figure VII.18. Représentation des solutions focales en coupe (C-C'). Voir figure VII.14. pour légende.

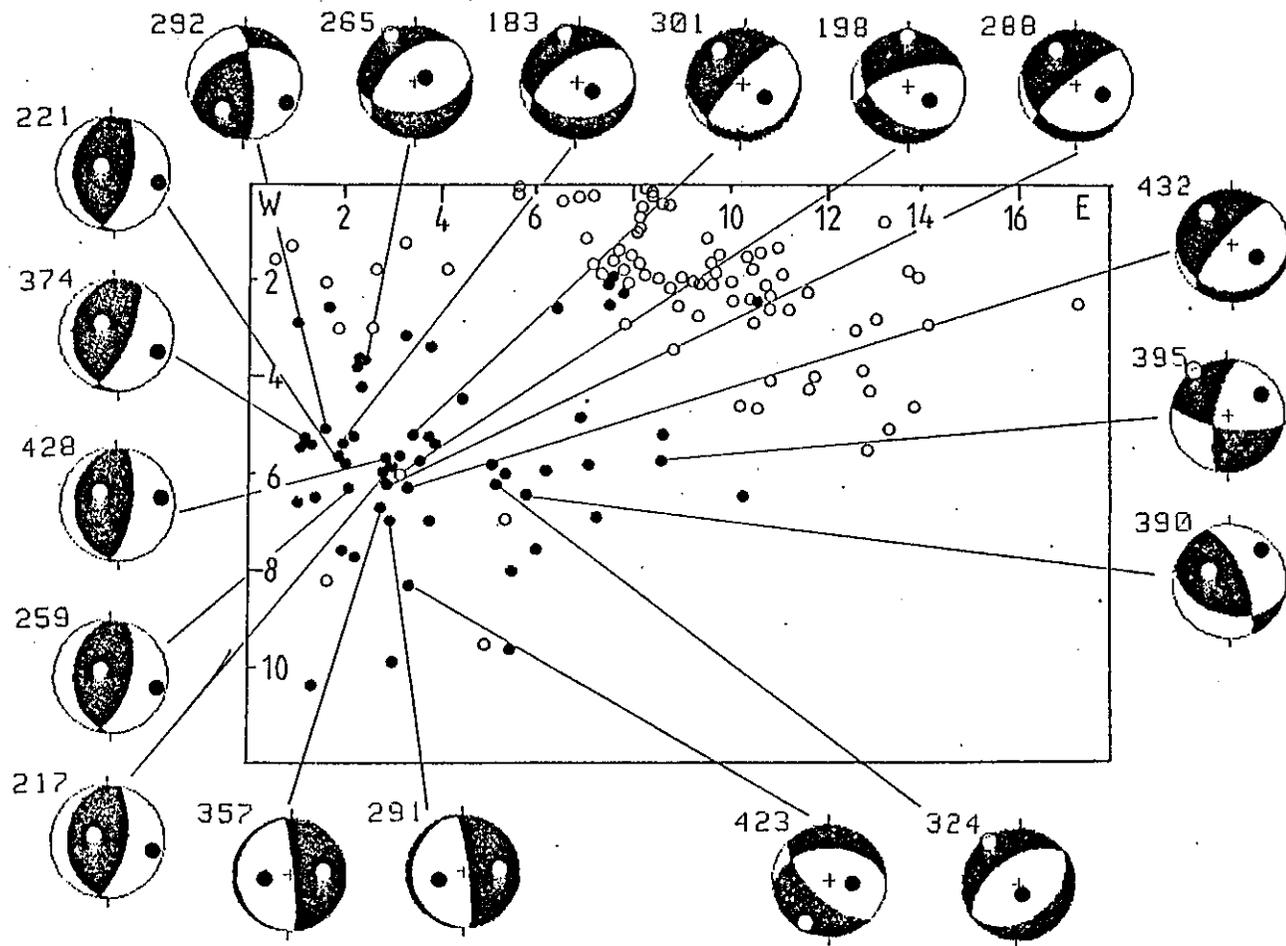


Figure VII.19. Représentation des solutions focales en coupe (D2-D'2). Voir figure VII.14 pour légende.

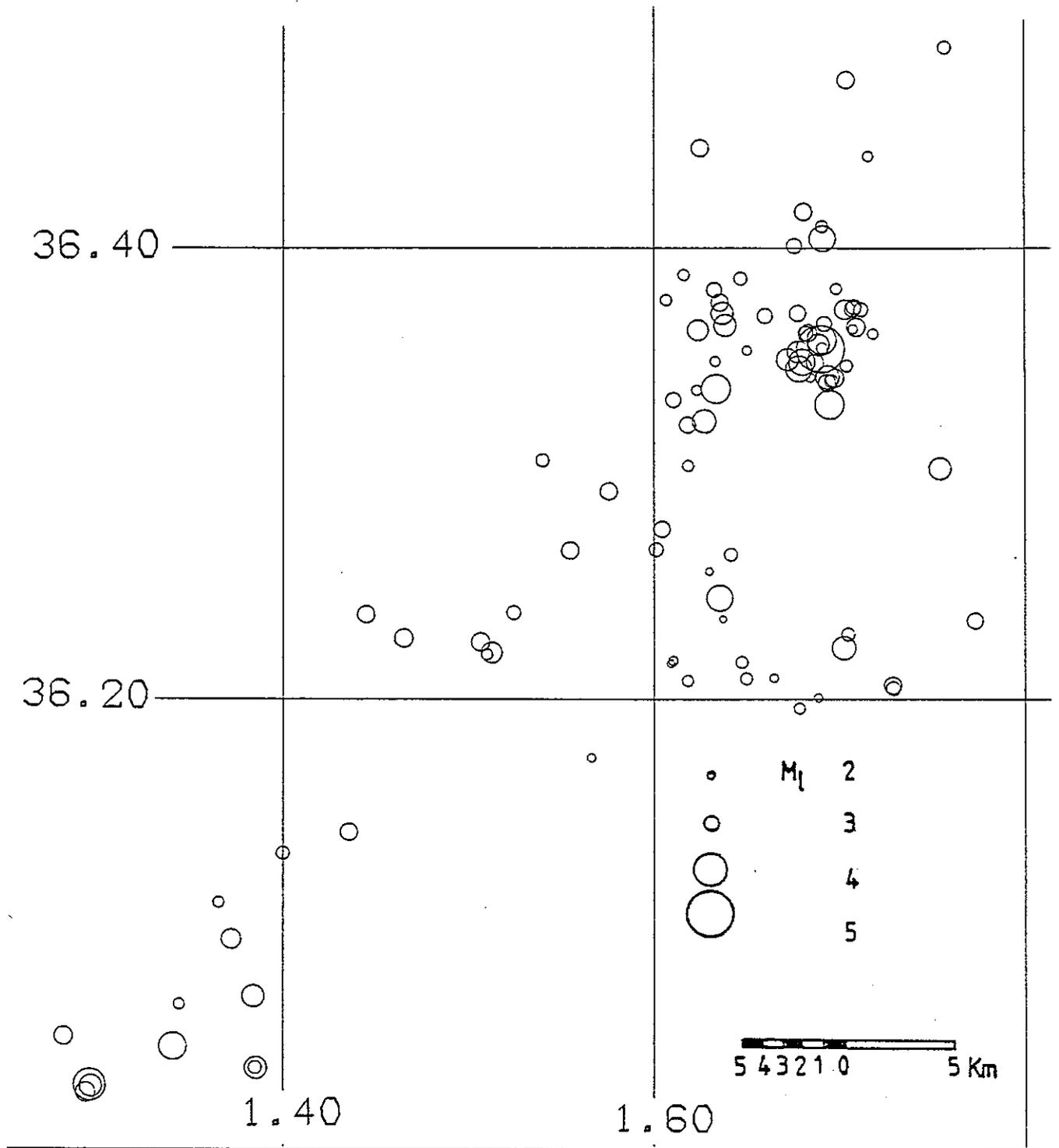


Figure VII.20. Répartition de la sismicité après le séisme du 30.10.1980 à 23 h 38 mn (n° 248, $M_l = 5,0$). Les coordonnées de l'épicentre sont : $36,355^{\circ}\text{N} - 1,689^{\circ}\text{E}$.

l'azimut de la faille reste NE-SW et la direction ENE-WSW relevée sur le terrain (Figure VI.4) correspond probablement à une branche de la faille principale.

c) Relation avec les déformations de surface.

La cartographie des ruptures visibles sur le terrain établie par H. Philip et M. Meghraoui (voir figure III.3) ne signale pas l'existence de failles dans cette région. Cependant, sur la carte des déformations de surface tracée par G. Yielding et al. (1981) (voir figure III.4) on relève des fractures orientées N50°E à l'endroit même où s'est produit le séisme n° 248 ($M_L = 5,0$), ce qui confirme la possibilité d'un prolongement de la faille principale dans la direction NE-SW dans cette région.

d) Relation avec la néotectonique.

Nous relevons dans cette région des accidents NS dont le plus important qui est un décrochement senestre est situé à environ 3 km à l'est de l'essai des répliques allongé dans la même direction (NS), voir figure VI.5. Ces observations sont compatibles avec les solutions focales du groupe 1 (cisaillement).

L'examen des solutions focales en corrélation avec la répartition spatio-temporelle de la sismicité, les déformations de surface et la néotectonique, montre l'existence d'une faille de cisaillement senestre, quasiment verticale et orientée NNW-SSE.

D'autre part, le prolongement de la faille principale inverse dans cette région est évident. Son azimut et son pendage déterminé à partir des mécanismes au foyer sont compris respectivement entre N16°E et N54°E, 40°NW et 58°NW. La composante horizontale du mouvement est senestre.

VII.3.4. Région située aux alentours de l'extrémité NE de la faille
Partie au sud du parallèle 36,3°N

Cette partie se situe au sud du segment NE de la faille visible en surface (orienté ENE-WSW). Dans cette région, nous ne relevons pas de ruptures de surface.

Les solutions focales obtenues pour cette région sont assez uniformes. Elles présentent généralement un plan NE-SW à pendage vers le NW et un plan ESE-WNW plongeant vers le SW. Il s'agit des mécanismes n° 110, 194, 212, 225, 226, 263, 313, 338, 465 et 479. Seules les solutions n° 186, 366 et 482 sont légèrement différentes (voir Figure VII,21). Tous ces mécanismes au foyer sont de type "faille inverse" et ont une composante de coulissage plus ou moins importante.

a) Précision.

Les mécanismes n° 110 et 194 ne sont pas bien contraints. Les pendages de leurs plans nodaux peuvent augmenter jusqu'à 90° pour donner un mécanisme de pur cisaillement. Cependant, les sens de premier mouvement aux stations qui les ont enregistrés, sont les mêmes que pour les séismes en compression spatialement voisins.

L'azimut et le pendage du mécanisme n° 338 peuvent varier de 15° au maximum.

Les autres solutions focales sont bien déterminées.

b) Relation avec la variation spatio-temporelle de la sismicité.

Sur la carte où sont représentés les épicentres (Figure VI.1), nous voyons une direction d'alignement NNE-SSW à NE-SW. Cette disposition des épicentres apparaît également sur la figure VI.2 où sont reportées uniquement les localisations sélectionnées. Si on considère que cet alignement est représentatif d'une structure tectonique, alors le plan nodal orienté NE-SW et plongeant vers le NW correspondrait au plan de faille. Dans ce cas, seul le mécanisme n° 186 est incompatible avec une telle structure. Le mouvement horizontal est légèrement senestre pour une grande partie des solutions focales. Le mécanisme n° 482 est un chevauchement pur et le n° 366 a une légère composante de coulissage dextre. L'azimut et le pendage du plan de faille calculés à partir des solutions focales sont compris respectivement entre N35°E et N62°E, 46°NW et 70°NW.

La répartition en profondeur des foyers (Figure VII.22) est moins nette quant à un arrangement des répliques qui puisse suggérer l'existence d'un plan de faille à pendage NW. Les séismes qui ont pourtant le même mécanisme semblent appartenir à deux essaïms spatialement distincts (voir figure VII.22). Cette observation peut s'expliquer par l'existence, dans cette région, de plusieurs fractures de direction et de pendage semblables, ce qui rend compte de la dispersion des foyers sismiques.

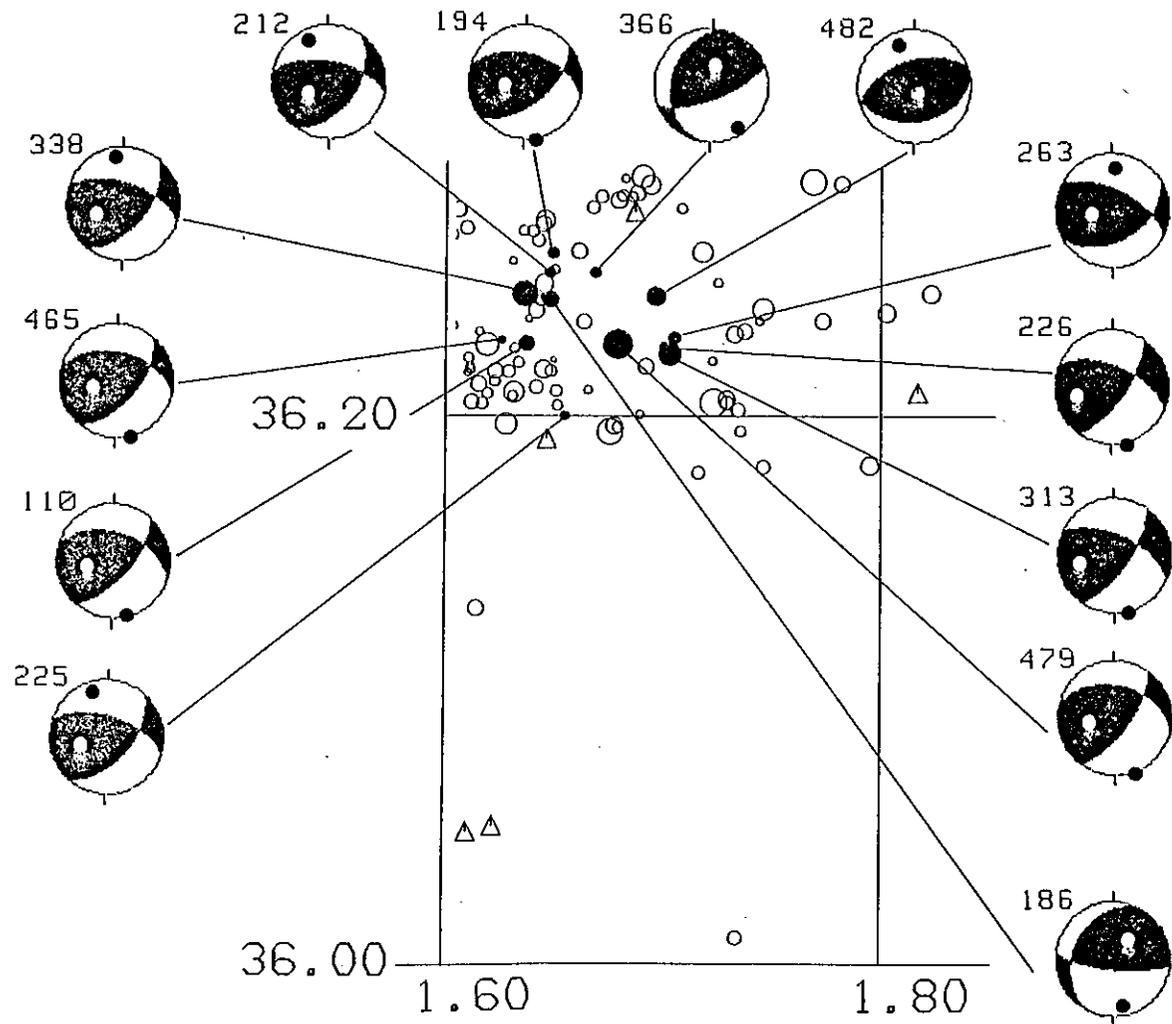


Figure VII.21. Représentation des solutions focales ; environs NE de la faille, partie au sud du parallèle 36,3°N. Projection de Schmidt de l'hémisphère supérieur ; les quadrants en noir sont en compression, ceux en blanc en dilatation ; les cercles pleins et creux représentent respectivement les axes P et T ; les numéros des séismes concernés sont indiqués et leurs épicentres sont en noir.

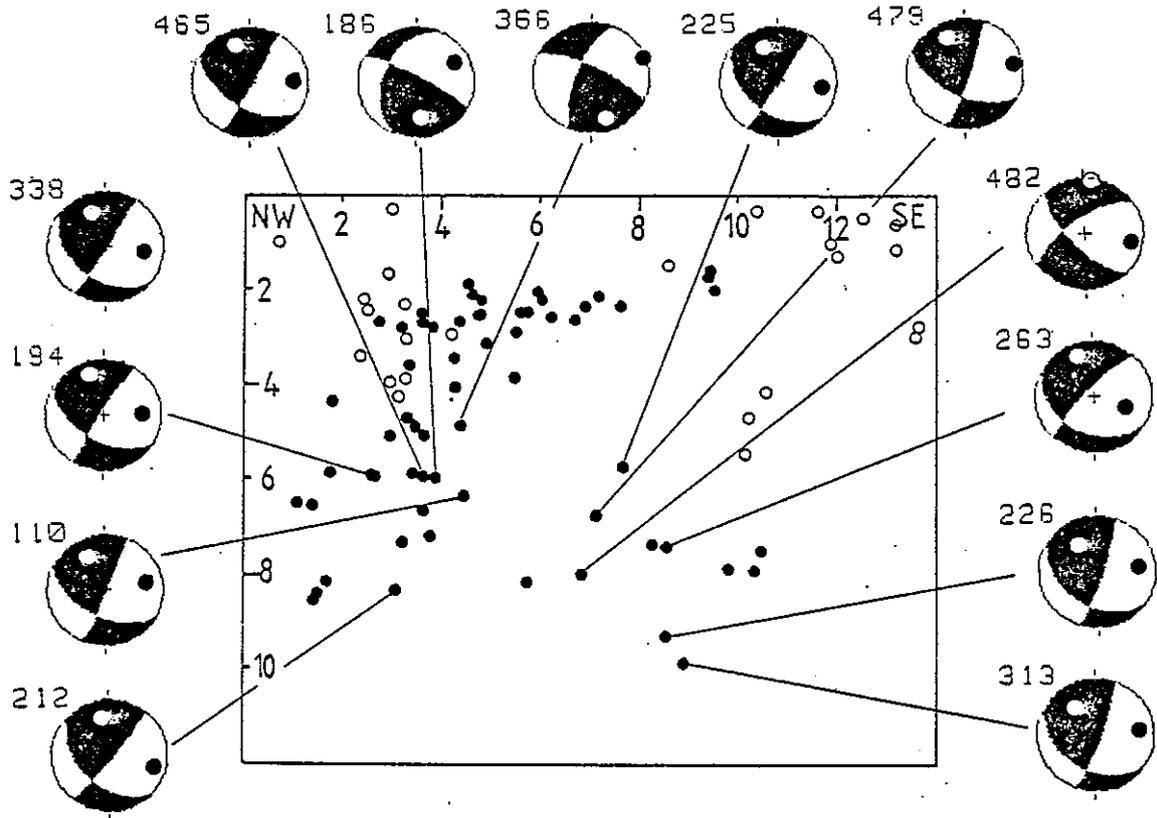


Figure VII.22. Représentation des solutions focales en coupe (E1-E'1). Voir figure VII.14 pour légende.

VII.4. DIRECTION ET NATURE DES CONTRAINTES DEDUITES DES SOLUTIONS FOCALES

Lorsqu'on calcule une solution focale, on admet généralement que les axes P et T sont proches des axes de contraintes maximale et minimale. Nous prenons en considération ce postulat pour décrire la répartition des contraintes dans la région d'EI-Asnam.

