

Etude microsismique de la région d'Al Hoceima

Taj-Eddine CHERKAOUI, Denis HATZFELD,
Hassan JEBLI, Fida MEDINA & Véronique CAILLOT

تاج الدين الشراوي، دوني هاتزفيلد، حسن جبلي، فداء مدينة وقيرونك كايو

Mots-clés: Maroc, bas Nekor, Al Hoceima, microsismicité, accident du Nekor, subsidence.

ملخص

دراسة ميكروزلزالية لمنطقة الحسيمة. تم وضع شبكة لرصد الزلازل متكونة من 16 محطة، خلال خريف 1989 في ضواحي الحسيمة. وقد تم رصد 328 زلزال من بينها 253 هزة تم تعيينها بدقة تقل عن 2 كلم. هذه الزلزلة كانت موزعة على ثلاث مناطق رئيسية: النكور السفلي، جنوب بني بوغياش وشرق تارگيست. أما انكسار النكور فقد ظل تقريبا هادئا طوال مدة التسجيل. 90,5% من الزلازل يوجد عمق بؤرها بين 4 و 12 كلم.

RESUME

Un réseau sismographique composé de 16 stations a été installé au voisinage immédiat d'Al Hoceima en automne 1989. Sur les 328 séismes identifiés, 253 sont localisés à 2 km près. La sismicité est répartie entre trois régions principales: bas Nekor, au Sud de Béni Bouayach et à l'Est de Targuist. L'accident majeur du Nekor a été presque inactif. 90.5% des séismes ont une profondeur comprise entre 4 et 12 km.

ABSTRACT

Microearthquake study of the Al Hoceima area. A sismographic network consisting of 16 stations was installed near Al Hoceima during the autumn in 1989. Of the 328 earthquakes identified, 253 were localized with an error of 2 km. The seismicity is located in three main areas, lower Nekor, south of Beni Bouayach and east of Targuist. The Nekor fault was inactive. 90.5% of the earthquakes were located in depth between 4 and 12 km.

INTRODUCTION

La ville d'Al Hoceima et ses environs sont parmi les régions les plus sismiques du Maroc; les cartes de sismicité de la région montrent un important alignement sismique de direction générale NE-SW. Nous estimons que la fréquence annuelle d'apparition des séismes d'intensité $\geq V$ (MSK) est égale à 2.4, (CHERKAOUI, en préparation)

Dans le but de mieux localiser la sismicité et de déterminer les mécanismes au foyer (en préparation), le Département de Physique du Globe de l'Institut Scientifique (Rabat) et le Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique (Grenoble), dans le cadre de l'Action Intégrée 88/359, ont effectué une campagne d'enregistrement de microsismicité entre le 13 octobre et le 17 novembre 1989.

Un réseau, composé de 16 stations portables à enregistrement graphique au noir de fumée, a été installé aux environs immédiats de la ville (tabl. I). Ce réseau de surveillance couvrait une superficie de

760 km² environ, il s'étendait de la côte méditerranéenne au Nord à Arba de Taourirt au Sud et de l'oued Nekor à l'Est jusqu'à Beni Hadifa à l'Ouest (fig. 1).

DESCRIPTION DU MATERIEL UTILISE ET INSTALLATION DU RESEAU

Les 16 stations que nous avons utilisées sont de type Sprengnether MEQ 800; chaque station est connectée à un sismomètre à composante verticale de fréquence propre 1 Hz. La vitesse de rotation du tambour a été réglée sur 60 mm/mn ce qui permettait une autonomie de 48 heures.

La station est équipée également d'une horloge interne à quartz qui marque sur le film les tops de la seconde ou les 10 secondes, selon les stations, de la minute et de l'heure. A chaque changement de sismogramme, les tops horaires du Temps Universel (T.U.) sont captés par un récepteur H.B.G. permettant de faire les corrections nécessaires à l'obtention de l'heure T.U. des temps d'arrivée.