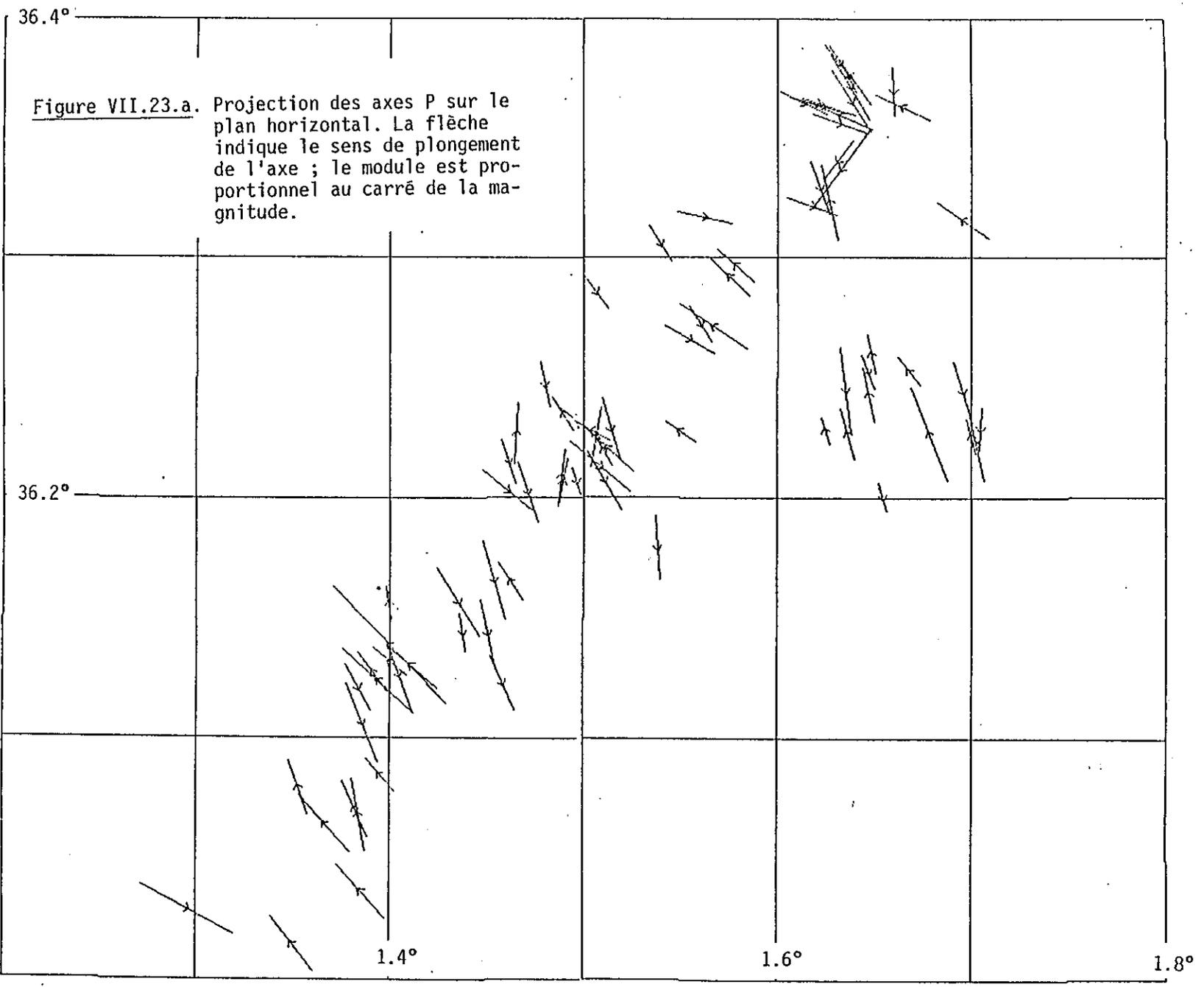
Cependant, si le milieu contient des discontinuités, la rupture n'est plus seulement guidée par la direction des contraintes mais aussi par la géométrie des failles préexistantes. Ainsi, pour un milieu préfaillé, les axes P et T (déterminés à partir des solutions focales) ne sont pas forcément confondus avec les axes de contraintes qui sont à l'origine du tremblement de terre. Dans ce cas, les déplacements (vecteur glissement) donnés par le mécanisme au foyer représentent mieux le phénomène.

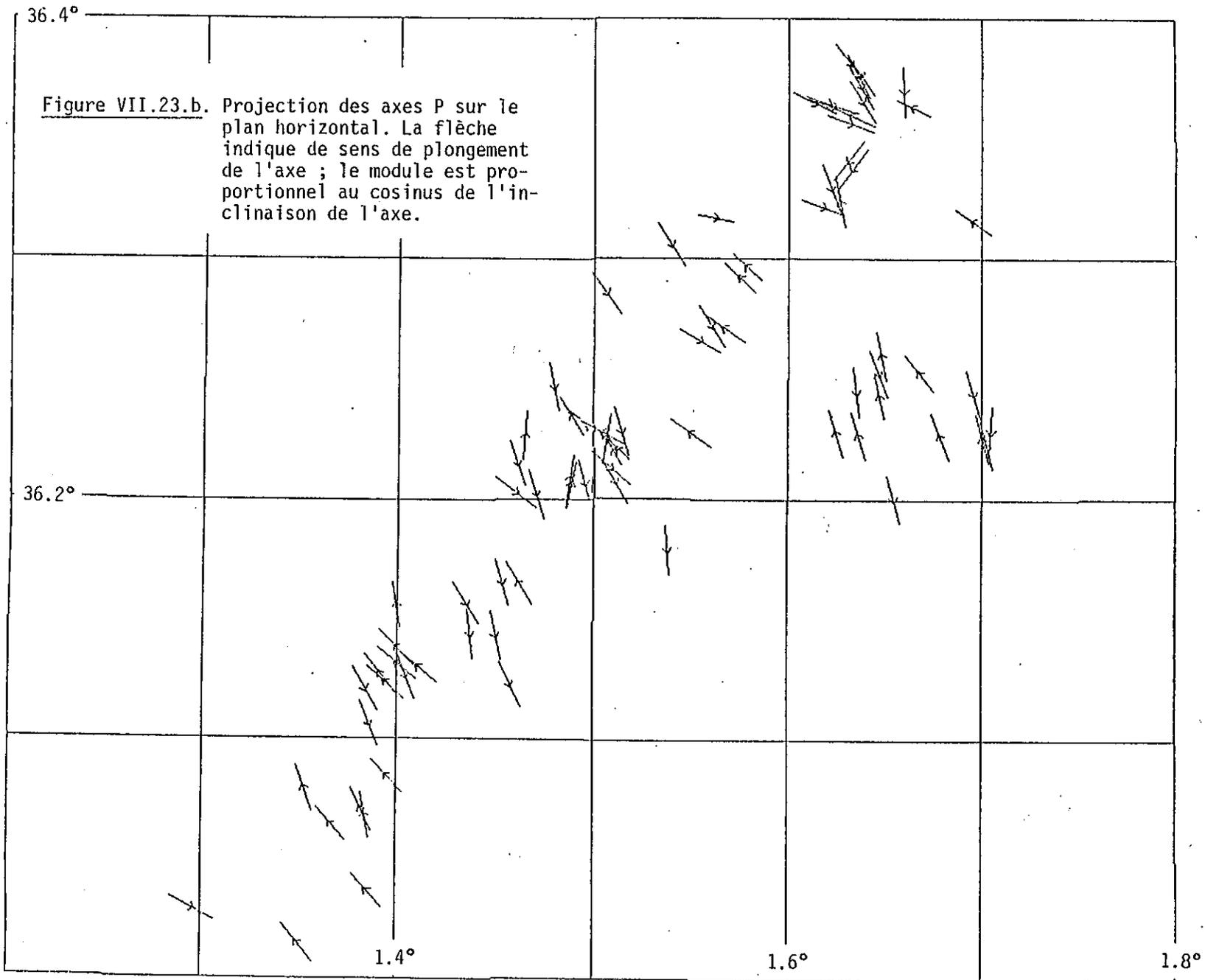
D'autre part, il arrive que les contraintes responsables d'une réplique soient différentes de celles qui sont à l'origine du mouvement des grandes plaques lithosphériques. Ainsi, nous savons que la contrainte qui a provoqué le tremblement de terre d'EI-Asnam du 10 octobre est une compression NW-SE à NNW-SSE (mécanisme au foyer du séisme principal, § II.2), et qu'en plus des mouvements similaires au déplacement des plaques enregistrés lors des répliques, il existe des mouvements d'extension et de compression NE-SW (voir § VII.3). Ces phénomènes qui n'obéissent pas à la contrainte globale peuvent s'expliquer par des réajustements locaux de contraintes.

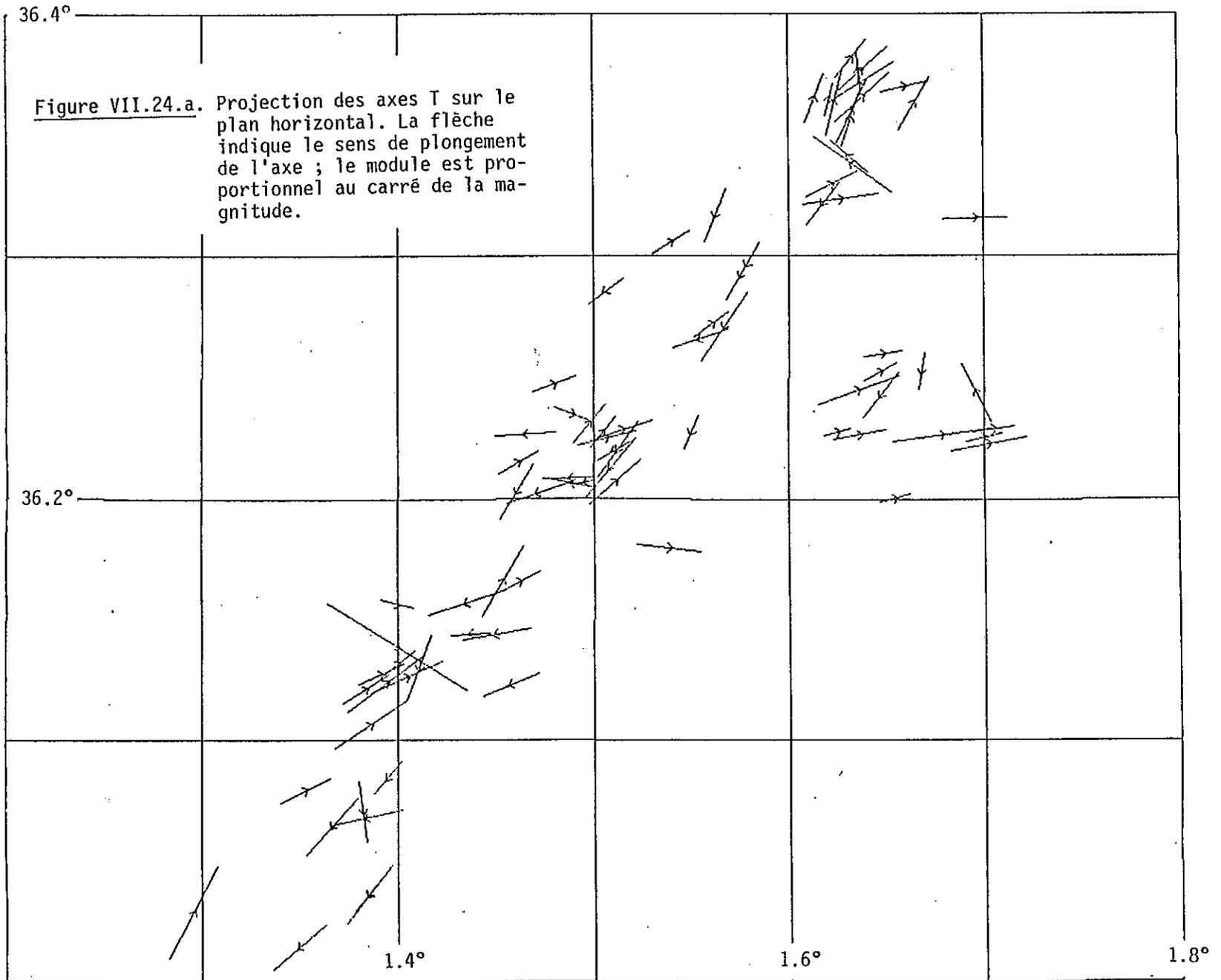
Nous allons examiner dans ce paragraphe, la répartition spatiale des axes de contraintes P et T, des vecteurs glissement sur le plan de faille orienté NE-SW et plongeant vers le NW ainsi que la distribution des pendages et azimuts de ces axes.

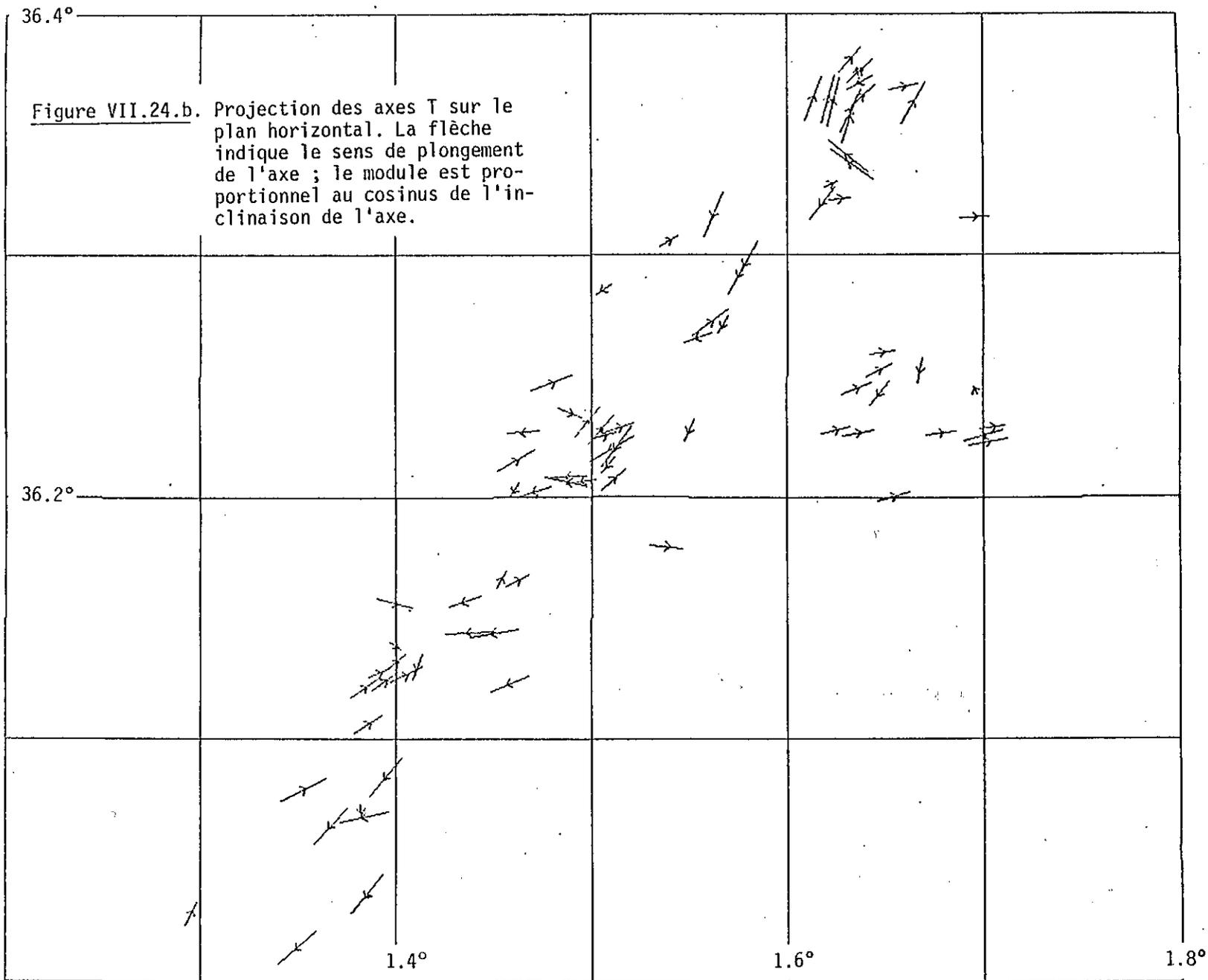
VII.4.1. Répartition spatiale des axes P et T et des vecteurs glissement

Nous représentons la projection des axes P, T et du vecteur glissement sur le plan horizontal. Dans un cas, la longueur du segment est proportionnelle au carré de la magnitude (Figures VII.23.a, VII.24.a, VII.25.a) dans l'autre, au cosinus de l'inclinaison de l'axe (Figures VII.23.b, VII.24.b, VII.25.b).









a) L'axe P.

Mis à part les mécanismes des deux séismes situés au nord du parallèle $36,3^{\circ}\text{N}$ pour lesquels l'axe P est orienté NE-SW, le raccourcissement s'est fait dans la direction NW-SE.

Nous remarquons que la direction de l'axe P est variable (Figures VII.23.a, b) pour les séismes situés au nord du parallèle $36,3^{\circ}\text{N}$ (environs NE de la faille ; partie nord), alors qu'elle est assez constante pour les répliques situées au sud du parallèle $36,3^{\circ}\text{N}$ et à l'est du méridien $1,6^{\circ}\text{E}$ (environs NE de la faille ; partie sud). Ceci peut s'expliquer par l'existence d'une tectonique plus complexe dans la partie septentrionale.

Nous n'observons cependant pas de variation spatiale continue de l'azimut de l'axe P.

b) L'axe T.

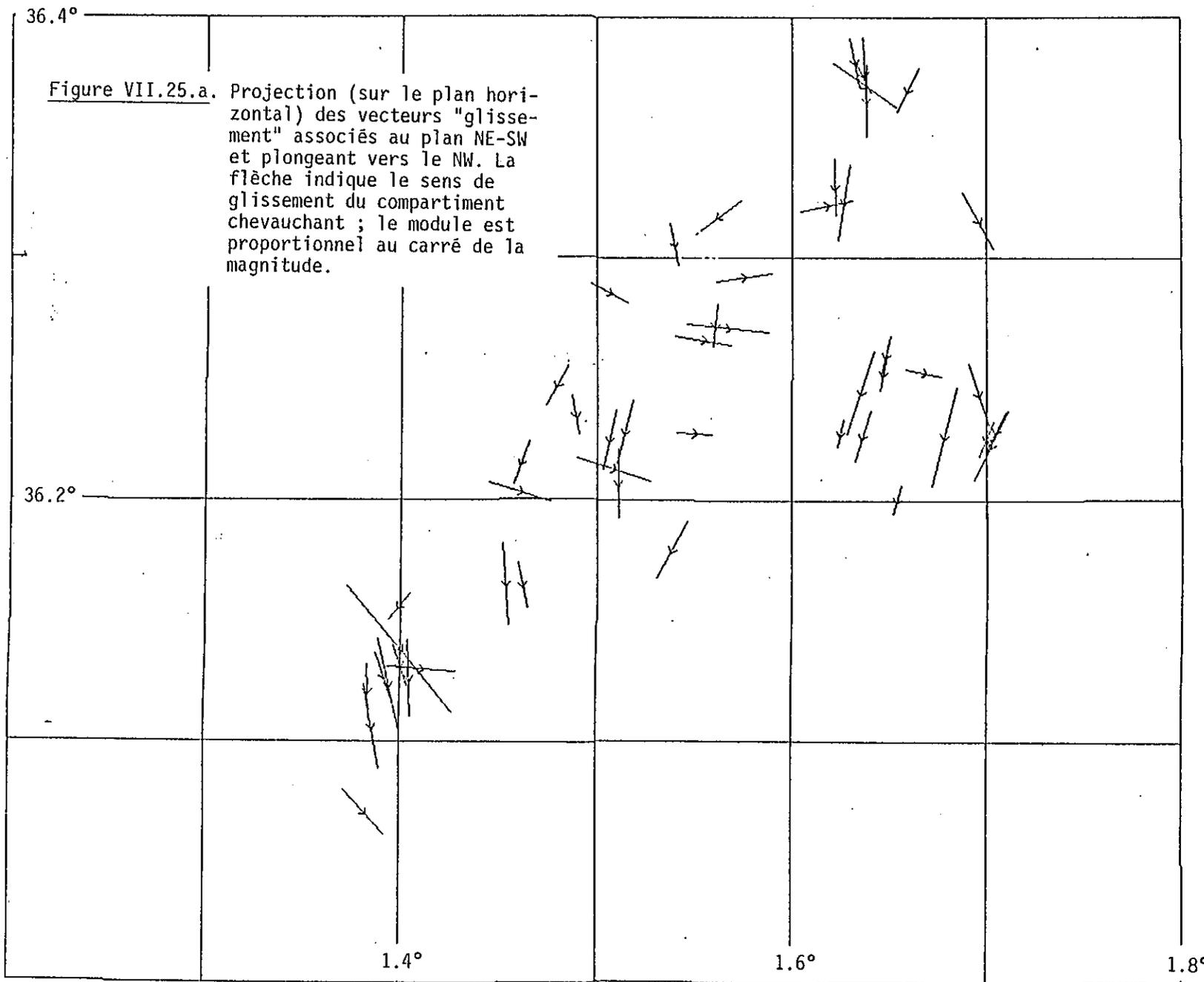
Une grande partie des axes T représentés sur les figures VII.24.a et VII.24.b sont orientés NE-SW. Les figures VII.23.b et VII.24.b montrent que la composante horizontale de l'axe P est généralement plus importante que celle de l'axe T. Ce qui signifie que le mouvement principal est essentiellement un rapprochement qui se fait dans la direction NW-SE.