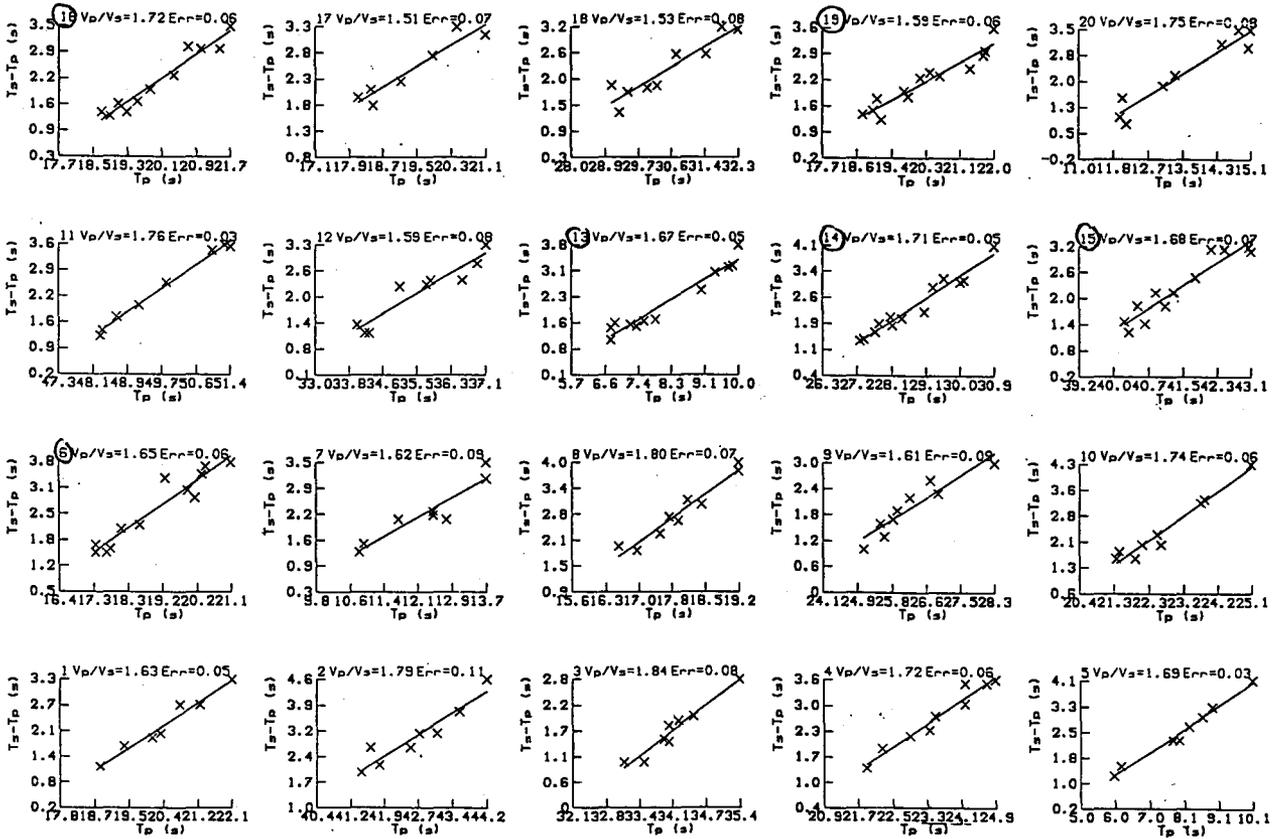


Figure 2: Exemples de droites de Wadati construites pour chaque séisme à partir de la différence des temps d'arrivée des ondes S et P en fonction des temps d'arrivée des ondes P.

DETERMINATION DU RAPPORT V_p/V_s

Pour la détermination du rapport des vitesses V_p/V_s , nous avons préféré travailler avec un certain nombre d'événements au lieu de l'ensemble. Ce choix a été basé sur une première localisation que nous avons faite avec un modèle à demi-espace d'une vitesse $V_p \approx 5.9$ km/s et un rapport $V_p/V_s = 1.70$.

Les "meilleures" localisations ont été sélectionnées en appliquant les critères suivants:

- 1) le nombre de phases P et S utilisé pour la localisation d'un même événement doit être supérieur à 20;
- 2) le résidu quadratique moyen (RMS) doit être inférieur à 0.1 s;
- 3) les incertitudes sur la position de l'épicentre (ERH) et sur la profondeur du foyer (ERZ) doivent être inférieures ou égales à 1.0 km;

- 4) le plus grand angle azimutal (GAP) entre les stations doit être inférieur à 181°.

Après ce tri, 68 événements ont été retenus pour le calcul du rapport V_p/V_s . Celui-ci a été déterminé par la méthode de Wadati.

Méthode de Wadati

En construisant, pour chaque séisme, un graphe représentant la différence des temps d'arrivée des ondes S et P ($T_s - T_p$) en fonction des temps d'arrivée des ondes P (T_p), nous obtenons ainsi une droite dont la pente est égale à $1 - V_p/V_s$ d'où le rapport V_p/V_s (fig. 2).

Nous avons effectué ce calcul pour les 68 événements sélectionnés en éliminant les valeurs qui s'écartaient de $\pm 2\sigma$ de la droite. Le rapport moyen calculé sur l'ensemble des valeurs est égal à $V_p/V_s = 1.690 \pm 0.098$.

DETERMINATION DU MODELE DE VITESSE

Dans un premier temps, nous avons utilisé un modèle à demi-espace avec une vitesse $V_p = 5.9$ km/s et avons effectué une première localisation des 328 événements, ceci nous a permis de faire un premier tri en ne retenant que les séismes dont les ERH et ERZ sont ≤ 1.0 km, le RMS ≤ 0.1 s, le nombre de phases utilisé pour la localisation est ≥ 15 et l'angle azimutal est $< 181^\circ$. A l'issue de ce tri, 131 séismes ont été retenus. Un deuxième tri a été effectué où 27 séismes, dont la profondeur est ≤ 7.0 km, sont retenus. Ces séismes ont été relocalisés en utilisant un modèle à demi-espace dont la vitesse varie entre 5.0 et 6.5 km/s. Le RMS moyen calculé sur l'ensemble des événements sélectionnés a un minimum pour $V_{p1} = 5.5$ km/s.

Nous avons ensuite utilisé un modèle à une couche dont la vitesse est V_{p1} et l'épaisseur variant entre 2 et 16 km. La vitesse dans la couche inférieure varie entre 5.6 et 6.6 km/s. Nous avons utilisé les 127 séismes dont la profondeur est ≤ 15 km. Le modèle qui donne le meilleur RMS moyen est obtenu pour une épaisseur égale à $e_1 = 6.0$ km pour la couche superficielle et une vitesse $V_{p2} = 5.9$ km/s pour le demi-espace.

Nous avons procédé de la même façon pour un modèle à deux couches; nous avons fait varier l'épaisseur de la deuxième couche entre 7 et 16 km, et avons testé des vitesses entre 6.0 et 6.3 km/s dans la couche inférieure. Le meilleur RMS moyen calculé sur les 131 séismes apparaît pour une épaisseur $e_2 = 4$ km et une vitesse $V_{p3} = 6.2$ km/s.

Nous avons reporté sur la figure 3 la variation du RMS moyen pour un modèle à une couche et à deux couches. Le tableau II, donne le modèle de vitesse final qui a été adopté pour la localisation des épicentres.

DISTRIBUTION SPATIALE DES EPICENTRES

PRECISION DES LOCALISATIONS

La précision des localisations est fonction de plusieurs paramètres: la couverture azimutale (GAP), la distance épicentrale entre la station la plus proche et l'épicentre (DMIN), le nombre de phases utilisées pour la localisation, les incertitudes sur la localisation (ERH) et sur la profondeur du foyer (ERZ) et le résidu quadratique moyen (RMS).