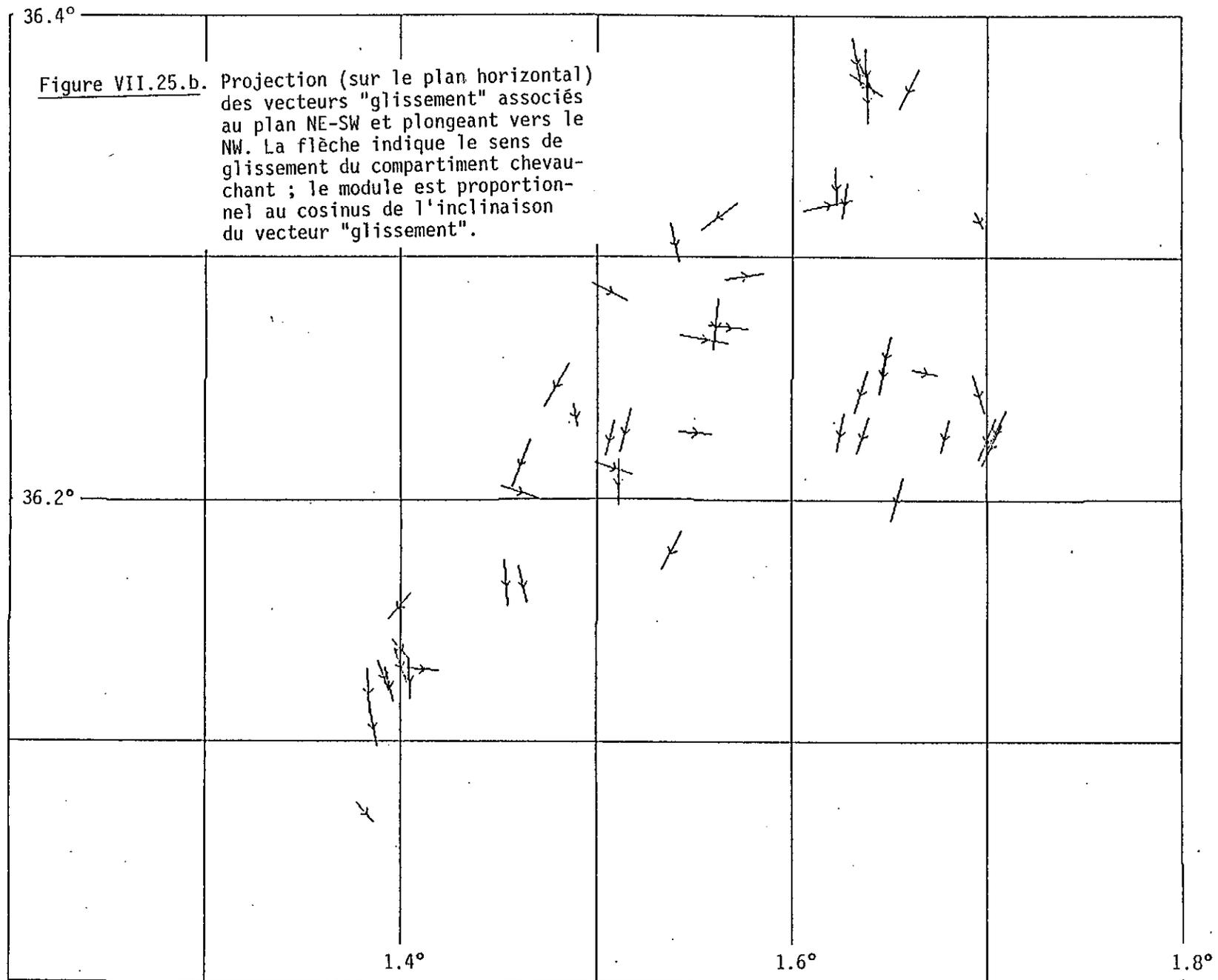
c) Le vecteur glissement.

Nous avons représenté (Figures VII.25.a, b) les vecteurs glissement relatifs aux plans nodaux orientés NE-SW et plongeant vers le NW, car ce sont ces plans qui correspondent probablement à la faille principale responsable du séisme principal du 10 octobre.

Il faut signaler que, s'agissant de mécanismes de faille inverse, la flèche portée par les vecteurs glissement (Figures VII.25.a, b) indique la direction de glissement du compartiment chevauchant.

Si on considère que le plan de faille est orienté NE-SW, alors, la composante de coulissage est plus importante dans la région située au sud du parallèle $36,3^{\circ}\text{N}$ et à l'est du méridien $1,6^{\circ}\text{E}$ (le vecteur glissement est NNE-SSW) que pour les mécanismes liés





à la faille principale (vecteur glissement orienté généralement NNW-SSE).

VII.4.2. Distribution des azimuts et pendages des axes P et T

Les axes P et T sont représentés sur la figure VII.26 en projection de Schmidt de l'hémisphère supérieur.

Plus de 90 % des azimuts des axes P sont compris entre 90° et 180° et entre 270° et 360° . La même proportion (environ) des axes T est comprise dans les quadrants 0° - 90° et 180° - 270° . D'autre part, on voit clairement que les axes P sont proches de l'horizontale alors que les axes T sont plus inclinés.

Le calcul d'un axe P ou T moyen n'est significatif que dans le cas où les différentes valeurs ne sont pas distribuées de façon aléatoire et oscillent autour d'une valeur moyenne.

Dans le cas des axes P, nous avons une variation de l'inclinaison autour de la position horizontale et une direction qui est grossièrement NW-SE. Si on calcule le barycentre de l'ensemble des axes P, en tenant compte de ce qui précède, on trouve un azimut et un pendage égaux respectivement à 146° et 5° . La valeur moyenne (arithmétique) de l'azimut qui est 145° est proche de celle calculée précédemment.

Par contre, il est difficile d'associer aux axes T une valeur moyenne, étant donné l'importante variation de leurs inclinaisons (voir figure VII.26). Toutefois, les azimuts semblent effectivement beaucoup moins dispersés. Nous trouvons alors une valeur moyenne de l'azimut égale à 60° par la méthode du barycentre et à 54° en faisant la moyenne arithmétique.

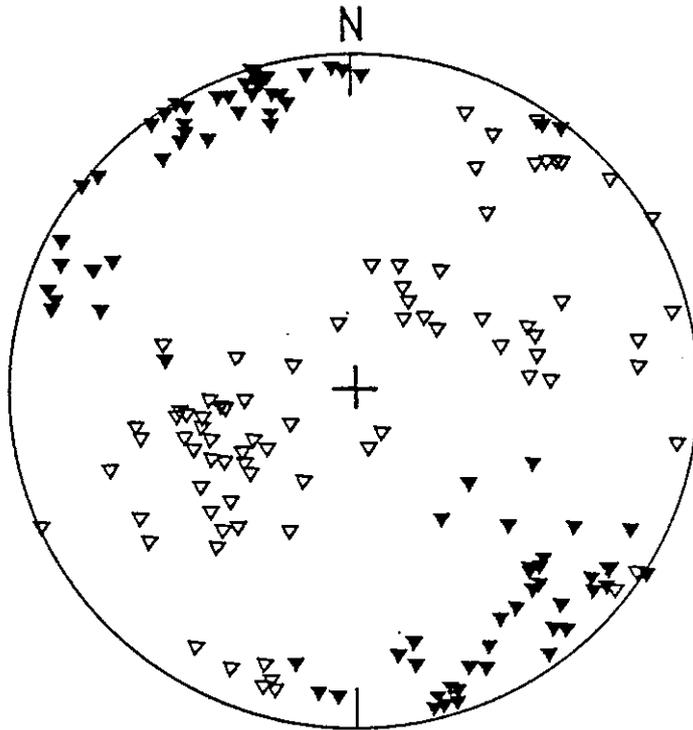


Figure VII.26. Distribution des axes P et T pour l'ensemble des répliques pour lesquelles nous avons pu calculer une solution focale (voir tableaux VII.A, VII.B, VII.C, VII.D). La projection de Schmidt de l'hémisphère supérieur est utilisée ; les triangles pleins et creux représentent respectivement les axes P et T.

VII.5. LES RESULTATS PRINCIPAUX DES MECANISMES AU FOYER

Dans ce chapitre, nous avons tenté d'expliquer les différentes solutions focales obtenues en examinant la répartition spatio-temporelle de la sismicité, les déformations observées en surface et la structure géologique de la région. Nous avons interprété les mécanismes au foyer pour quatre régions.

VII.5.1. Région située au SW de la lacune de sismicité

a) Partie où la faille n'est pas visible en surface.

Nous suggérons l'existence de deux accidents quasiment verticaux ; le premier est dans le prolongement de la faille principale avec un azimuth NNE-SSW, le second situé à l'est du premier est orienté NS. Le mouvement est un décrochement senestre. Ce schéma ne rend cependant pas compte de l'ensemble des observations et le manque d'informations dans cette région (sismicité, mécanismes au foyer, néotectonique) ne permet pas de proposer un modèle plus complexe et probablement plus représentatif.

b) Partie où la faille est visible en surface.

Nous obtenons deux types de mécanismes au foyer :

- . Ceux qui sont liés à la faille principale inverse avec un plan nodal orienté NE-SW et plongeant vers le NW. La composante de coulissage est généralement légèrement senestre (10 cas sur 11).
- . Des mécanismes de cisaillement (4) dont le plan nodal NNE-SSW quasiment vertical est compatible avec un alignement d'épicentres et les ruptures de surface. Ces séismes sont situés à la limite SW de la lacune de sismicité. Nous avons donc un coulissage senestre le long d'un accident NNE-SSW.

VII.5.2. Moitié NE de la faille

Les solutions focales obtenues pour cette région peuvent se diviser en deux groupes :

- . Les mécanismes de faille inverse (13) qui ont un plan nodal orienté NE-SW et plongeant vers le NW qui sont probablement liés à la faille principale. Dans cette région, nous avons les deux directions du mouvement horizontal sur la faille (dextre et senestre).
- . Des mécanismes avec une importante composante de cisaillement (5) qui font partie d'un essaim bien défini, situé à la limite NE de la lacune de sismicité. Le plan orienté NE-SW et plongeant vers le SE est associé au plan de faille. La composante de coulissage (qui est plus importante) sur cette faille est senestre.

VII.5.3. Environs NE de la faille, partie au nord du parallèle 36,3°N

Nous obtenons deux groupes :

- . Des mécanismes de cisaillement (7) avec le plan nodal NNW-SSE (vertical) qui est probablement le plan de faille. Ceci est supporté par la répartition spatiale de la sismicité et la néotectonique. Le mouvement sur ce plan est senestre sauf pour deux cas particuliers (n° 291 et 357).
- . Des mécanismes de faille inverse (9) qui sont très probablement liés à la faille principale qui se prolonge dans cette région. Ceci est montré clairement par la répartition spatiale des foyers et des épacentres après le séisme n° 248 ($M_L = 5,0$). Le mécanisme au foyer de ce même tremblement de terre (n° 248) et les déformations de surface relevées sur le terrain (G. Yielding et al., 1981) confirment cette hypothèse. La composante horizontale du mouvement sur le plan orienté NNE-SSW à NE-SW et plongeant vers le NW (plan de faille) pour l'ensemble de ces solutions focales est senestre.

VII.5.4. Environs NE de la faille, partie au sud du parallèle 36,3°N

Dans cette région, les mécanismes au foyer sont assez uniformes. Il s'agit

de mécanismes de faille inverse, le plan orienté NE-SW et plongeant vers le NW est probablement le plan de faille. La composante de coulissage est senestre.

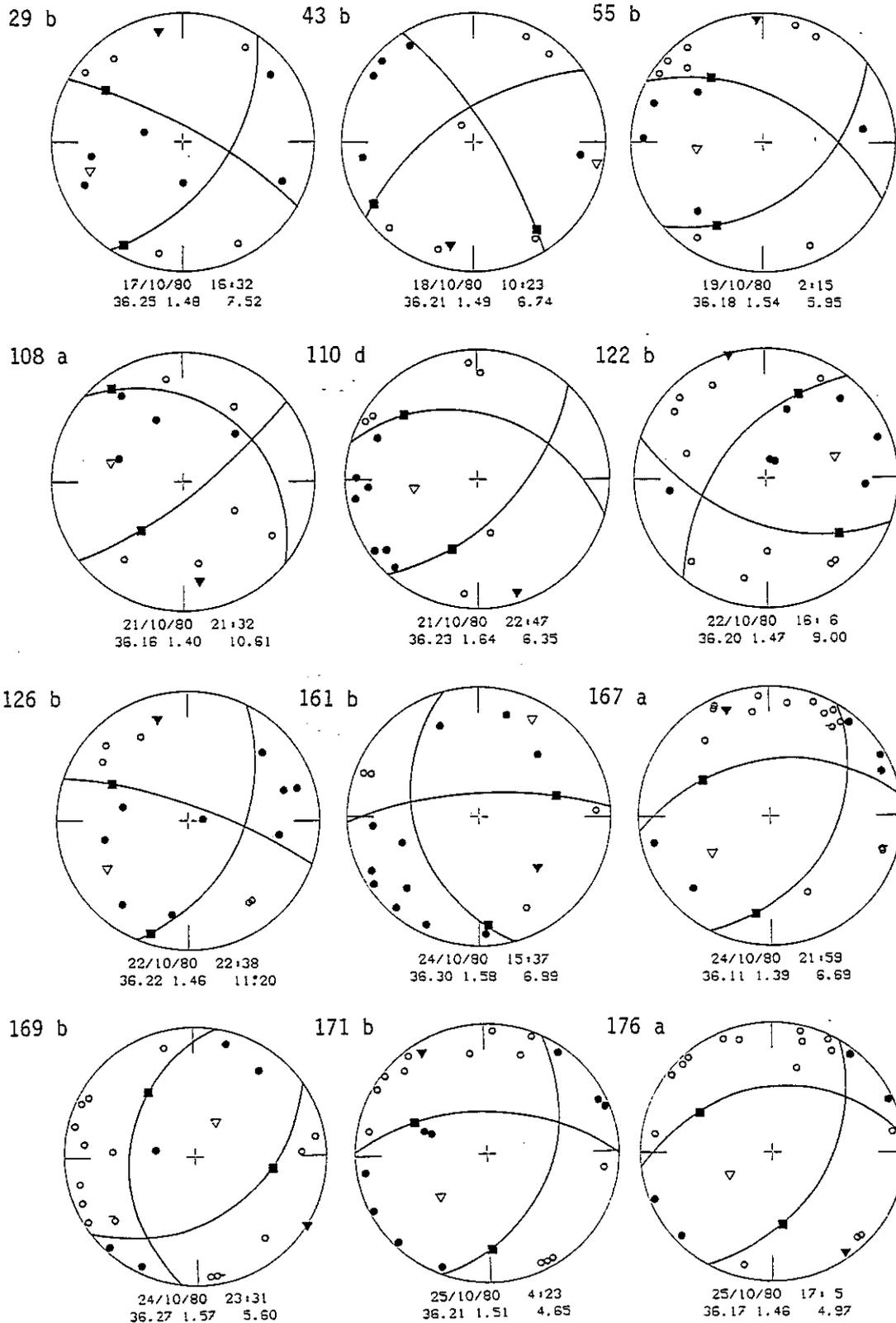


Figure VII.27. Représentation de l'ensemble des solutions focales obtenues en projection de Schmidt de l'hémisphère supérieur. Les symboles et les chiffres ont la même signification que sur la figure VII.4 ; les lettres a, b, c, et d se rapportent respectivement à la moitié SW, la moitié NE, environs NE de la faille, partie au nord et partie au sud du parallèle 36,3°N.

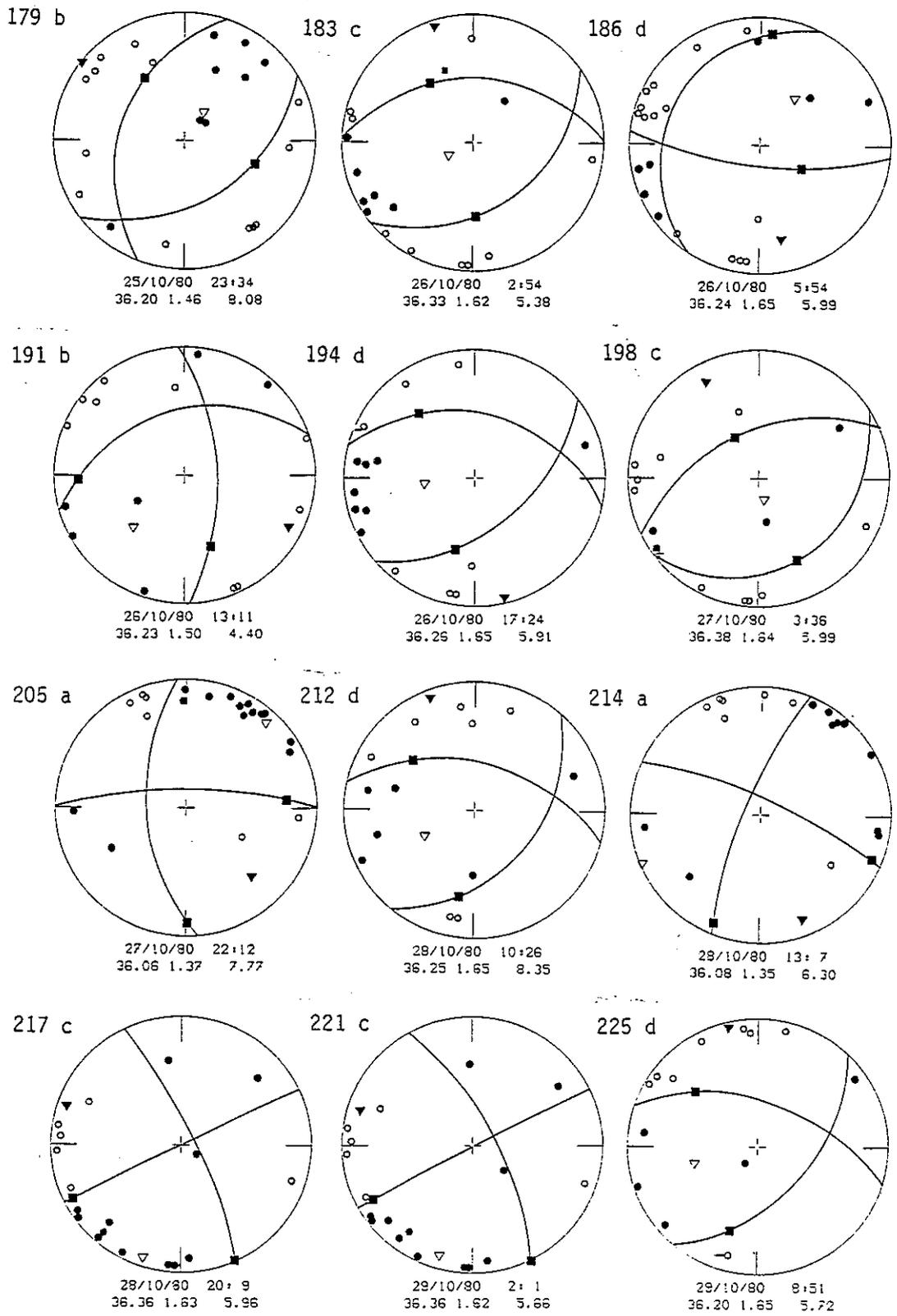


Figure VII.27. Suite.

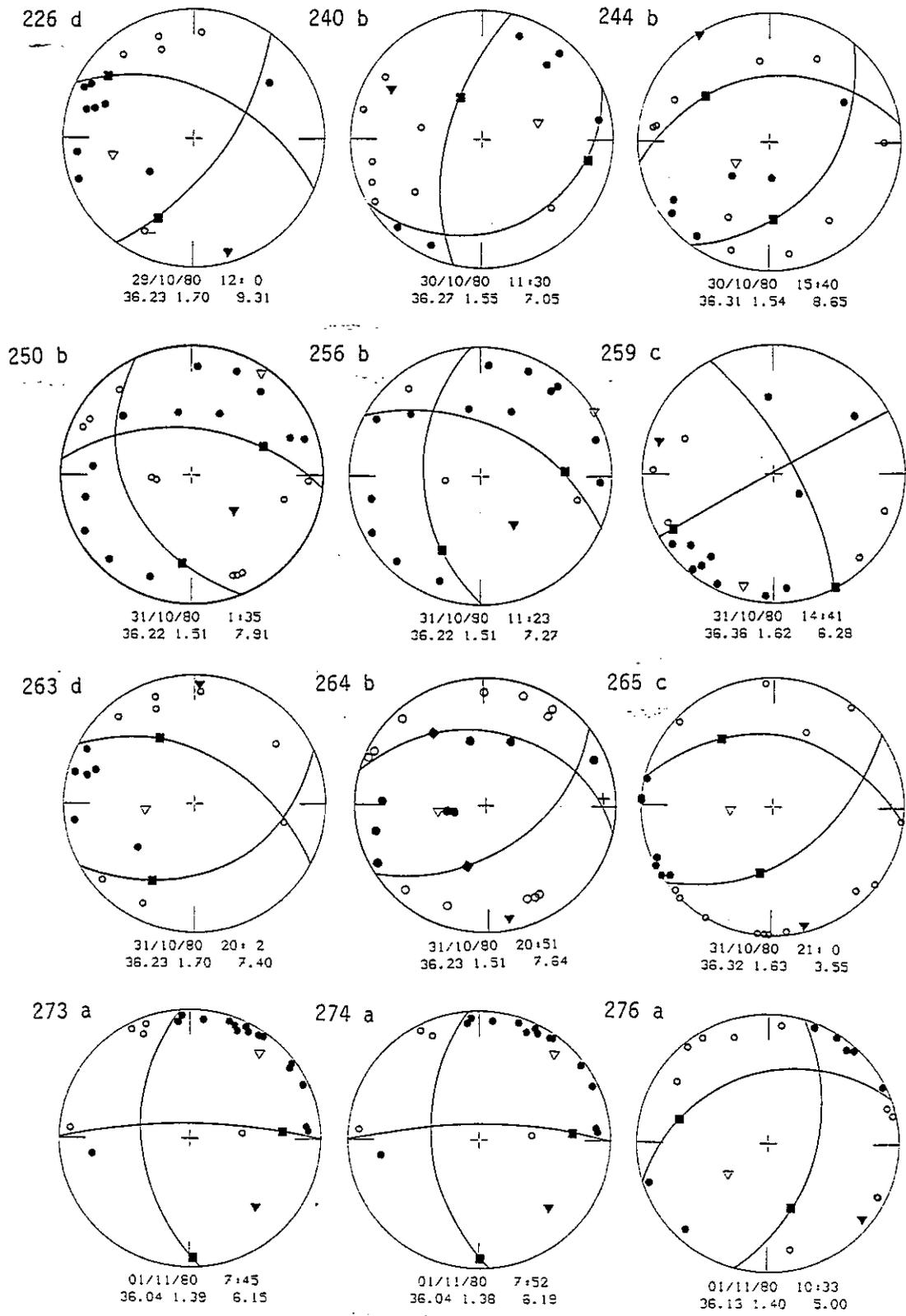


Figure VII.27. Suite.

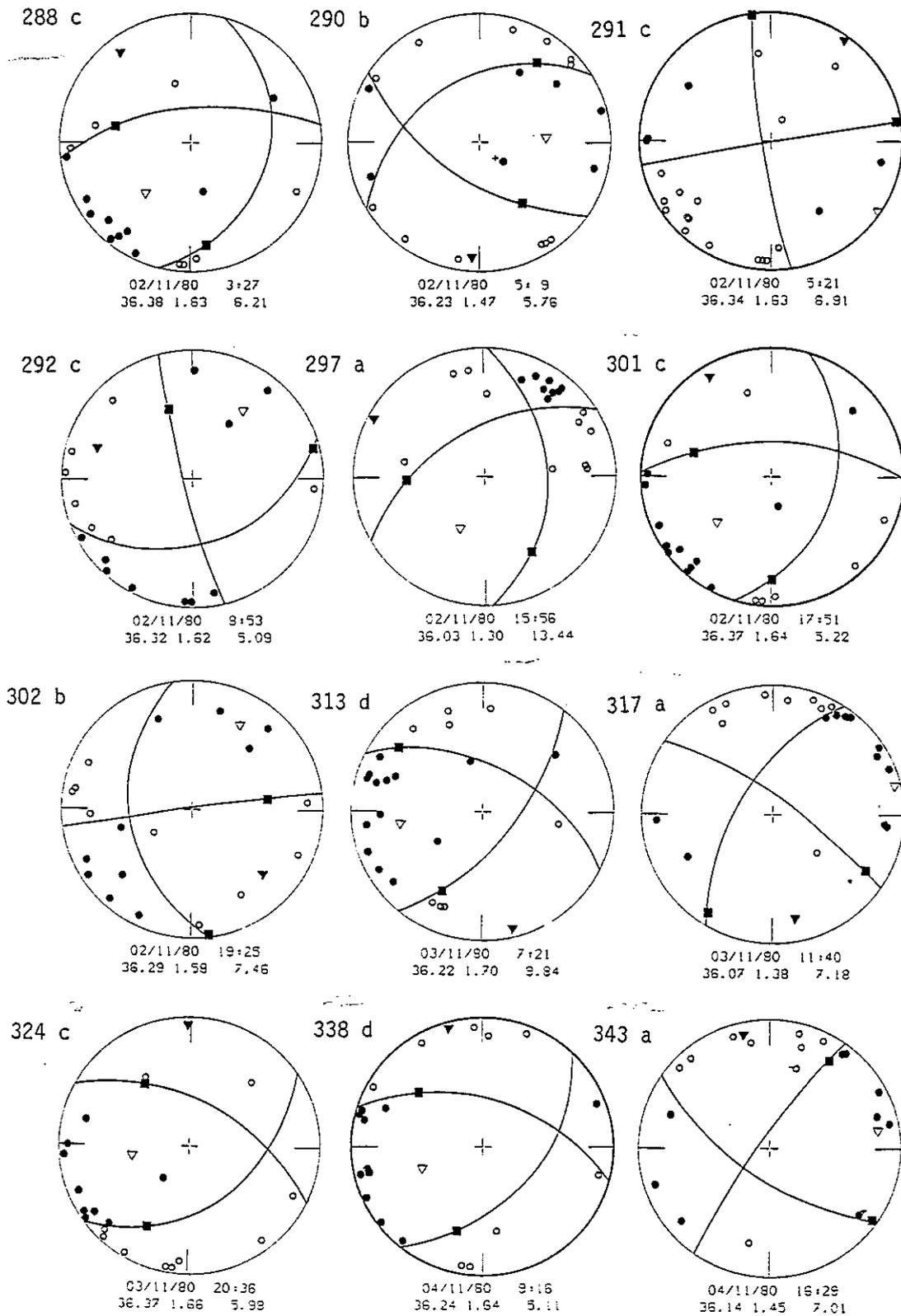


Figure VII.27. Suite.

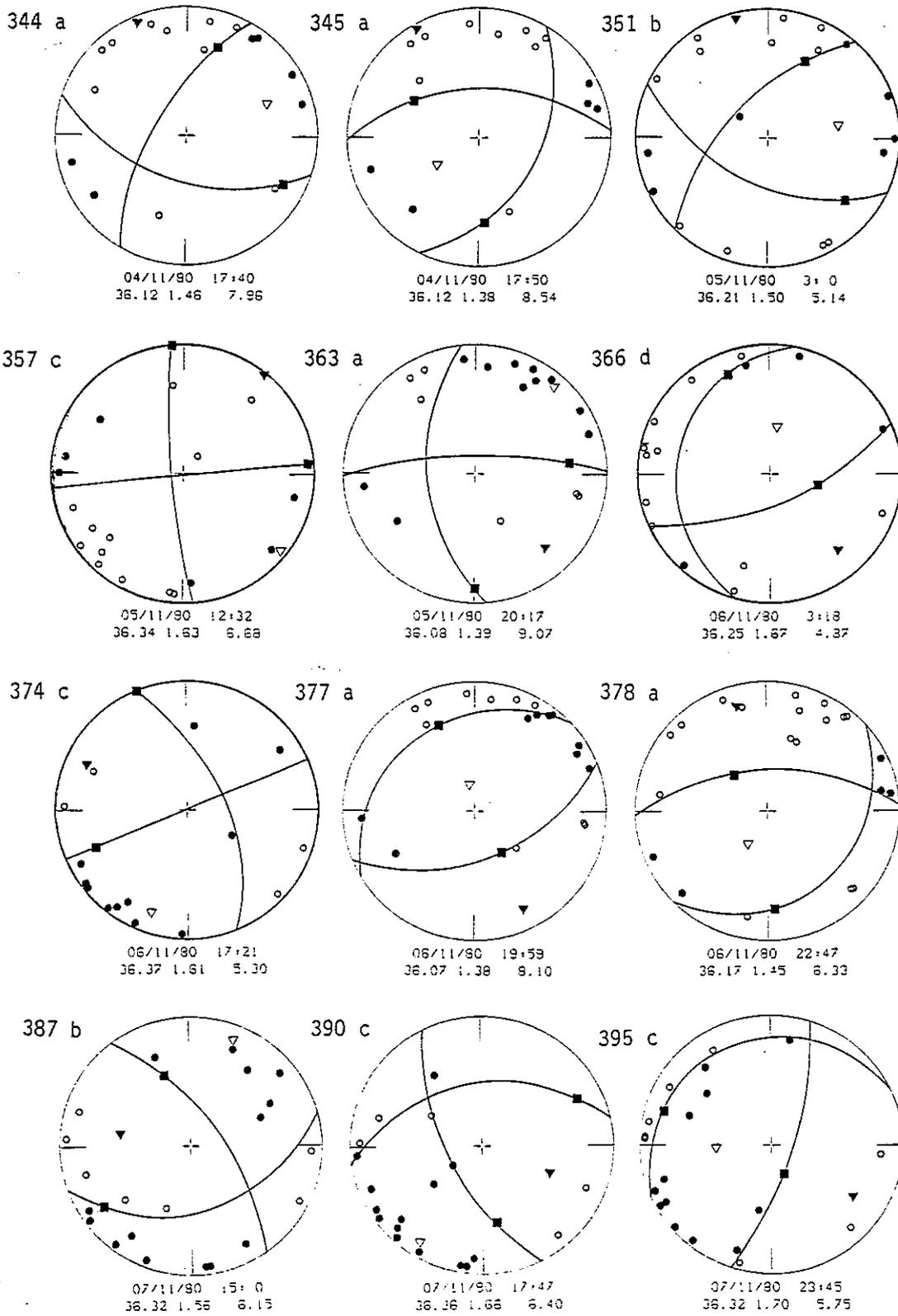


Figure VII.27. Suite.

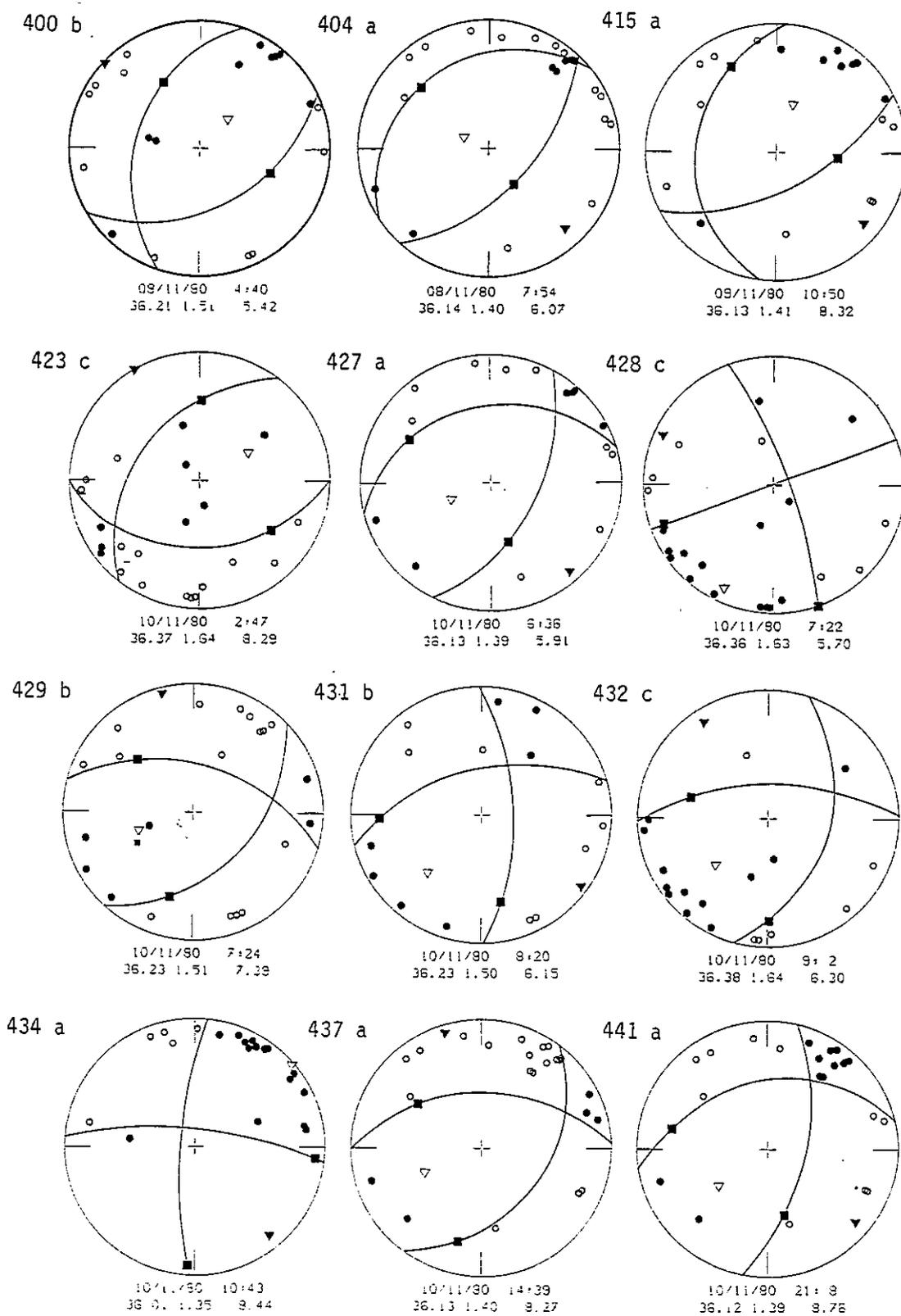


Figure VII.27. Suite:

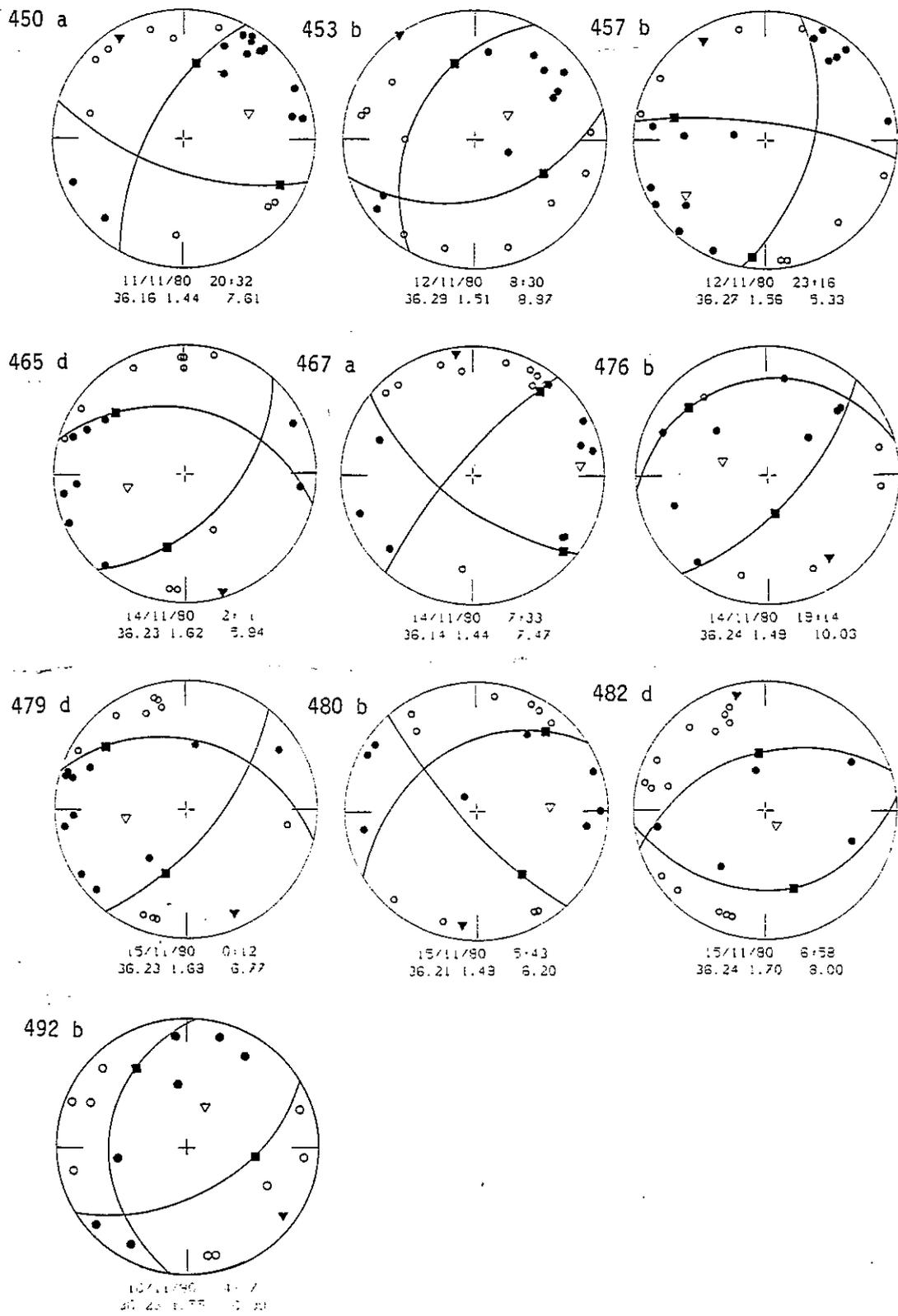


Figure VII.27. Suite.

CONCLUSION

Plusieurs auteurs ont étudié les divers aspects du séisme d'El Asnam du 10 octobre 1980. L'intérêt particulier qu'accordent les sismologues et les géologues à ce tremblement de terre est lié surtout aux déformations de surface qu'il a provoquées et à la qualité et l'abondance des données recueillies sur le terrain (cartographie détaillée de la faille à partir des photographies aériennes au 1/15 000e, mesure des déplacements et plus de 6 mois d'enregistrement des répliques).

Dans notre étude où nous avons effectué environ 500 localisations d'épicentres et calculé plus de 80 solutions focales individuelles, nous avons obtenu les résultats principaux suivants :

- La répartition spatio-temporelle des répliques :

. La répartition des épicentres montre que la faille principale se prolonge vers le SW. Son azimuth qui est NE-SW dans sa partie centrale devient NNE-SSW dans la région où elle n'est pas visible en surface.

. Nous relevons à l'ouest de Oued-Fodda, sur la faille principale une lacune de sismicité de largeur 4 à 5 km. Deux interprétations (opposées) ont été proposées ; Ouyed et al. (1981) et G. Yielding et al. (1981). Les contradictions qui existent entre les deux explications proviennent de la différence des éléments de base qui ont servi aux interprétations.