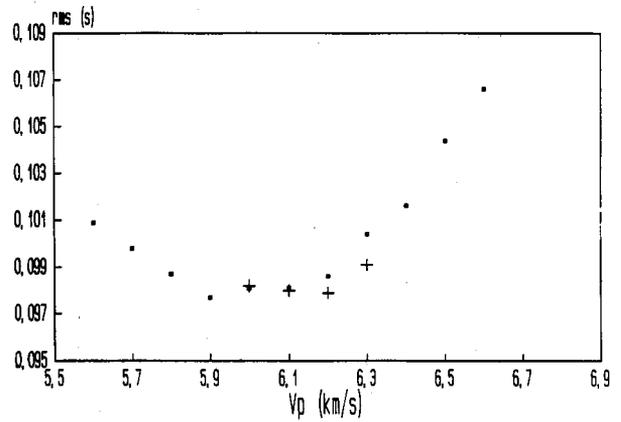


Figure 3: Diagramme de variation du RMS moyen: · = variation du RMS moyen pour les modèles à une couche en utilisant 127 séismes sélectionnés. Le minimum apparaît pour $V_p = 5.9$ km/s. + = variation du RMS moyen pour les modèles à deux couches en utilisant 131 séismes sélectionnés. Le minimum apparaît pour $V_p = 6.2$ km/s.

Tableau II: Modèle de vitesse final adopté pour la localisation des séismes.

Profondeur (km)	V_p (km/s)	V_s (km/s)
00.0	5.5	3.23
06.0	5.9	3.47
10.0	6.2	3.65
30.0	8.0	4.71

Une précision importante sur les localisations des épicentres est indispensable pour une meilleure interprétation sismotectonique et pour pouvoir corrélérer la sismicité à la géologie de surface. HATZFELD & al. (1987) pensent que les meilleures localisations sont celles qui varient peu en utilisant différents modèles de vitesses plausibles: ceux qui donnent les meilleurs résultats lors des tests précédents. En effet, CHRISTODOULOU (1986) avait constaté, en effectuant plusieurs tests, que la position de l'épicentre est peu influencée par le changement du modèle de vitesse.

CHOIX DES LOCALISATIONS

Nous avons localisé l'ensemble des événements (328) en utilisant les trois modèles de vitesses plausibles: le modèle à une couche, le modèle à deux couches et le modèle multicouches que nous avons adopté comme modèle final. Nous avons ensuite éliminé tous les séismes qui ont "bougé" de plus de 5.0 km lors des trois localisations. A la suite de ce tri, 296 événements ont été retenus, les magnitudes des séismes sont comprises entre 0.3 et 2.9.

Un deuxième tri a été effectué sur les 296 séismes, en ne gardant que ceux dont les ERH et ERZ sont ≤ 2.0 km, le RMS ≤ 0.2 s et dont le nombre de phases est ≥ 10 . Ce tri laisse 253 événements dont les localisations sont les plus fiables.

CARTE DE SISMICITE

Sur la carte de sismicité (fig. 4) nous observons quatre groupes d'épicentres bien distincts, séparés par des lacunes de sismicité.

1) Le premier groupe d'épicentres, orienté sensiblement NNW-SSE, est localisé dans la plaine du bas Nekor. Ce groupe est le plus important sismiquement, il représente à lui seul 43.5 % de la sismicité (le pourcentage est donné par rapport aux 253 séismes). Les magnitudes des séismes sont comprises entre 0.7 et 2.2.

2) Le deuxième groupe est situé au Sud immédiat du précédent, où 77 épicentres (30.4 %) ont été localisés, de magnitudes comprises entre 0.7 et 2.5. Ce groupe se présente sous forme d'une bande, orientée N-S, de 15 km de long sur 8.5 km de large.

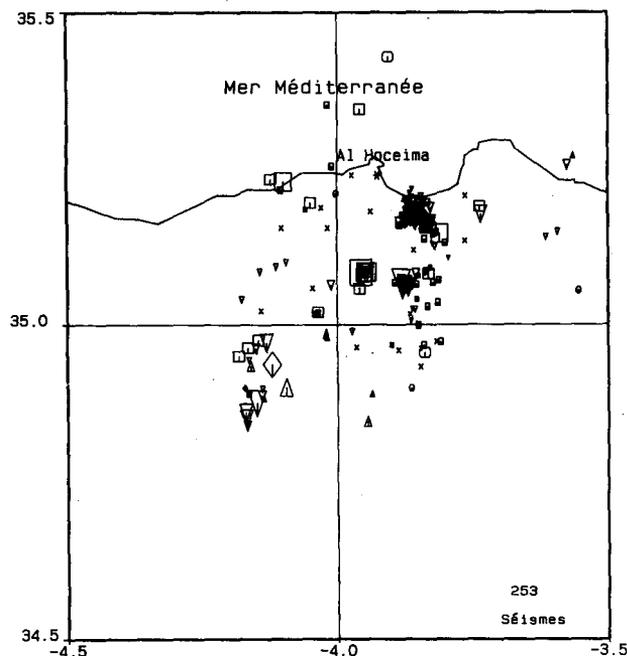
3) Le troisième groupe représente un essaim de 14 épicentres (5.5 %) centré sur 35.1° N - 3.9° W, de magnitudes comprises entre 0.9 et 2.7. Ces épicentres sont probablement des répliques du choc principal qui a eu lieu le 20/10, car avant cette date aucun séisme n'a été détecté par le réseau. L'activité sismique s'est poursuivie jusqu'à la fin de la campagne.