Pour les premiers (Ouyed et al., 1981), il s'agit d'une rupture bilatérale qui a pris naissance au niveau de la lacune de sismicité (relocalisation du séisme principal par J. Dorel) et qui aurait provoqué d'importantes déformations à cet endroit. L'explication avancée est alors que l'ensemble des contraintes ont été libérées (au niveau de la lacune de sismicité) lors du séisme principal.

Pour les seconds (G. Yielding et al., 1981), la rupture est unilatérale et a pris naissance à l'extrême SW de la faille principale (un écart de 8 km entre la relocalisation effectuée par G. Yielding et al. et celle calculée par J. Dorel). La lacune de sismicité se trouve alors sur une "barrière non déformée" (au sens de Das et Aki, 1977), et (d'après G. Yielding et al., 1981) ceci est confirmé par le fait que le déplacement est pratiquement nul à cet endroit.

Ils appuient leur argumentation en proposant un modèle composé d'une double rupture, la première prend naissance à l'extrémité SW de la faille et se propage vers le NE à une vitesse de 3 km/s sur 12 km, la seconde rupture démarre juste après au nord de la lacune de sismicité. Ceci explique effectivement la deuxième arrivée 4 secondes environ après la première, observée sur les sismogrammes. Il est cependant clair que d'autres modèles peuvent rendre compte des observations.

. A Béni-Rached où les déformations de surface (failles normales) sont importantes (jusqu'à 2 mètres de rejet vertical), nous avons enregistré peu de sismicité. Nous avons montré que les séismes qui se sont produits dans cette région sont en fait liés à la faille principale inverse.

Plusieurs auteurs s'accordent à dire que l'effet de la gravité a joué un rôle important dans la création du système de failles normales de Béni-Rached, l'origine tectonique de ces failles n'est cependant pas exclue.

. L'examen de la répartition spatiale des foyers en profondeur indique que la faille se redresse (augmentation du pendage) lorsqu'on se déplace du NE vers le SW. Dans la région (SW) où elle n'est pas visible en surface, la faille est quasiment verticale.

D'autre part, tous les séismes enregistrés sur la moitié SW de la faille principale se sont produits dans le compartiment inférieur délimité par un plan de pendage 52° NW (pendage du plan de faille calculé à partir du mécanisme au foyer du séisme principal) et passant par la trace de la faille en surface. Dans la partie centrale de la faille, les foyers constituent un essaim dont l'enveloppe supérieure qui a pour pendage 45° NW environ passe par la trace de la faille en surface. Dans ce cas, les répliques se produisent alors sur le compartiment chevauché, et ceci peut s'expliquer par les importantes déformations du compartiment chevauchant sur lequel l'ensemble des contraintes ont été libérées lors du séisme principal.

Enfin, tous les séismes se sont produits à des profondeurs inférieures à 13 km.

. Un élément important dont il n'a pas été tenu compte jusqu'à présent dans la modélisation du séisme principal qui permette de comprendre le mécanisme de rupture, et qui a été mis en évidence par l'étude de la variation spatio-

temporelle de la sismicité est le prolongement de la faille principale vers le NW. En effet, après le séisme du 30 octobre à 23h38mn (ML = 5,0), les répliques qui se sont produites définissent nettement un plan de faille plongeant vers le NW et orienté dans la direction NE-SW. L'ensemble de ces répliques apparaissent clairement comme étant liées à la faille principale inverse comme le confirment d'ailleurs les déformations de surface observées dans cette région (au nord du parallèle 36,30° N) ainsi que le mécanisme au foyer du séisme du 30 octobre à 23h38mn.

- Les mécanismes au foyer des répliques.

. 40 % environ des solutions focales calculées, sont liées à la faille principale inverse. La composante de coulissage pour ces mécanismes est senestre dans la moitié SW et dans la partie NE (au nord du parallèle 36,30° N) et est dextre ou senestre dans la partie centrale de la faille. Le plan nodal correspondant au plan de faille a un azimut qui varie entre N12°E et N72°E et un pendage compris entre 45°NW et 70°NW. Il est cependant difficile de mettre en évidence des variations spatiales de l'azimut ou du pendage du plan nodal associé au plan de faille.

. Les autres solutions focales sont essentiellement des mécanismes de cisaillement. Nous avons enregistré des mécanismes de coulissage senestre sur un plan de faille quasiment vertical orienté NS à NNW-SSE dans la partie SW où la faille n'est pas visible en surface et au nord du parallèle 36,30°N.

. En plus des mécanismes de faille inverse enregistrés le long de la faille principale visible en surface, des séismes appartenant à des essais bien définis et ayant des mécanismes au foyer avec une importante composante coulissante ont été enregistrés de part et d'autre de la lacune de sismicité localisée à l'ouest de Oued-Fodda (§ VII.3.1. et VII.3.2).

Ces observations montrent que la structure tectonique qui est relativement simple sur une grande partie de la faille principale devient plus complexe au niveau de la lacune de sismicité (existence d'accidents secondaires dont l'orientation est en fait difficile à déterminer). Ceci nous amène à reconsidérer le problème de l'interprétation de la lacune de sismicité observée, pour lequel, il ne

suffit pas seulement de faire intervenir la forme des ondes télésismiques (existence d'une deuxième arrivée 4 secondes après la première, voir l'interprétation donnée par G. Yielding et al., 1981), et les observations de terrain, mais tenir compte également de la tectonique locale.

Etant donné les différents problèmes relatifs à cette interprétation (lacune de sismicité) ; contradiction dans le mode de rupture (bilatérale ou unilatérale), dans la mesure des déformations de surface à l'endroit de la lacune de sismicité et le nombre insuffisant (bien qu'important) des solutions focales obtenues dans la région, il nous est difficile de proposer une interprétation de ce phénomène. Il est cependant clair que l'existence de mécanismes liés à des failles secondaires dans la région constituent un élément nouveau dans la recherche d'une explication du phénomène observé.

A N N E X E I

"Etude de microsismicité en Algérie du Nord"
publié au bulletin des sciences de la terre
(Géosciences n° 1, Alger, 1981).

ETUDE DE MICROSISMICITÉ EN ALGÉRIE DU NORD.

Merzouk OUYED C.R.A.G. Alger

Denis HATZFELD L.G.G.I. Grenoble I.N.A.G.

Résumé

Une campagne d'enregistrement de microsismicité d'une durée effective de 3 semaines, a permis la détermination de 32 événements et 5 solutions focales relativement stables.

Cette étude qui est la première du genre à être effectuée en Algérie, apporte de nouveaux éléments d'analyse à la sismicité de l'Afrique du nord. On montre ainsi, malgré l'insuffisance de moyens utilisés (le réseau ne comportait que 5 stations portables), l'importance de telles études de microsismicité.

INTRODUCTION

Une campagne d'enregistrement de microsismicité a été effectuée en Algérie du nord du 18.11.79 au 02.01.80.

Trois régions; El-Asnam, Blida et Sétif dont l'activité sismique a été particulièrement intense, ont été choisies à cet effet. 32 séismes de magnitude comprise entre 0.5 et 2.7 ont été enregistrés en l'espace de 20 jours.

Au cours de cette expérience, l'activité la plus importante était localisée dans la région de Sétif avec 15 événements, et plus particulièrement au nord de Kherrata. 13 séismes ont été enregistrés dans la région d'El-Asnam et 4 au sud-ouest de Tipaza.

Notons que cette étude qui a permis d'aboutir à des résultats intéressants, n'avait pour objet que la localisation des régions sismiques. Le nombre insuffisant de stations sismologiques utilisées (au total 5), ainsi que la période de temps d'enregistrement relativement courte, limitent la portée de l'expérience.

Cependant, l'examen des cartes des épicentres et des solutions focales obtenues, en comparaison avec les données historiques (sismicité et solutions focales), permet de mieux préciser la sismicité de l'Algérie du nord.

Déroulement de la campagne :

Cinq stations sismologiques portables «Sprengnether MEQ 800» du laboratoire de géophysique interne de Grenoble ont été utilisées. La dérive en temps des horloges à quartz est généralement faible, probablement inférieure (pour une durée de 24 heures) à l'erreur de lecture. Cependant, nous avons procédé chaque jour à la remise à l'heure à l'aide d'un poste récepteur «H.B.G.».

La finesse de la trace sur les enregistrements «noir de fumée» nous a conduit à des précisions de lecture de l'ordre du 1/20^e de seconde.

L'expérience a été effectuée en trois étapes. Pour chaque étape, la durée d'enregistrement est d'une semaine environ.

Les stations sont représentées sur les figures 1,2 et 4 par des triangles.

METHODE

Localisation

La position du foyer est déterminée à partir des temps d'arrivée des ondes P et S et du modèle de vitesse, par le programme HYPO 71 de Lee et LaHr (1972). Le programme a été utilisé sur l'ordinateur IRIS 80 du centre interuniversitaire de calcul de Grenoble (CICG).

Des difficultés sont cependant rencontrées dans le choix du modèle de vitesse pour lequel aucune donnée n'est disponible (sondages sismique). D'autre part, il ne nous est pas possible de calculer un modèle de structure à partir des données de cette campagne, celles-ci étant juste suffisantes pour la détermination du foyer. On voit alors que des erreurs systématiques importantes peuvent être introduites dans le calcul des coordonnées de l'épicentre, et surtout de la profondeur du foyer.

Ainsi, une erreur de 16% par exemple sur la vitesse de l'onde P (5km/s au lieu de 6km/s) induirait une même erreur relative sur la distance; c'est à dire qu'un épicentre situé à 50 km d'une station, serait représenté par une sphère de 8 km de rayon.

Une autre source d'erreur tout aussi importante est la position de l'épicentre par rapport au réseau. En effet, le nombre insuffisant de stations ne permet pas une localisation précise du foyer, surtout lorsque l'évènement a eu lieu en dehors du réseau. Il est donc difficile de chercher des corrélations entre la répartition de la sismicité, la tectonique et la profondeur des foyers.

Le modèle choisi est constitué d'une couche dont la vitesse de l'onde P est de 6.0 km/s, surmontée d'une couche de 3 km d'épaisseur et de vitesse 5.4 km/s. Le rapport des vitesses des ondes longitudinale et transversale est pris égal à 1.75.

Les erreurs sur la position de l'épicentre et la profondeur du foyer ont été calculées par «HYPO 71» et données dans le tableau I qui comporte les colonnes suivantes :

No : numéro d'ordre; DATE: date; ORIGIN : heure et minute à laquelle s'est produit le séisme; LAT N: latitude nord en degré et minute; LONG E: longitude Est en degré et minute; DEPTH: profondeur en km; NO: nombre de données utilisées pour la détermination de l'hypocentre; RMS: résidu moyen en secondes; ERH: erreur sur la position de l'épicentre en minute; ERZ: erreur sur la profondeur en km; M_1 : magnitude.

Calcul de la magnitude

La magnitude des séismes a été calculée à partir de la durée à partir de la durée T de l'enregistrement. Le temps T correspond à la période écoulée entre le début de la phase P et le retour à l'enregistrement du bruit de fond.

La formule appliquée est celle de Lee (Lee et al., 1972), valable pour la Californie; $M_1 = 2.00 \log T + 0.0035 D - 0.87$, où M_1 est la magnitude, T la durée du signal en seconde, D la distance épicentrale en Km.

Mécanismes au foyer

La sphère focale est obtenue par projection de Schmidt de l'hémisphère supérieure.

Seuls des mécanismes composites utilisant de 2 à 5 séismes ont pu être déterminés, et ce, en raison du nombre de points insuffisant (5 au maximum) pour un seul séisme. Cet handicap n'a permis le calcul de solution focale en utilisant un évènement unique.

Nous avons regroupé les séismes pour les solutions composites, dans la mesure où les événements sont proches les uns des autres, ou leurs signaux semblables. Ces deux critères ont permis d'obtenir des solutions cohérentes.

Cependant, les erreurs sur la position et la profondeur du foyer peuvent influencer sensiblement sur les paramètres des plans nodaux et des axes de pression et de tension. Il convient donc de considérer les solutions obtenues de façon très critique.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Répartition de la sismicité

Le tableau 1 donne la liste des événements enregistrés par le réseau dans l'ordre chronologique; au total 32 séismes de magnitude comprise entre 0.5 et 2.7.

Les épicentres sont reportés sur des cartes comportant les structures géologiques des régions étudiées.

Nous pouvons définir 5 régions actives qui sont les suivantes : El-Asnam - El-Abadia - Ténès, composé de 13 séismes; la région située au nord de Beni-Aziz (ex Chevreuil), avec 3 événements; et enfin Ain-Taghrout, composé de 7 séismes. Pour éviter les répétitions, nous numérotons les essais de 1 à 5, dans l'ordre où ils ont été cités ci-dessus.

Ces zones actives ont été définies ainsi, par rapport à la sismicité historique représentée sur la figure 3. En effet, nous remarquons que les essaims correspondent à des régions où des séismes importants se sont produits. C'est ainsi que l'essai No 1 se situe dans la région du grand tremblement de terre de 1954 ($M_b = 6.7$) et de ses répliques, et l'essai No 3, du séisme de Kherrata de 1949 ($M_b = 4.9$).

Nous remarquons également, que les trois autres zones actives (No 2,4,5), coïncident, aux erreurs de détermination près, avec les epicentres représentés sur la figure 3 (sismicité historique).

Nous pouvons remarquer d'autre part, que la sismicité est très dispersée dans la zone 1, alors qu'elle est relativement concentrée dans la région de Kherrata. Cet état de la sismicité est probablement caractéristique de la fracturation, et peut-être aussi de l'état des contraintes dans la région.

L'insuffisance de données dans la détermination des événements, ne nous permet pas de tirer des conclusions sur la répartition des profondeurs des séismes. Cependant, le résultat principal est qu'il s'agit de chocs superficiels; en effet, plus de 62% des événements déterminés dans cette étude ont une profondeur inférieure à 7 km. D'autre part, la majorité des séismes ayant une profondeur supérieure à 10 km sont situés à l'extérieur du réseau, ces valeurs sont donc peu faibles.

La similitude de la sismicité historique (encadrés de la figure 3) et de la microsismicité (figures 1 et 2) semble indiquer l'existence de zones où l'activité sismique est pratiquement nulle.

La courte durée de l'expérience, ne permet pas l'étude de la variation temporelle de la sismicité.

N°	DATE	ORIGIN	LAT N	LONG E	DEPTH	NO	RMS	ERH	ERZ	M_1
01	791121	01:01	36-28.95	01-29.74	4.00	4	.07			2.4
02	791121	10:23	" 22.29	" 39.17	5.61	5	.01	.4	.2	1.1
03	791122	23:08	" 22.28	" 35.59	3.64	7	.05	.6	1.9	1.3
04	791123	05:02	" 31.11	" 31.06	5.93	5	.01	.5	.4	0.5
05	791123	17:45	" 28.23	02-19.70	3.87	7	.05	1.4		2.4
06	791124	17:26	" 18.08	01-48.61	2.50	4	.07			1.4
07	791125	22:17	" 21.77	" 40.10	6.27	7	.02	.2	.1	1.3
08	791126	21:57	" 27.70	" 41.11	1.65	8	.15	1.5	1.2	1.4
09	791127	02:48	" 25.61	" 55.77	7.47	6	.05	1.5	4.4	1.6
10	791127	13:56	" 05.85	" 35.04	21.04	5	.01	.6	.6	1.7
11	791128	03:13	" 18.99	" 19.02	8.10	7	.11	1.9	1.1	1.4
12	791129	03:44	" 29.13	" 42.24	4.73	5	.08	3.8	4.4	1.4
13	791208	15:07	36-06.21	05-13.63	1.51	7	.15	2.0	1.6	2.6
14	791209	04:57	" 10.92	" 10.09	9.58	4	.07			1.4
15	791209	06:02	" 13.27	" 13.33		3	.02			1.1
16	791209	14:54	" 25.60	" 37.19		3	.15			2.7
17	791209	16:03	" 17.98	" 32.69	30.67	4	.00			2.0
18	791210	00:38	35-58.95	" 02.32	6.31	7	.35	5.2	19.0	2.7
19	791210	14:42	36-20.04	" 31.58	17.73	5	.10	1.7	2.5	2.6
20	791211	01:59	" 35.44	" 19.18	2.25	4	.46			1.2
21	791211	14:43	" 34.04	" 13.76	2.50	4	.21			1.5
22	791211	18:49	" 31.39	" 14.31	1.66	5	.02	2.5	2.5	1.9
23	791211	18:50	" 31.43	" 14.15	1.35	5	.05	5.8	6.0	1.7
24	791211	18:54	" 32.53	" 13.66	3.43	4	.07			2.3
25	791211	20:49	" 09.29	" 04.73	2.50	5	.50	6.6	6.4	2.2
26	791211	21:31	" 03.61	" 12.85	21.18	6	.23	4.6	5.4	2.7
27	791212	14:24	" 12.13	" 12.03	8.75	4	.04			2.3
28	791223	00:13	36-32.37	02-16.20	13.32	6	.09	2.9	2.2	2.7
29	791223	01:21	" 33.23	" 20.81	15.91	6	.14	6.1	2.9	1.9
30	791224	01:12	" 37.26	" 17.41	4.05	4	.08			1.6
31	791228	17:50	" 23.06	01-35.48	2.74	4	.01			1.9
32	791229	08:53	" 07.81	" 34.40	16.87	5	.08	8.1	11.9	2.0

Tableau 1: Séismes enregistrés par le réseau de stations portables.

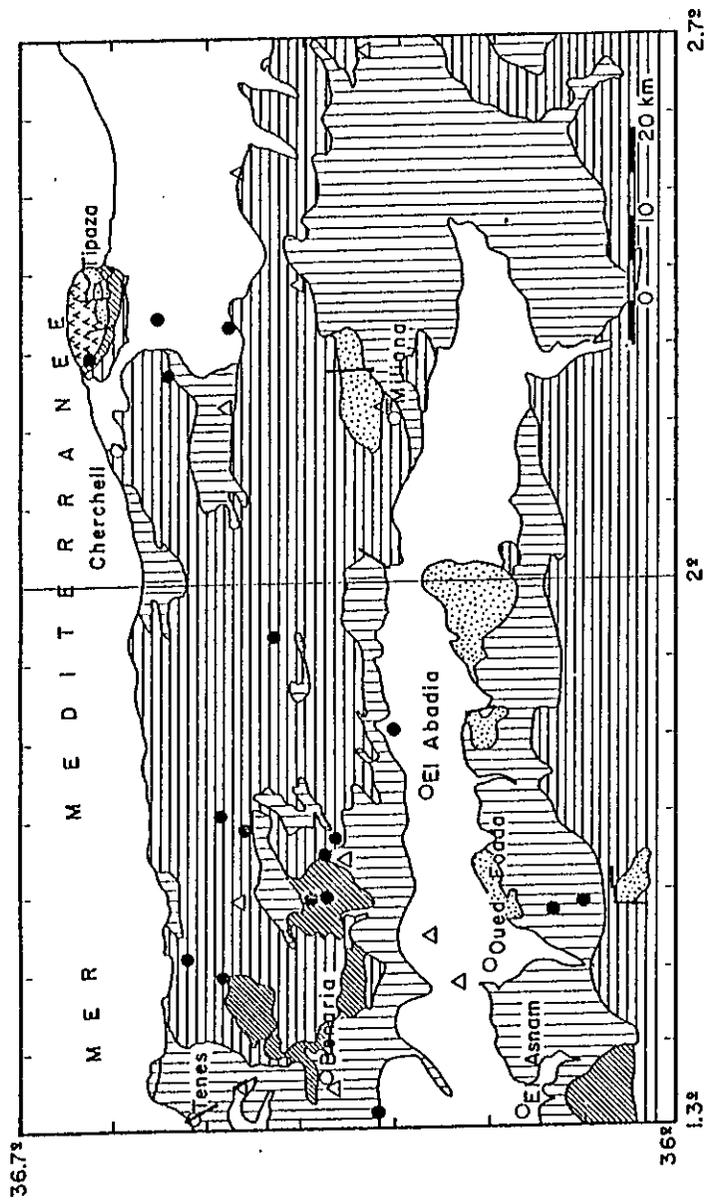


Fig. 1: Carte des épicentres des séismes enregistrés dans les régions d'El-Asnam et de Blida. Légende, voir Fig. 2.