4) le quatrième et dernier groupe est situé à l'Est de Targuist. Les 17 épicentres (6.7 %) se répartissent sur une bande orientée sensiblement NNE-SSW, d'environ 26.5 km de long sur 8.5 km de large. Bien que les séismes soient en dehors du réseau, ils ont été détectés par la totalité des stations. Les magnitudes des séismes étaient comprises entre 1.0 et 3.0, ceci souligne l'importance de l'activité sismique dans cette zone.

RELATION ENTRE LA SISMICITE ET LA GEOLOGIE DE SURFACE

Nous avons projeté les 253 événements les mieux localisés sur une carte représentant les accidents reconnus dans la région de notre étude (fig. 5). Deux remarques peuvent déjà être faites:

a) la sismicité se présente comme complexe et diffuse là où les accidents de petites dimensions sont partout présents;



Légende:

M	Profondeur				
	1	2	3	4	5
0 <M<1.0	•	•	v	▲	•
1.0<M<1.5	•	■	v	▲	•
1.5<M<2.0	□	□	v	▲	◇
2.0<M<2.5	□	□	v	▲	◇
2.5<M<3.0	□	□	v	▲	◇

Profondeur:

- 1: $0 \leq h \leq 4$ km
- 2: $4 < h \leq 8$ km
- 3: $8 < h \leq 12$ km
- 4: $12 < h \leq 16$ km
- 5: $h > 16$ km

Figure 4: Carte des localisations des 253 séismes sélectionnés: l'incertitude sur la position de l'épicentre (ERH) et sur la profondeur du foyer (ERZ) est ≤ 2 km, le résidu quadratique moyen (RMS) ≤ 0.2 s et le nombre de phases utilisé pour la localisation est ≥ 10 . Les (x) indiquent l'emplacement des stations MEQ 800 utilisées pendant l'expérience d'Al Hoceima.

b) l'activité sismique de l'accident majeur de Nekor est faible. Deux séismes seulement, de faible magnitude, ont été localisés sur sa partie méridionale.

Dans la plaine du bas Nekor, au SE d'Al Hoceima, l'activité sismique est très intense, celle-ci peut être liée au rejeu des failles méridiennes (à confirmer par les mécanismes au foyer) qui longent la bordure orientale du bassin du bas Nekor (CHOTIN & AIT BRAHIM, 1988; AIT BRAHIM & al., 1990), provoquant ainsi un phénomène de subsidence dans ce bassin.

Ces failles ont joué lors de la phase finimessinienne et sont actives de nos jours; cette

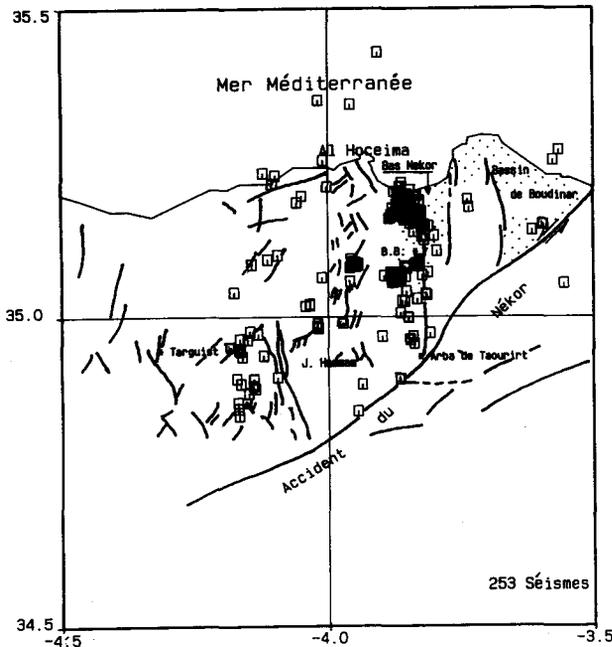


Figure 5: Position des 253 séismes sélectionnés par rapport aux accidents géologiques reconnus dans la région (carte des accidents établis d'après: ANDRIEUX, 1971; FRIZON DE LAMOTTE, 1982; la carte géologique d'Al Hoceima au 1/50.000, 1984). B.B.: Beni Bouayach.

activité est attestée par la formation de cônes torrentiels, l'étagement des terrasses fluviales (ANGELIER & al., 1976) et par l'importance du remplissage quaternaire de la plaine du bas Nekor (FRIZON DE LAMOTTE, 1982).

Au Sud immédiat de Beni Bouayach, nous distinguons à partir de l'Est, un alignement d'épicentres de direction N-S, les profondeurs des foyers sont comprises entre 4 et 8 km. Les séismes se situent sur l'accident méridien qui passe à l'Est de Beni Bouayach et rejoint l'accident du Nekor au Sud.

A l'Ouest de l'alignement précédent, nous distinguons deux concentrations d'épicentres: le premier, dont les foyers sont un peu plus profonds (entre 8 et 12 km), ne semble être lié à aucun accident visible sur le terrain, tandis que le deuxième, se superpose à un réseau de failles de direction dominante N-S.

Le dernier alignement est situé à l'Est de Targuist. Les épicentres sont localisés sur un réseau de failles, de direction dominante N-S, du horst de Jbel Hamman. Ces failles sont tectoniquement actives au Quaternaire récent (AIT BRAHIM & al., 1990). D'autres épicentres ne semblent être liés aucun accident reconnu.

DISTRIBUTION DES SEISMES EN PROFONDEUR

Pour mieux étudier la répartition des séismes en profondeur, nous avons utilisé d'une part, des cartes de sismicité réalisées par tranches de profondeur de 4 km et d'autre part, des coupes verticales qui donnent la distribution des foyers en profondeur.

CARTES DE SISMICITE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR

Nous avons réalisé cinq cartes de sismicité représentant la distribution des 253 séismes, les mieux localisés, par tranches de 4 km de profondeur (fig. 6).

L'examen des cinq cartes de sismicité fait apparaître que 90.5 % des séismes sont localisés à des profondeurs comprises entre 4 et 12 km: 92 séismes sont situés entre 4 et 8 km et 138 entre 8 et 12 km. Ils sont répartis sur les quatre zones de sismicité définies précédemment.

Les séismes très superficiels (profondeur entre 0 et 4 km) ne représentent que 2.8 % dont deux épicentres sont localisés dans la plaine du bas Nekor et un épicentre situé sur l'accident du Nekor.

Les 14 séismes de profondeur comprise entre 12 et 16 km, sont répartis entre la plaine du bas Nekor et le horst de Jbel Hamman.

Enfin, deux séismes seulement ont une profondeur supérieure à 16 km ce qui représente 0.8%. Ces deux séismes sont localisés à l'Est de Targuist, à l'extérieur du réseau, à des profondeurs égales à 17.4 et 31.8 km.

COUPES VERTICALES

Pour une meilleure représentation de la distribution des foyers en profondeur, nous avons réalisé huit coupes verticales, dont six perpendiculaires et parallèles à la direction des trois groupes de séismes: bas Nekor, Beni Bouayach et Est de Targuist, plus deux (perpendiculaire et parallèle) suivant l'accident du Nekor (fig. 7).

La méthode consiste à projeter les foyers des séismes sur un plan orthogonal au plan de faille permettant ainsi de déterminer l'azimut, le pendage et la dimension du plan de faille.