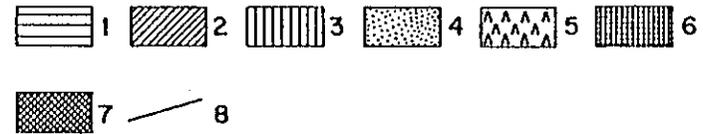
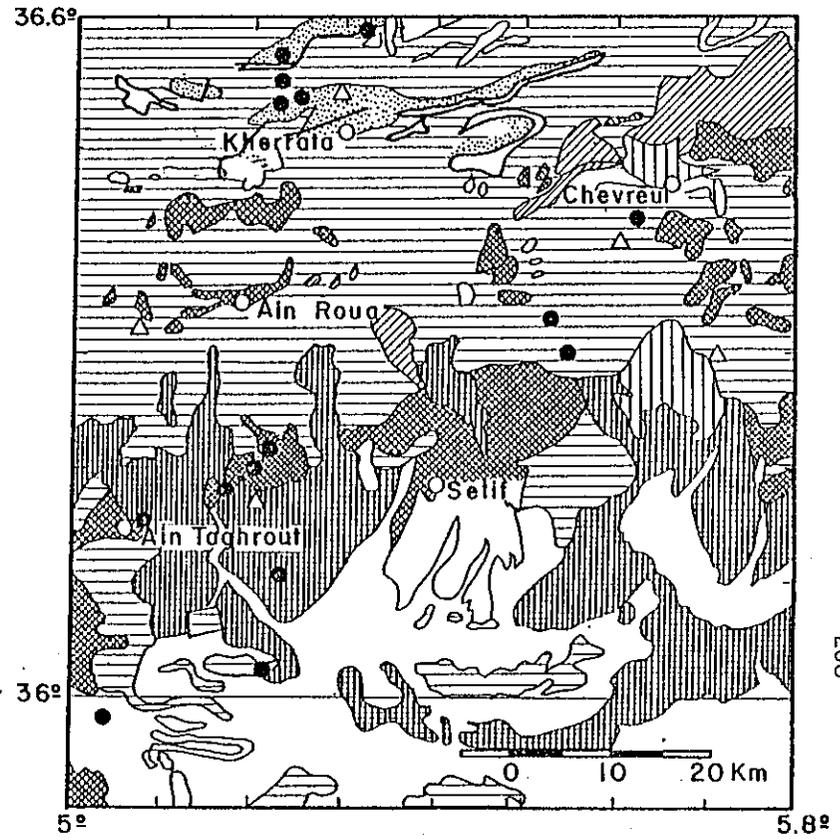


Fig. 2: Carte des épicentres des séismes enregistrés dans la région de Sétif. Les points noirs indiquent les épicentres, les triangles : l'emplacement des stations sismologiques portables.

1: Crétacé, 2: Oligocène, 3: Miocène, 4: Jurassique, 5: Dévonien, 6: Pliocène, 7: Eocène, 8: Failles, En blanc: Quaternaire.

Mécanismes au foyer

Cinq solutions focales (El-Asnam 1c et 2c; Sétif 1c, 2c et 3c) relativement précises ont été déterminées.

Seuls les mécanismes «Sétif 2c et 3c» ont des paramètres qui varient de 20° en azimut et 30° en pendage pour les plans nodaux, et de façon moins sensible pour les paramètres des axes de pression et de tension. Les trois autres solutions (El-Asnam 1c et 2c; Sétif 1c) sont stables.

L'essai situé à l'ouest de Tipaza donne deux mécanismes au foyer possible (voir fig. 5, Blida 1ca et 1cb).

Les résultats sont représentés de trois manières :

- Position du sens du premier mouvement, des axes de pression et de tension, et des plans nodaux sur la sphère focale (fig.5).
- Solution focale avec indication des séismes concernés, et direction de compression (fig. 4).
- Les paramètres (pendages et azimuts des plans nodaux et des axes de pression et de tension) sont donnés dans le tableau 2.

Nous allons essayer d'analyser les cinq mécanismes des régions d'El-Asnam et de Sétif, sans nous préoccuper de celui de Blida (Blida 1c) qui donne deux solutions totalement différentes.

Plusieurs solutions focales de séismes historiques donnent un axe des pressions sensiblement orienté N-S (Girardin et al., 1977). La direction de l'axe des pressions qui est NW-SE pour tous les mécanismes obtenus, semble confirmer l'hypothèse selon laquelle le pôle de rotation de la plaque Afrique se situerait vers 29.6°N et 25.7°W (Minster et al., 1974), donc au S-W des régions étudiées.

Nous remarquons également le faible pendage de l'axe des pressions qui est toujours inférieur à 20°.

Nous pouvons donc dire, que le mouvement relatif des plaques Europe et Afrique se manifeste par des contraintes maximales horizontales de direction sensiblement N-S. Le système de failles représenté par les mécanismes «El-Asnam 1c et 2c», donc à l'ouest (par rapport à la fig.3), est de type inverse de chevauchement, ceci nous incite à penser que la contrainte minimum est d'orientation verticale dans cette zone.

Tableau 2 : Paramètres des mécanismes au foyer.

Mécanisme	No des séismes concernés	Plan 1 Az Pendage	Plan 2 Az Pendage	Pression Az Pendage	Tension Az Pendage
El-Asnam					
1c	8, 12	14°62°SE	32°30°NW	290° 15°	82° 74°
2c	1,2,3,4,7	52°34°NW	95°64°SW	349° 16°	223° 65°
Sétif					
1c	13,18,26	58°50°SE	158°80°SW	102° 20°	206° 36°
2c	16,17,19	49°60°SE	152°70°SW	99° 5°	192° 38°
3c	20,21,22, 23,24	30°78°NW	109°50°SW	156° 20°	258° 36°
Blida					
1ca	28,29,30,5	43°88°NW	131°40°SW	164° 30°	279° 36°
1cb	" " "	131°40°SW	150°52°NE	112° 80°	231° 6°

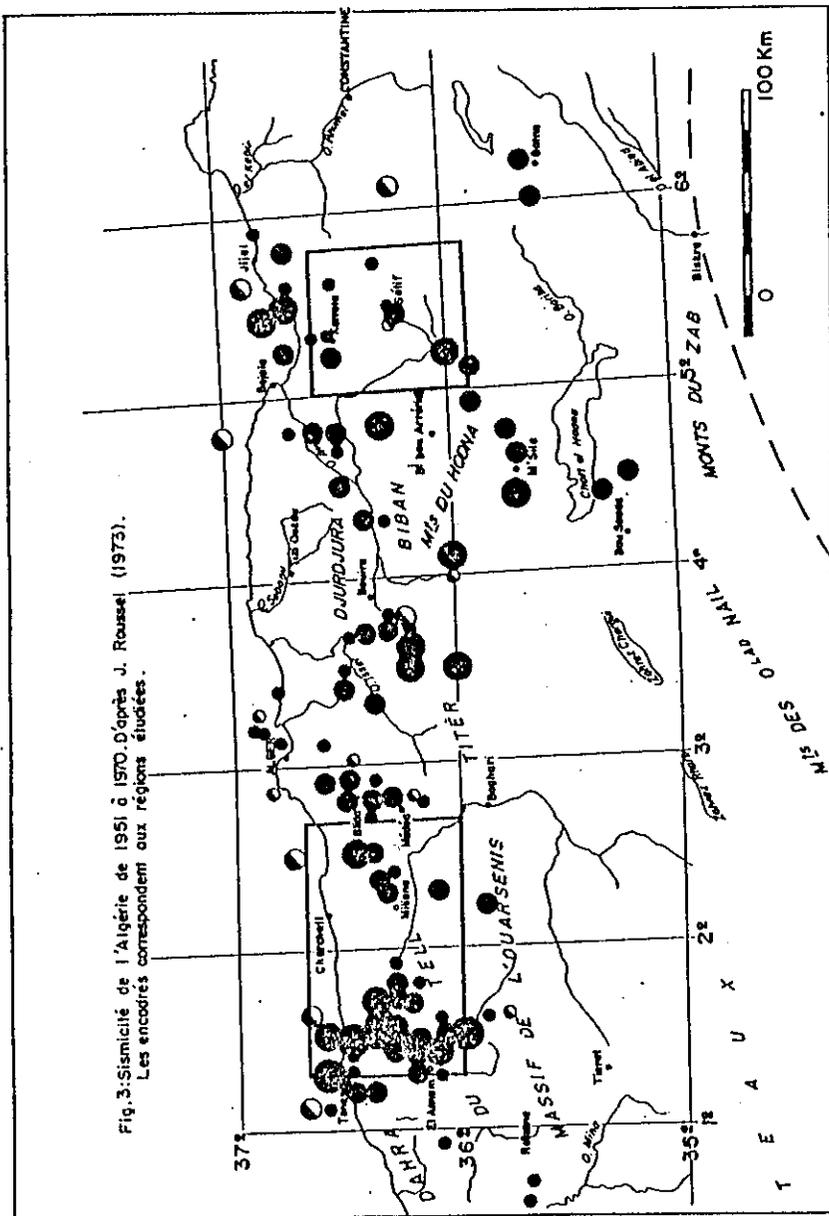


Fig. 3. Sismicité de l'Algérie de 1951 à 1970. D'après J. Roussel (1973).
Les encadrés correspondent aux régions étudiées.

Tandis que l'existence d'une contrainte minimum horizontale dans la région de Sétif se traduit par des mouvements de coulissage, ou du moins, par une importante composante horizontale du mouvement (Sétif 1c, 2c et 3c). Cette même remarque a été faite pour les séismes du Frioul (G. Wittlinger, 1980).

Il est intéressant de remarquer la similitude du mécanisme «El-Asnam 2c» et celui du grand tremblement de terre d'El-Asnam en 1954 ($M_b = 6.7$) déterminé par Shirokova (Shirokova E.I, 1972). D'autre part, la direction de l'axe des pressions pour ces deux solutions focales correspond à la compression maximale du séisme de 1954 dont la trace a été relevée sur le terrain (J.P. Rothé et al., 1977). L'épicentre du séisme de 1954 déterminé par D. Mc Kenzi (1972) est à environ 10 km de l'essai de Tacheta qui a permis le calcul de la solution focale «El-Asnam 2c»; donc, dans la limite des erreurs de détermination.

Il est cependant difficile, vu le manque d'éléments d'analyse, de relier la microsismicité de Tacheta au choc principal de 1954, et ce, malgré la corrélation qui caractérise ces événements.

Relation avec la tectonique

Les épicentres sont reportés sur les cartes géologiques des régions étudiées (Fig. 1 et 2). Le manque de données structurales et l'imprécision des localisations des événements, rend délicate l'interprétation sismotectonique.

Malgré ces difficultés, l'essai de Kherrata semble lié à une faille ou un système de failles orienté $N70^{\circ}E$. Cet accident serait responsable du tremblement de terre de Kherrata en 1949 ($M_b 4.9$) (J.P Rothé, 1950).

En effet, une des solutions extrêmes de «Sétif 3c» qui correspond à l'essai de Kherrata, donne un plan nodal d'azimut 54° et de pendage $56^{\circ}NW$, et correspond à un mécanisme de chevauchement inverse avec une importante composante sénestre (Pendage du plan auxiliaire $50^{\circ}SW$). La faille décrite par F. Ehrmann (J.P Rothé, 1950) dont l'azimut est de 70° environ et un pendage en amont au sud (voir fig.2), pourrait correspondre au plan nodal P1 du mécanisme «Sétif 3c».

D'autre part, une étude sur les effets de surface du séisme d'El-Asnam de 1954 (J.P Rothé et al.,1977) a montré un failage inverse selon une direction de compression NNW-SSE; ces observations sont en accord avec le mécanisme au foyer de ce même séisme déterminé par Shirokova (E.I Shirokova, 1967), ainsi qu'avec la solution focale «El-Asnam 2c».

Les isocéistes (H. Benhallou et J.Roussel, 1971) du choc principal de 1954 et de ses répliques, sont allongées dans la direction NE-SW. Il est donc probable que les accidents jouant dans cette région soient de même direction (NE-SW). Le plan de faille de la solution focale «El-Asnam 2c» correspondrait au plan d'azimut 52° . La direction $N60^{\circ}E$ a par ailleurs été présente pour le séisme de 1954 (J.P Rothé et al.,1977).

CONCLUSION

Au cours de cette étude, nous avons mis en évidence cinq régions particulièrement actives. Nous avons montré que ces essaims correspondaient à des zones où d'importants séismes historiques, quelquefois destructeurs, se sont produits.

Par ailleurs, il n'a pas été enregistré de microsismicité dans les régions qui apparaissent historiquement asismiques.

D'autre part, les cinq solutions focales obtenues montrent un failage inverse avec d'importants mouvements horizontaux pour les trois mécanismes déterminés pour la région de Sétif.

La direction de l'axe des pressions pour l'ensemble des solutions obtenues qui est NW-SE, indique que le pôle de rotation de la plaque Afrique se situerait au Sud-Ouest des régions étudiées. Ce résultat est en accord avec l'hypothèse selon laquelle, la rotation de la plaque Afrique se ferait autour de l'axe de coordonnées $29.6^{\circ}N$ et $25.7^{\circ}W$ (minster et al., 1974).

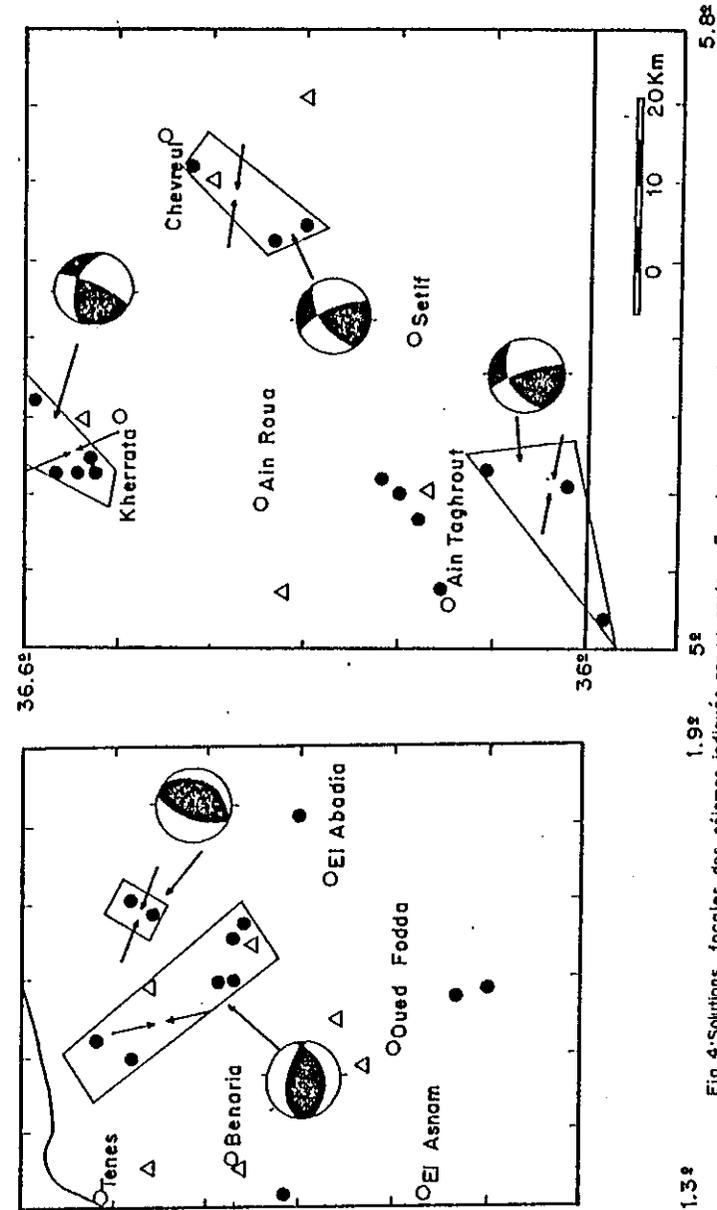


Fig.4: Solutions focales des séismes indiqués par un contour. En noir : la compression. Les points noirs représentent les epicentres, les triangles : les stations sismologiques, les fleches noires la direction de compression.

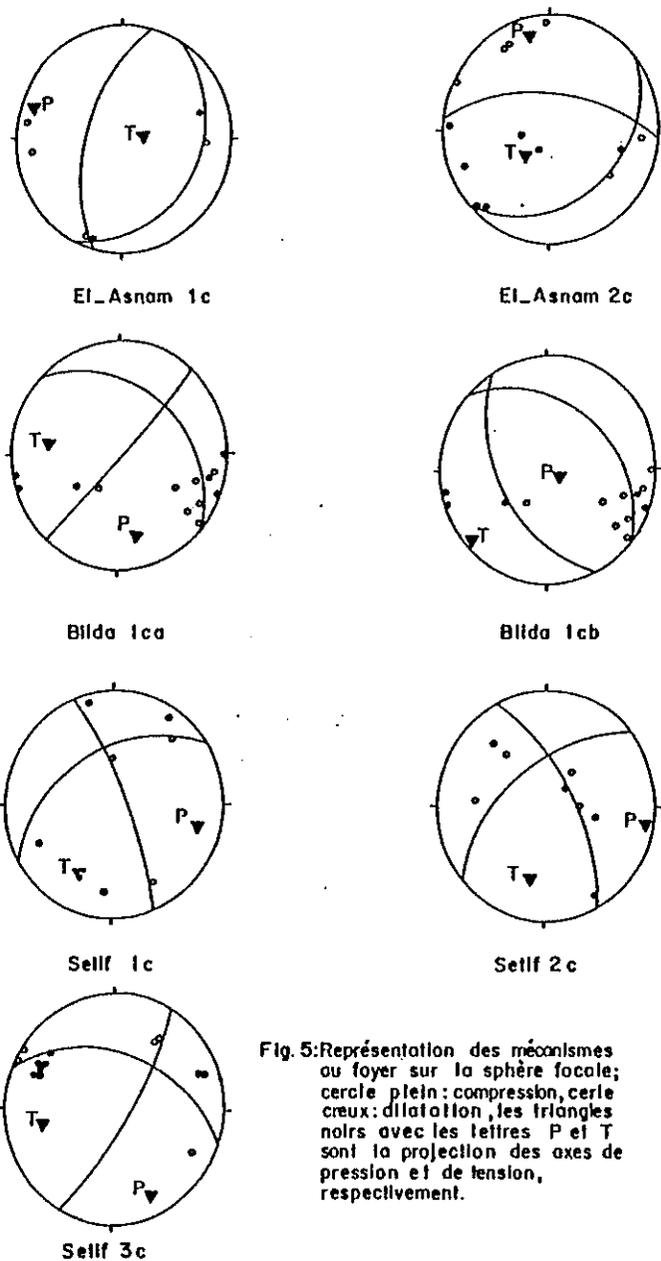


Fig. 5: Représentation des mécanismes ou foyer sur la sphère focale; cercle plein: compression, cercle creux: dilatation, les triangles noirs avec les lettres P et T sont la projection des axes de pression et de tension, respectivement.

REFERENCES

- Benhallou H. et Roussel J. (1971)- Sur les séismes et la sismicité de l'Algérie de 1951 à 1970. Note I.M.P.G.A. No 4.
- Delteil J. (1973)- Tectonique de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du tell Oranais oriental. Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Nice.
- Girardin N., Hatzfeld D., Guiraud R. (1977) - La sismicité du nord de l'Algérie C.R.somm. soc. géol. France, fasc. 2, p. 95-100.
- Hatzfeld D. (1978) - Etude sismotectonique de la zone de collision Ibéro-Maghrébine. Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Grenoble.
- Lepvrier C., Magne J., Sigal J. (1970)- Données stratigraphiques et structurales sur les formations telliennes d'une partie du tell septentrional. Bull. Soc. Géol. France, 7e série, t. 12, No5, p. 794-804.
- Roussel J. (1973) - L'activité sismique en Algérie de 1951 à 1970 inclus. Bull. Soc. His. Nat. Afr. Nord, t 64, f.3 et 4 Alger.
- Rothé J.P. (1950) - Les séismes de Kherrata et la sismicité de l'Algérie. Bull. Ser. Carte géologique de l'Algérie, 4e série, No 3, Alger.
- Rothé J.P., Lepvrier C., Truillet R. (1977) - Les déformations liées au séisme de 1954 d'El-Asnam. Bull. Soc. Géol. France, 7e série, t. 19, No 3, p.641-644.
- Shirokova E.I. (1972) - Stress pattern and probable motion in the earthquake foci of the Asia-Mediterranean seismic Belt, in field of the earth's elastic stresses and mechanism of earthquake foci. Publishing House Nanka, Moscou.
- Wittlinger G. (1980) - Etude de la sismicité en champ proche par un réseau sismologique à faible ouverture : application au Frioul (Italie) et au gisement de Lacq (France). Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Strasbourg.