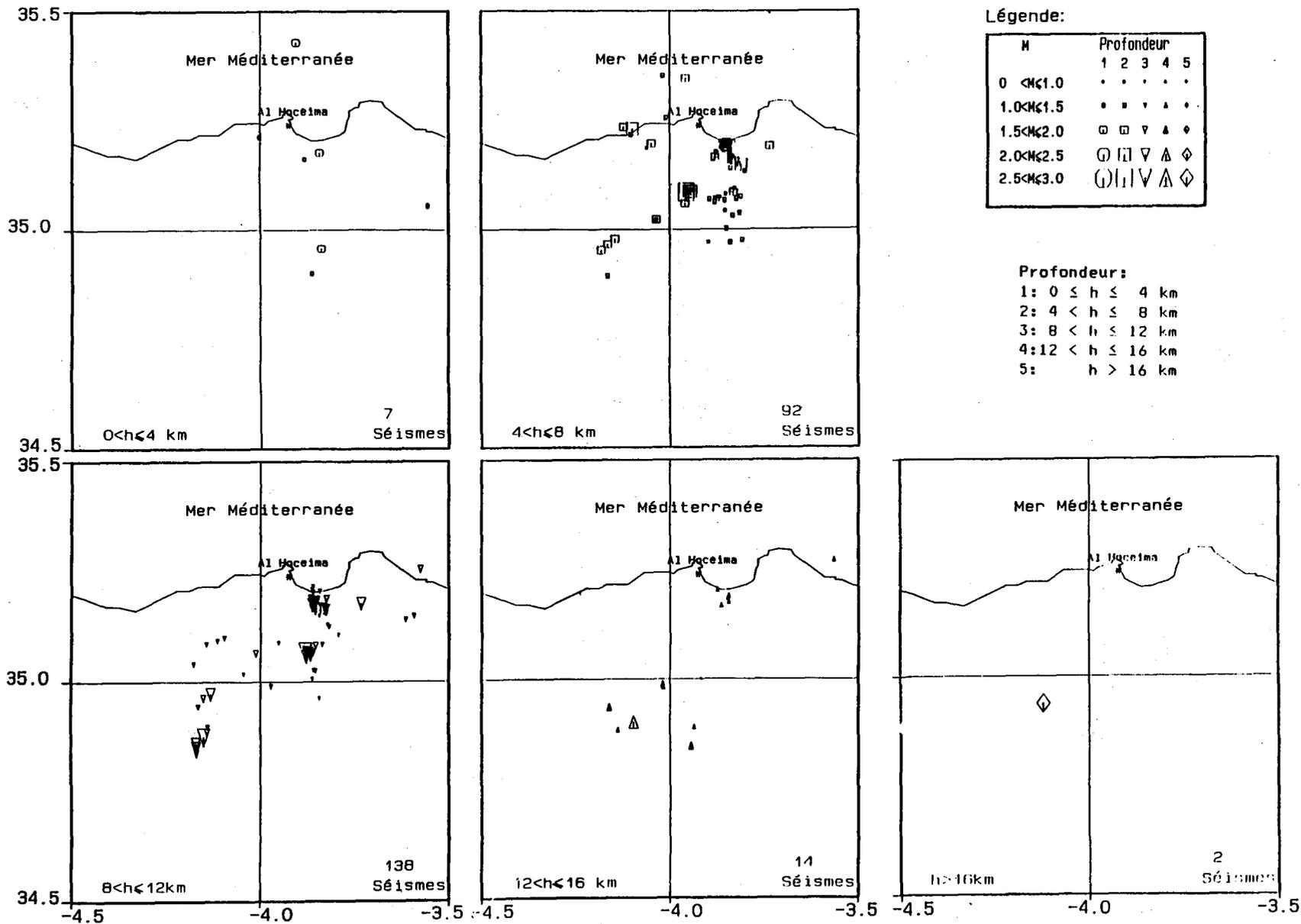
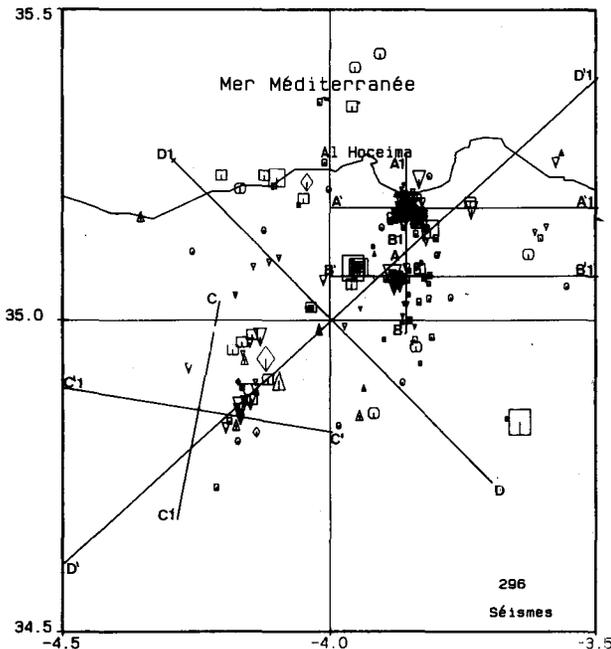