A N N E X E II

Liste des répliques localisées dans la région d'El Asnam
entre le 15 octobre et le 16 novembre 1980

Signification des paramètres

N° : numéro chronologique.

ORIGINE : heure origine du séisme.

NW : nombre de phases utilisées pour la localisation

GAP : non-couverture azimutale.

DMIN : distance (km) à la station la plus proche.

RMS : résidu quadratique moyen (seconde).

ERH : erreur standard (km) sur la position de l'épicentre.

ERZ : erreur standard (km) sur la profondeur du foyer.

N°	DATE	ORIGINE	LATde	LONGde	PROFr	MAG	NI	GAP	DMII	RMS	ERH	ERZ
1	801015	1829	11.97	36N 4.39	1E20.70	6.09	4.2	9 112	8.0	.08	.8	2.3
2	801015	1843	45.42	36N18.33	1E44.52	3.87	3.2	9 243	10.3	.10	1.9	8.2
3	801015	2130	57.56	35N44.27	1E31.05	2.50	3.9	9 312	34.5	.12	9.9167.3	
4	801015	2147	18.49	36N17.62	1E34.74	6.40	3.5	9 133	8.6	.07	.6	1.9
5	801016	9	1.96	36N20.76	1E44.58	5.53	3.9	9 253	9.1	.11	2.3	3.0
6	801016	46	29.44	36N 7.69	1E23.51	6.68	3.2	9 83	10.3	.10	.6	2.2
7	801016	51	39.97	36N11.00	1E45.76	1.57	3.8	9 249	20.4	.05	.9	71.1
8	801016	754	57.04	36N 6.51	1E22.90	7.30	2.9	9 92	8.5	.08	.6	1.8
9	801016	814	3.06	36N20.89	1E42.49	1.78	3.5	9 240	6.0	.07	1.1	.6
10	801016	1127	25.92	36N 3.99	1E21.31	9.36	3.9	9 121	6.9	.10	1.1	2.1
11	801016	1129	19.90	36N20.61	1E42.43	11.75	2.8	8 238	11.6	.14	3.5	4.9
12	801016	1220	9.28	36N19.97	1E39.79	.02	3.1	8 208	2.8	.17	2.8	2.5
13	801016	1226	32.98	36N21.72	1E40.03	7.52	2.7	9 219	2.5	.09	1.5	1.6
14	801016	1328	46.78	36N11.73	1E44.62	2.79	2.8	10 241	8.8	.17	2.3222.5	
15	801016	1593	39.17	36N21.16	1E43.42	1.87	3.1	10 248	7.3	.11	1.7	.9
16	801016	1516	15.62	36N 5.58	1E29.34	9.35	2.1	10 110	8.4	.08	.6	1.6
17	801016	1703	48.43	36N11.26	1E33.86	4.69	3.4	10 79	7.3	.06	.3	1.3
18	801016	2123	22.07	36N19.67	1E44.68	2.78	2.9	8 249	9.6	.11	2.1152.5	
19	801016	2124	15.88	36N 4.68	1E21.50	6.37	3.4	9 106	7.3	.13	1.3	3.6
20	801017	17	52.52	36N13.99	1E32.73	2.52	2.8	10 83	10.1	.07	.3	84.4
21	801017	26	13.48	36N12.98	1E37.31	2.67	2.9	10 135	3.5	.11	.8	.9
22	801017	30	20.21	36N12.64	1E31.32	2.50	2.7	9 66	11.3	.09	.5125.2	
23	801017	315	31.32	36N19.72	1E36.76	5.46	2.6	10 123	3.7	.09	.8	1.9
24	801017	428	56.98	36N20.66	1E42.90	1.49	4.2	11 242	6.6	.08	1.2	.7
25	801017	431	43.41	36N20.79	1E44.81	.80	2.7	10 255	9.4	.14	2.6	1.4
26	801017	609	50.64	36N20.92	1E43.35	1.32	3.1	9 246	7.2	.10	1.7	1.1
27	801017	647	36.64	36N13.66	1E30.65	2.28	2.4	10 67	12.8	.07	.3	86.2
28	801017	842	57.10	36N 2.65	1E19.63	6.30	4.2	9 150	5.4	.17	2.4	5.2
29	801017	1632	28.74	36N14.84	1E28.80	7.52	2.7	13 72	3.2	.13	.6	1.1
30	801017	1700	44.02	36N14.66	1E30.81	8.06	2.3	11 72	4.3	.09	.4	1.1
31	801017	1919	50.62	36N25.15	1E42.16	11.25	3.2	13 280	7.5	.09	2.2	1.6
32	801017	2031	42.82	36N13.57	1E29.78	4.44	2.4	13 65	1.8	.09	.4	.7
33	801017	2045	32.01	36N13.85	1E31.47	4.55	2.2	11 73	4.3	.08	.4	1.1
34	801017	2240	5.54	36N 3.54	1E21.07	8.54	3.2	13 132	6.9	.09	.8	1.7
35	801018	16	37.95	36N20.67	1E45.14	1.80	3.5	13 256	9.9	.10	1.6	.9
36	801018	100	29.66	36N 8.04	1E23.32	9.08	2.8	12 86	9.5	.10	.5	1.3
37	801018	427	6.01	36N16.16	1E35.77	2.94	3.1	12 128	9.7	.06	.3	78.6
38	801018	434	16.91	36N18.62	1E39.47	6.21	3.5	12 200	4.8	.20	2.1	3.8
39	801018	441	45.26	36N23.19	1E43.79	4.28	3.5	11 265	8.8	.10	2.0	3.1
40	801018	541	12.55	36N13.09	1E41.48	1.50	2.9	12 217	5.0	.10	.9	.8
41	801018	637	29.62	36N13.11	1E31.02	6.62	2.8	11 67	3.3	.07	.3	.8
42	801018	656	57.74	36N28.39	1E45.28	1.93	3.4	11 256	10.2	.10	1.7	1.0
43	801018	1023	48.07	36N12.39	1E29.35	6.74	2.8	11 59	1.4	.07	.4	.7
44	801018	1106	41.63	36N18.08	1E35.87	9.27	3.1	10 125	6.8	.07	.6	1.5
45	801018	1313	56.61	36N14.35	1E44.73	7.90	3.4	11 239	10.4	.06	.9	1.2
46	801018	1543	52.49	36N23.37	1E39.29	9.51	2.7	9 225	4.4	.08	2.0	2.0
47	801018	1558	34.72	36N13.01	1E28.12	5.87	2.3	9 73	1.0	.08	.5	.8
48	801018	1650	35.23	36N23.30	1E42.84	6.48	2.9	10 261	7.6	.06	1.4	1.1
49	801018	1802	.45	35N55.14	1E27.94	2.57	3.2	14 261	13.9	.13	2.3159.3	
50	801018	1821	5.11	36N18.72	1E32.44	8.17	2.8	11 99	10.1	.08	.5	1.8
51	801018	1834	24.75	36N 5.45	1E21.41	7.73	2.3	9 111	8.3	.10	.9	2.4
52	801018	2017	12.25	36N 9.15	1E24.83	9.12	2.8	11 69	9.3	.12	.6	1.8
53	801019	19	48.66	36N19.63	1E43.29	4.05	3.3	13 239	7.6	.11	1.4	3.6
54	801019	206	11.09	36N20.64	1E38.04	9.87	3.1	12 136	1.1	.09	1.0	1.6
55	801019	215	21.58	36N10.77	1E32.30	5.95	3.2	13 74	6.7	.09	.4	1.2
56	801019	303	26.76	36N 4.62	1E23.76	7.05	2.9	10 176	4.9	.10	1.3	2.4
57	801019	316	2.54	36N 4.43	1E23.67	7.31	2.6	10 181	4.6	.12	1.5	2.7
58	801019	409	19.65	36N12.52	1E37.82	2.92	3.3	13 140	2.3	.08	.5	.5
59	801019	430	14.35	36N 7.34	1E21.69	10.69	2.2	10 174	8.7	.13	1.2	2.3

60	801019	859	29.69	36N 7.86	1E23.77	2.58	3.3	9 190	10.3	.13	1.2177.0	
61	801019	957	9.99	36N 5.58	1E44.03	.06	2.7	8 289	12.0	.14	5.7	2.6
62	801019	1053	6.24	36N 8.30	1E24.15	4.55	2.4	10 78	10.3	.14	.8	5.2
63	801019	1104	12.01	36N16.30	1E27.40	8.65	3.1	11 81	6.4	.08	.4	1.2
64	801019	1703	46.34	36N14.31	1E38.43	7.18	2.9	9 174	5.2	.04	.4	.8
65	801019	1706	39.84	36N 5.14	1E29.97	6.22	3.3	13 120	4.8	.10	.5	1.2
66	801019	1707	48.18	36N 4.37	1E23.22	6.50	3.9	12 103	5.0	.09	.6	1.4
67	801019	1952	6.47	36N11.59	1E30.07	2.77	3.8	14 58	3.2	.08	.3	.4
68	801019	2017	58.76	36N 8.55	1E26.02	5.94	2.2	10 65	9.2	.11	.6	2.4
69	801019	2140	32.20	36N20.37	1E42.99	1.48	3.8	11 241	6.8	.05	.7	.4
70	801019	2147	23.59	35N55.70	1E27.84	2.26	4.0	11 257	12.9	.14	2.5174.3	
71	801019	2228	36.63	36N 2.03	1E18.95	8.78	2.6	11 165	4.0	.13	1.9	2.9
72	801019	2251	24.00	36N11.90	1E44.78	3.00	2.8	11 241	9.1	.10	1.3131.0	
73	801019	2303	43.97	36N13.36	1E31.06	5.69	2.6	11 73	4.6	.08	.4	1.0
74	801020	54	50.84	36N16.12	1E36.50	8.54	2.7	13 140	9.2	.06	.4	1.1
75	801020	117	54.67	36N14.05	1E31.36	5.19	3.4	13 74	4.3	.06	.3	.7
76	801020	151	57.65	36N31.40	1E41.30	7.40	3.3	13 291	13.0	.10	3.2	2.2
77	801020	204	43.55	36N43.94	1E30.04	22.71	2.8	10 305	36.2	.15	12.5	9.9
78	801020	210	51.42	36N21.41	1E39.70	7.97	3.4	13 213	1.9	.10	1.2	1.4
79	801020	215	5.59	36N 7.78	1E36.81	4.55	2.9	10 160	7.5	.04	.4	1.5
80	801020	441	24.35	36N22.30	1E38.40	5.70	3.1	9 194	2.2	.05	.7	.9
81	801020	554	18.47	36N28.86	1E39.00	4.19	2.8	9 281	7.3	.06	2.2	1.8
82	801020	752	5.06	36N19.92	1E37.53	7.68	3.7	12 139	2.6	.09	.9	1.6
83	801020	859	32.86	36N20.01	1E37.34	7.59	2.7	10 131	2.7	.08	.9	1.6
84	801020	915	14.15	36N15.84	1E34.98	3.39	2.8	7 146	10.6	.05	.4	7.3
85	801020	1040	44.32	36N16.21	1E38.62	8.42	2.9	10 180	8.7	.06	.6	1.2
86	801020	1054	19.38	36N14.91	1E38.65	7.31	3.1	9 180	6.3	.06	.7	1.3
87	801020	1123	14.41	36N11.42	1E30.81	2.73	3.4	10 62	4.2	.12	.6	.8
88	801020	1427	25.04	36N32.96	1E37.26	2.50	2.7	7 287	14.3	.13	6.1200.5	
89	801020	1536	3.77	36N 6.74	1E22.68	4.13	2.4	10 97	9.1	.14	.9	6.9
90	801020	1702	23.95	36N19.08	1E43.88	4.00	3.9	11 242	8.8	.09	1.4	4.4
91	801020	1719	22.68	36N22.13	1E39.64	9.63	3.1	11 217	2.5	.08	1.3	1.4
92	801020	1826	40.18	36N11.77	1E34.86	4.23	3.8	11 77	5.9	.05	.3	1.2
93	801020	2011	13.16	36N24.65	1E38.56	5.67	3.2	9 244	2.4	.09	4.8	4.2
94	801020	2018	39.64	35N57.68	1E42.71	2.35	2.6	8 289	13.4	.09	3.6126.7	
95	801020	2141	24.06	36N18.76	1E43.00	2.40	3.2	11 234	8.0	.08	1.0	.7
96	801020	2222	41.15	35N58.54	1E23.83	1.43	2.9	11 228	7.5	.13	1.5	.9
97	801020	2340	13.65	36N 8.67	1E25.98	5.15	3.4	11 64	9.1	.10	.5	2.6
98	801021	43	8.66	36N 8.81	1E25.82	6.17	3.1	11 65	9.0	.14	.7	2.8
99	801021	432	53.53	36N 8.11	1E25.87	5.86	3.5	11				

119	801022	1315	32.44	36H	1.53	IE24.91	2.91	2.4	16	186	1.7	.11	.7	.5	178	801025	2202	17.10	36H	1.97	IE23.60	4.41	3.2	19	179	2.9	.14	.7	1.4
120	801022	1520	12.84	36H	9.25	IE25.29	8.58	2.3	15	65	5.8	.14	.6	1.4	179	801025	2334	26.45	36H12.19	IE27.64	8.08	3.2	21	46	2.1	.12	.4	.8	
121	801022	1559	1.32	36H13.42	IE33.96	5.63	2.4	14	91	7.8	.10	.4	1.6	180	801026	28	29.67	36H24.37	IE41.22	6.37	2.6	20	206	6.3	.14	1.1	1.5		
122	801022	1606	27.47	36N12.15	IE28.27	9.00	3.2	17	47	1.8	.10	.4	.7	181	801026	228	9.87	36H26.88	IE37.91	.78	4.5	21	227	3.2	.16	1.4	.9		
123	801022	1623	14.49	36N24.78	IE38.64	6.02	4.8	16	249	2.4	.13	2.0	1.9	182	801026	239	52.31	36H26.72	IE37.51	2.09	2.9	20	225	2.8	.15	1.2	.6		
124	801022	2003	39.94	36H12.70	IE29.63	5.10	2.2	12	76	1.4	.14	.7	1.2	183	801026	254	6.60	36H19.77	IE37.34	5.38	3.0	20	74	3.0	.10	.5	1.1		
125	801022	2203	7.04	36H13.67	IE31.41	9.72	2.9	11	81	4.1	.09	.5	1.1	184	801026	256	41.19	36H27.01	IE38.22	1.40	2.9	20	229	3.7	.14	1.3	.7		
126	801022	2238	52.64	36H12.92	IE27.69	11.20	2.7	15	61	1.7	.12	.5	1.1	185	801026	424	4.94	36H	6.10	IE21.75	5.80	3.0	20	81	8.8	.14	.6	2.5	
127	801022	2244	39.37	36H17.26	IE41.37	.31	3.5	15	112	1.4	.09	.5	.7	186	801026	554	39.86	36H14.57	IE38.82	5.99	3.0	19	114	5.0	.10	.4	1.2		
128	801023	341	5.06	36N23.74	IE38.52	5.19	3.5	15	157	3.4	.12	.9	1.2	187	801026	642	44.55	36H16.30	IE38.67	8.55	3.2	20	181	8.9	.08	.5	.9		
129	801023	432	47.81	36H	9.15	IE25.94	7.29	2.9	11	63	8.3	.14	.7	2.3	188	801026	708	58.61	36H13.23	IE38.92	8.16	1.7	16	125	3.2	.15	.8	1.5	
130	801023	643	49.82	36H17.15	IE46.11	5.80	3.7	16	139	6.0	.08	.9	2.3	189	801026	1155	58.91	36H19.30	IE36.73	2.80	3.1	19	73	4.3	.15	.6	1.0		
131	801023	827	35.54	36H14.86	IE35.14	1.39	2.9	15	65	8.2	.08	.3	.4	190	801026	1259	4.23	36H13.21	IE43.33	.34	2.1	17	163	7.6	.17	.8	1.0		
132	801023	834	56.21	36H15.49	IE31.06	7.52	2.1	10	90	2.5	.09	.5	.8	191	801026	1311	36.65	36H13.66	IE30.28	4.40	2.5	18	47	2.5	.10	.3	.8		
133	801023	906	28.55	35N58.93	IE20.22	1.40	3.1	11	237	7.2	.09	1.4	.7	192	801026	1646	17.12	36N19.51	IE39.42	5.82	2.3	18	116	3.2	.13	.6	1.4		
134	801023	946	40.70	36H14.73	IE39.36	2.96	2.1	12	195	6.0	.09	.6	107.5	193	801026	1652	9.29	36H19.85	IE41.46	.44	2.7	18	135	5.0	.17	.8	.9		
135	801023	956	58.28	36N24.07	IE40.13	3.91	3.1	16	190	4.9	.13	.9	1.9	194	801026	1724	46.07	36H15.59	IE38.90	5.91	2.5	19	109	7.5	.13	.5	1.7		
136	801023	957	54.74	36H26.84	IE44.38	7.42	4.6	14	289	11.2	.12	3.5	2.1	195	801026	2100	36.62	36H21.19	IE41.52	.06	3.0	18	95	4.5	.15	.6	.8		
137	801023	1004	25.00	36H27.13	IE44.34	4.97	2.9	15	288	11.3	.10	2.6	2.9	196	801027	43	34.20	36H19.77	IE36.73	6.56	2.7	19	121	3.6	.11	.5	1.1		
138	801023	1043	13.80	36N29.93	IE47.53	4.41	2.2	12	306	17.8	.09	4.7	10.1	197	801027	242	14.78	36H13.02	IE38.64	2.48	3.1	21	117	2.8	.10	.4	.5		
139	801023	1110	29.72	36H27.25	IE41.77	11.31	2.2	11	284	26.6	.09	2.7	4.0	198	801027	336	3.31	36N22.58	IE38.19	5.99	2.5	18	74	2.8	.18	.9	1.6		
140	801023	1144	39.74	35N56.73	IE26.38	.32	3.2	9	284	10.5	.18	6.5	3.0	199	801027	338	5.96	36H	4.31	IE21.42	7.93	4.2	22	113	7.0	.13	.6	1.6	
141	801023	1300	56.16	36H	8.61	IE24.36	4.78	3.1	9	154	6.4	.15	1.1	200	801027	655	59.73	36H12.76	IE37.29	2.13	2.4	17	76	3.2	.09	.4	.6		
142	801023	1459	42.67	36H13.17	IE37.95	2.55	2.4	9	97	3.3	.09	.6	.6	201	801027	739	59.69	36H13.13	IE26.67	5.40	3.6	22	42	2.7	.13	.4	.8		
143	801023	1540	15.83	36N24.34	IE40.46	5.00	3.2	15	200	5.2	.14	1.2	1.8	202	801027	1432	50.69	36N22.38	IE40.16	5.94	3.0	22	81	3.4	.15	.7	1.4		
144	801023	1621	2.05	36H12.48	IE27.24	5.42	2.9	16	73	2.2	.10	.4	.7	203	801027	1512	15.53	36H14.93	IE43.48	7.36	2.2	14	207	9.5	.09	.7	1.6		
145	801023	1727	2.42	36H24.79	IE40.30	2.80	3.1	15	210	4.8	.11	.9	.5	204	801027	1715	8.64	36H10.76	IE42.95	.64	2.6	22	175	6.4	.09	.5	.6		
146	801023	1757	40.25	36H24.64	IE40.38	1.16	3.3	17	207	4.9	.15	1.1	.9	205	801027	2212	49.93	36H	3.87	IE21.98	7.77	3.5	21	123	5.9	.12	.6	1.5	
147	801023	2114	51.15	36H24.52	IE38.02	6.49	2.8	11	218	1.8	.08	1.7	1.7	206	801027	2355	40.44	36H	2.21	IE24.33	2.94	2.5	17	176	1.7	.07	.4	.3	
148	801023	2252	27.81	36H22.73	IE33.88	1.92	3.5	13	108	4.0	.13	.9	1.1	207	801028	18	25.26	36H24.31	IE41.58	5.78	3.7	21	129	2.9	.13	.9	1.4		
149	801023	2321	36.44	36N26.20	IE44.23	7.26	2.8	15	287	10.7	.13	3.1	2.1	208	801028	341	31.47	36H14.61	IE38.67	6.65	2.2	18	111	5.7	.12	.5	1.3		
150	801024	17	32.02	36N28.89	IE36.66	3.98	3.4	16	236	6.8	.17	1.9	4.0	209	801028	347	38.32	36H11.91	IE30.79	2.59	2.6	22	56	3.6	.09	.3	.3		
151	801024	101	23.23	36N20.49	IE40.61	.26	3.1	16	137	3.3	.15	.8	.9	210	801028	657	11.07	36H13.86	IE44.22	7.48	2.9	20	212	9.3	.12	.8	1.7		
152	801024	119	12.18	36N10.89	IE44.75	.99	2.7	16	189	9.1	.08	.5	.6	211	801028	716	40.20	36H14.09	IE44.63	4.15	2.1	15	217	10.0	.10	.8	4.6		
153	801024	133	43.99	36H16.81	IE41.09	2.31	2.3	10	117	8.8	.08	.5	.5	212	801028	1026	40.17	36H15.15	IE38.81	8.35	2.4	15	110	6.7	.09	.4	1.0		
154	801024	438	42.59	36H26.70	IE36.80	.69	3.0	15	224	2.8	.16	1.5	1.0	213	801028	1130	33.52	36H15.21	IE38.95	4.27	2.2	17	112	6.8	.11	.5	2.3		
155	801024	918	37.58	36H14.27	IE48.15	3.47	3.1	16	200	7.9	.13	1.7	15.9	214	801028	1307	28.25	36H	4.76	IE21.15	6.30	3.0	19	104	7.8	.08	.4	1.3	
156	801024	936	51.71	36H17.80	IE39.88	1.02	2.7	14	103	6.4	.10	.5	.6	215	801028	1330	28.34	36H14.46	IE32.16	6.91	2.6	16	45	3.8	.10	.4	.9		
157	801024	1244	37.30	36H16.51	IE40.73	3.06	2.8	14	122	9.7	.13	.7	156.1	216	801028	1442	37.39	36H22.12	IE37.27	2.98	2.7	18	69	5.8	.11	.4	126.5		
158	801024	1258	.28	36H22.23	IE36.91	10.34	4.2	15	181	8.5	.13	.9	1.7	217	801028	2009	52.73	36N21.39	IE37.93	5.96	3.0	20	60	1.0	.12	.5	1.0		
159	801024	1326	20.84	36H12.30	IE43.36	.33	3.8	16	167	7.1	.11	.6	.9	218	801028	2035	14.03	36H18.05	IE43.06	2.45	3.7	21	110	4.0	.10	.4	.7		
160	801024	1511	49.52	36N20.95	IE40.78	1.62	2.9	15	144	3.4	.17	1.0	1.1	219	801028	2144	40.98	36N20.80	IE41.85	2.15	3.7	20	98	5.0	.12	.5	.7		
161	801024	1537	.92	36H17.81	IE34.73	6.89	2.8	18	65	7.6	.10	.4	1.2	220	801029	130	10.86	36N20.24	IE43.49	2.60	4.4	23	114	7.6	.10	.4	.6		
162	801024	1617	34.21	36H12.30	IE36.65	1.89	2.8	18	62	3.5	.10	.3	.4	221	801029	201	46.80	36H21.89	IE37.27	5.66	2.3	18	66	2.4	.13	.6	1.2		
163	801024	1618	47.01	36H24.13	IE36.44	1.44	3.3	19	116	2.3	.11	.6	.6	222	801029	428	1.93	36H21.69	IE36.88	5.41	2.5	18	68	2.7	.12	.5	1.1		
164	801024	1625	49.19	36N23.36	IE37.76	2.97	4.1	20	132	3.6	.24	1.3	1.1	223	801029	449	39.99	36H13.97	IE31.67	4.24	2.4	20	47	4.7	.09	.3	.8		
165	801024	1707	35.48	36H13.53	IE27.22	7.73	2.7	19	44	2.1	.11	.4	.9	224	801029	507	32.16	36H12.63	IE38.44	2.22	2.7	19	109	2.1	.10	.4	.5		
166	801024	2105	29.74	36H18.32	IE41.12	1.32	3.2	19	115	3.4	.12	.5	.6	225	801029	851	52.53	36H12.02	IE39.24	5.72	2.2	19	136	1.2	.09	.4	.8		
167	801024	2159	6.41	36H	6.39	IE23.14	6.69	3.7	20	72	8.2	.15	.6	2.2	226	801029	1200	4.06	36H13.53	IE42.00	9.31	2.4	16	150	6.1	.11	.6	1.2	
168	801024	2244	16.48	36H12.08	IE50.70	2.50	2.9	20	237	11.7	.13	1.2	144.0	227	801029	1420													

473	801114	1438	32.37	36N16.05	1E38.33	5.59	2.5	15	64	8.4	.10	.4	1.3
474	801114	1455	52.91	36N16.28	1E27.45	8.40	2.1	14	88	3.7	.13	.6	1.0
475	801114	1688	5.76	36N13.21	1E30.73	7.07	2.6	17	57	2.9	.09	.3	.8
476	801114	1914	59.79	36N14.10	1E29.36	10.03	2.5	15	59	6.5	.10	.4	1.2
477	801114	2255	49.00	36N13.74	1E34.42	5.14	2.6	19	40	5.8	.09	.3	1.0
478	801114	2352	30.68	36N13.59	1E43.61	5.47	0.0	11	128	8.2	.10	.7	2.1
479	801115	12	27.67	36N13.59	1E40.70	6.77	4.0	21	96	4.8	.09	.4	1.0
480	801115	543	10.94	36N12.53	1E29.31	6.20	3.0	20	48	1.2	.09	.3	.7
481	801115	555	10.93	36N 2.36	1E19.22	8.48	2.6	16	156	4.6	.11	1.3	2.1
482	801115	658	11.34	36N14.64	1E41.75	8.00	3.2	20	88	3.6	.10	.5	1.2
483	801115	1034	5.15	36N26.63	1E36.41	1.99	3.4	17	235	2.8	.15	1.4	.6
484	801115	1140	54.29	36N25.97	1E36.15	2.09	3.0	14	230	2.0	.15	1.3	.6
485	801115	1400	15.19	36N22.18	1E39.58	6.92	2.3	14	178	2.6	.17	1.2	1.3
486	801115	1456	8.07	36N11.67	1E44.11	1.15	2.4	14	137	7.5	.09	.5	.7
487	801115	1920	35.22	36N18.34	1E43.74	2.25	3.0	15	128	5.1	.15	.8	1.1
488	801115	2136	54.60	36N18.48	1E42.35	1.08	2.6	14	123	7.5	.13	.6	.7
489	801115	2316	26.95	36N24.99	1E36.24	1.24	3.6	17	175	1.4	.12	.8	.6
490	801116	121	46.54	36N20.09	1E35.31	5.49	2.5	15	56	5.1	.15	.7	1.9
491	801116	306	20.33	36N18.04	1E43.00	2.89	2.4	15	120	8.8	.13	.6	156.5
492	801116	407	5.95	36N13.66	1E33.00	6.99	2.4	16	50	5.3	.10	.4	1.0
493	801116	419	40.79	36N14.07	1E29.02	3.39	2.8	16	49	2.0	.11	.4	1.0
494	801116	812	20.20	36N16.49	1E42.82	2.52	2.1	12	99	10.7	.13	.6	155.1

B I B L I O G R A P H I E

- Adams R.D., (1977)- Survey of practice in determining magnitudes of near earthquakes. World data center A, report SE-8.
- Aïssaoui D., Ruhland M., (1981)- Premières données sur les déformations de la zone Beni-Rached El-Abadia. Bull. Sciences de la Terre, n° 1, Alger, p. 67-78.
- Aki K., Richards P.G., (1980)- Quantitative seismology theory and methods. Freeman and Co., San Francisco.
- Benaïssa A., (1975)- Sur les séismes et la sismicité de l'Algérie de 1971 à 1975. Mémoire de D.E.A., Université d'Alger.
- Benhallou H., Ferrer A., Roussel J., (1971)- Catalogue des séismes algériens de 1951 à 1970. I.M.P.G.A., publication n° 3, Alger.
- Benhallou H., Roussel J., (1971)- Sur les séismes et la sismicité de l'Algérie de 1951 à 1970. Note I.M.P.G.A., n° 4.
- Biju Duval B., Dercourt J., Le Pichon X., (1976)- La genèse de la Méditerranée. La Recherche n° 71, p. 811-822.
- Bonnin J., (1978)- Evolution géodynamique de la ligne Açores-Gibraltar. Thèse, Strasbourg.
- Braumbaugh D.S., (1979)- Classical focal mechanism techniques for body waves. Geophysical Surveys 3, p. 297-329.
- Brives A., Dalloni M., (1922)- Le tremblement de terre du 25 août 1922 et la structure géologique de la région de Ténès-Cavaignac (Algérie). C.R.A.S., t. 175, p. 527-529.
- Chatelain J.C., (1978)- Etude fine de la sismicité en zone de collision continentale au moyen d'un réseau de stations portables : la région Hindu-Kush Pamir. Thèse de Doctorat de 3e cycle, Université de Grenoble.
- Cisternas A., Gaulon R., Dorel J., Lelievre D., Lauras P. (1981)- Modelling the El Asnam earthquake. Congrès d'Alger, 15 et 16 juin 1981.
- Cohen C.R., (1980)- Plate tectonic model for the oligo-miocene evolution of the western mediterranean. Tectonophysics, 68, p. 283-311.
- Comelin F., de la Motte Ph., Bernard J., (1731)- Voyage pour la rédemption des captifs, aux royaumes d'Alger et de Tunis, fait en 1720. Seconde édition, chez P. Machuel-Rouen.
- Das S., Aki D., (1977)- Fault plane with barriers : a versatile earthquake model. J. Geophys. Res., vol. 82, p. 5658-5670.
- Delteil J., (1974)- Tectonique de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du Tell Oranais oriental. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Nice.

- Deschamps A., (1981)- Etude d'ondes télésismiques longues périodes (séisme d'El Asnam du 1er octobre 1980). Congrès d'Alger du 15 et 16 juin 1981.
- Dewey J.F., Pitman W.C., Ryan W.B.F., Bonnin J., (1973)- Plate tectonics and evolution of the Alpine system. Geol. Soc. Am. Bull., 84, p. 3137-3180.
- Dorel J., (1981)- Détermination relative du séisme d'El Asnam du 10 octobre 1980 et des répliques principales. Congrès d'Alger des 15 et 16 juin 1981.
- Fréchet J., (1978)- Sismicité du sud-est de la France et une nouvelle méthode de zonage sismique. Thèse de Doctorat de 3e cycle, Université de Grenoble.
- Gagnepain J., Haessler H., Modiano T., (1981)- The pyrenean earthquake of february 28, 1980 ; an example of complex faulting. Soumis à publication.
- Grandjean A., (1954)- Séismes d'Algérie de 1940 à 1950. Ann. de l'Inst. de Physique du Globe de Strasbourg, tome VII, 3e partie, Géophysique.
- Groupe de recherche néotectonique de l'arc de Gibraltar, (1977)- Conclusions générales. Signification géodynamique. Bull. Soc. Géol. Fr., n° 3, p. 605-614.
- Hatzfeld D., (1978)- Etude sismotectonique de la zone de collision Ibero-Maghrebine. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Grenoble.
- Heé A., (1923)- Note sur le tremblement de terre du 25 août 1922. Ann. de l'Inst. de Phys. du Globe de Strasbourg, 2e partie : sismologie.
- Heé A., (1933)- La fréquence des tremblements de terre en Algérie de 1911 à 1932. Thèse, Université de Strasbourg.
- Heé A., (1934)- Note sur le tremblement de terre d'Algérie du 7 septembre. Ann. Inst. Phys. du Globe de Strasbourg, 2e partie : sismologie, p. 124-127.
- Heé A., (1937)- Note sur le tremblement de terre du 10 février 1937 en Algérie. Ann. Inst. Ph. du Globe de Strasbourg, t. 2, 2e partie : sismologie.
- Heé A., (1950)- Catalogue des séismes algériens de 1850 à 1911. Ann. de l'Inst. de Phys. du Globe de Strasbourg. t. VI, 3e partie : géophysique.
- Hirn A., Hoang Trong P., (1980)- Séisme d'El Asnam : affinement de la localisation de répliques. Sondage sismique de l'hétérogénéité crustale. Projet de recherche I.N.A.G.
- Hoang Trong P., (1981)- Le séisme d'El Asnam (Algérie) du 10 octobre 1980 ; opération de surveillance de l'activité des répliques. Rapport, Strasbourg.
- Ishida M., Kanamori H., (1978)- The foreshock activity of the 1971, San Frnando. Earthquake, California. Bull. Seism. Soc. Am., 68, p. 1265-1279.

- King. G.C.P., Vita-Finzi C., (1981)- Active folding in the algerian earthquake of 10 october 1980. *Nature*, 292.
- Klein F.W., (1978)- Hypocenter location program HYP0INVERSE. U.S. Geological Survey, Open-File Report, 78-694.
- Lee W.H.K., Lahr J.C., (1975)- HYP071 (revised) : a computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes. U.S. Geological Survey, Open-File Report, 75-311.
- Le Pichon X., Francheteau J., Bonnin J., (1973)- Plate tectonics. Ed. Elsevier scientific publishing compagny.
- Lepvrier C., Magné J., Sigal J., (1970)- Données stratigraphiques et structurales sur les formations telliennes d'une partie du Tell- septentrional (secteur compris entre Cherchell, Miliana, El Asnam et Ténès, Algérie). *Bull. Soc. Géol. de France*, t. XII, p. 794-804.
- Lepvrier C., (1981)- Le cadre structural des séismes d'El Asnam (Algérie). *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 292, p. 113-116.
- Mahdjoub Y., Kireche O., Saadallah A., (1981)- Etude des déformations au sol causées lors du séisme du 10 octobre 1980 à El Asnam. Place dans le contexte tectonique alpin et néogène. *Bull. des Sciences de la Terre*, n° 1, Alger, p. 18-58.
- Mansinha L., Smylie D.E., (1971)- The displacement fields of inclined faults. *B.S.S.A.*, 61, p. 1433-1440.
- Mattauer M., (1973)- Les déformations des matériaux de l'écorse terrestre. Ed. Hermann, Paris.
- McKenzie D., Parker R.L., (1967)- The north Pacific : an example of tectonics on a sphere. *Nature*, vol. 216, p. 1276-1280.
- McKenzie D., (1969)- The relation between fault plane solutions for earthquakes and the directions of the principal stresses. *Bull. Seism. Soc. Am.*, vol. 59, p. 591-601.
- McKenzie D., (1970)- Plate tectonics of the Mediterranean region. *Nature*, 226.
- McKenzie D., (1972)- Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 30, p. 109-185.
- McNally K.C., McEvelly T.V., (1977)- Velocity contrast across the San Andreas fault in central California : small-scale variations from P-wave nodal plane distorsion. *Bull. Seism. Soc. Am.*, vol. 67, p. 1565-1576.
- Meghraoui M., Philip H., (1981)- Etude des déformations de surface causées par le tremblement de terre d'El Asnam du 10 octobre 1980. Congrès d'Alger sur le séisme d'El Asnam des 15 et 16 juin 1981.
- Mercier J.L., Mouyaris N., Simeakis C., Roundoyannis T., Angelidhis C., (1979)- Intra-plate deformation : a quantitative study of the faults activated by the 1978 thessaloniki earthquakes. *Nature*, 278.

- Minster J.B., Jordan T.H., (1978)- Present-day plate motions. J. Geophys. Res., Vol. 83, p. 5331-5354.
- Mortgat C.P., Shah H.C., (1978)- Seismic hazard analysis of Algeria. Contrôle technique de la construction, Alger.
- Nejjar S., (1973-74)- Kashf aç-çalçala 'an waçf az zalzala (traité du tremblement de terre). Traduction au français de l'ouvrage de Jalal Ad-Din As-suyut'i. Cahiers du centre universitaire de la recherche scientifique, n° 3, Rabat.
- Ousmer N., Briedj M., Amokrane M., Benzerga F., Berabah M., Becis B., Chempelov A., (1981)- Le séisme d'Ech-Chelif du 10 octobre 1980. Congrès d'Alger, 15 et 16 juin 1981.
- Ouyed M., Meghraoui M., Cisternas A., Deschamps A., Dorel J., Fréchet J., Gaulon R., Hatzfeld D., Philip H., (1981)- Seismotectonic of the El Asnam earthquake. Nature, 292.
- Ouyed M., Hatzfeld D., (1981)- Etude de microsismicité en Algérie du nord. Bull. des Sciences de la Terre, n° 1, Alger, p. 2-17.
- Perrey A., (1847)- Note sur les tremblements de terre en Algérie et dans l'Afrique septentrionale. Mémoires de l'académie des Sciences, arts et belles lettres de Dijon, p. 299-323.
- Philip H., Thomas G., (1977)- Détermination de la direction de raccourcissement de la phase de compression quaternaire en Oranie (Algérie). Revue de géographe physique et de géologie dynamique, vol. XIX, fasc. 4, Paris, p. 315-324.
- Prevot R.W., (1979)- Sismicité superficielle du nord-est de l'Afghanistan. Thèse de Doctorat de 3e cycle, Université de Grenoble.
- Rothé J.P., (1950)- Les séismes de Kherrata et la sismicité de l'Algérie. Bull. Ser. Carte géologique de l'Algérie, 4e série, Géophysique, n° 3.
- Rothé J.P., (1955)- Le tremblement de terre d'Orléansville et la sismicité de l'Algérie. La nature, n° 3237.
- Rothé J.P., Lepvrier C., Truillet R., (1977)- Les déformations liées au séisme de 1954 d'El Asnam (ex-Orléansville-Algérie). Bull. Soc. Géol. France, t. XIX, n° 3, p. 641-644.
- Roussel J., (1973)- Les zones actives et la fréquence des séismes en Algérie (1716-1970), Bull. Soc. Hist. Nat. d'Afrique du nord. t. 64, Fasc. 3 et 4, p. 211-228.
- Roussel J., (1973)- L'activité sismique en Algérie de 1951 à 1970 inclus. Bull. Soc. Hist. Nat. d'Afrique du Nord, t. 64, fasc. 3 et 4, p. 185-210.
- Shirokova E.I., (1967)- General features in the orientation of principal stresses in earthquake foci in the Mediterranean-Asian seismic belt. Izv., earth physics, n° 1, p. 22-36.

- Sieh K.E., (1978)- Prehistoric large earthquakes produced by slip on the San Andreas fault at Pallet Creek, California. J.G.R., 83, p. 3907-3939.
- Soufleris C., Jackson J.A., King G.C.P., Spencer C.P., Papazachos B.C., Scholz C.H., (1982)- The 1978 earthquake sequence near thessaloniki (northern Greece). Geophys. J.R. astro. Soc., vol. 68.
- Tapponnier P., (1977)- Evolution tectonique du système alpin en Méditerranée : poinçonnement et écrasement rigide-plastique. Bull. Soc. Géol. France, t. 19, n° 3, p. 437-460.
- Thévenin J., (1955)- Les effets du séisme du 9 septembre 1954 sur les ouvrages hydrauliques de la région d'Orléansville. Terre et eaux, Alger, 6e ann., 24, p. 14-23.
- Udias A., (1980)- Seismic stresses in the region Azores-Spain-Western Mediterranean. Rock mechanics, suppl. 9, p. 75-84.
- Whitcomb J.H., Allen L.R., Garmany J.D., Hileman J.A., (1973)- San Fernando earthquake series, 1971 : focal mechanisms and tectonics. Reviews of Geophysics and Space Physics, vol. II, p. 693-730.
- Wittlinger G., (1980)- Etude de la sismicité en champ proche par un réseau sismologique à faible ouverture : application au Frioul (Italie) et au gisement de Lacq (France). Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Strasbourg.

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le 1er décembre 1981

Le Président de la thèse



Vu, et permis d'imprimer,

Grenoble, le 4.12.81

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale



Pour le Président,
M. TANCHE
Vice-Président. Assesseur