Figure 6: Distribution des 253 séismes les mieux localisés par tranches de 4 km de profondeur.



Légende:

M	Profondeur	Profondeur:
0 <math>< h < 1.0</math>	• • • • •	1: 0 $\leq h \leq 4$ km
1.0 <math>< h < 1.5</math>	◻ ◻ ◻ ◻ ◻	2: 4 <math>< h \leq 8</math> km
1.5 <math>< h < 2.0</math>	◻ ◻ ◻ ◻ ◻	3: 8 <math>< h \leq 12</math> km
2.0 <math>< h < 2.5</math>	◻ ◻ ◻ ◻ ◻	4: 12 <math>< h \leq 16</math> km
2.5 <math>< h < 3.0</math>	◻ ◻ ◻ ◻ ◻	5: h > 16 km

Figure 7: Emplacement des différentes coupes verticales, représentées par un trait continu, par rapport à l'ensemble des séismes.

Coupes A-A1 et A'-A'1 (fig. 8-A)

La première coupe (A-A1), de direction N-S, est sensiblement parallèle au premier groupe d'épicentres situé dans la plaine du bas Nekor. La profondeur des foyers croît progressivement du Sud vers le Nord.

La deuxième coupe (A'-A'1), de direction E-W, perpendiculaire à la précédente, met en évidence la concentration des foyers dans une zone rectangulaire d'environ 8.5 km de large sur 10.5 km de profondeur. Aucun plan de faille n'a pu être déterminé à partir de cette coupe.

Coupes B-B1 et B'-B'1 (fig. 8-B)

La comparaison des deux coupes verticales B-B1, de direction N-S, et B'-B'1, de direction E-W, montre que les foyers des épicentres sont beaucoup plus dispersés suivant la première direction que la deuxième. Ceci laisse supposer que le plan de la faille de Beni Bouayach est presque vertical.

Coupes C-C1 et C'-C'1 (fig. 8-C)

La première coupe C-C1, de direction SSW-NNE, montre une grande dispersion des foyers en profondeur, entre 4.2 et 31.8 km. Signalons également que tous les épicentres de cet essaim se trouvent situés à l'extérieur du réseau.

La deuxième coupe C'-C'1, perpendiculaire à la direction dominante du réseau de failles (N-S) met en évidence un pendage quasiment vertical avec une légère inclinaison vers le NNW.

Coupes D-D1 et D'-D'1 (fig. 8-D)

Les deux dernières coupes verticales ont été réalisées par rapport à l'accident du Nekor. La première (D-D1), de direction NE-SW, parallèle à l'accident et la deuxième (D'-D'1), de direction NW-SE, perpendiculaire à la coupe précédente.

L'examen de la première coupe ne confirme pas l'hypothèse d'un pendage vers le NW (FROGNEUX, 1980) ni vers une autre direction, ceci nous permet de supposer que ce n'est pas l'accident du Nekor qui est responsable de l'activité sismique enregistrée pendant la campagne d'Al Hoceima 1989.

DISCUSSION DES RESULTATS ET CONCLUSION

La deuxième campagne de microsismicité, réalisée dix ans après celle de FROGNEUX (1980), a permis la localisation de 296 séismes dans la région située entre l'oued Nekor et Beni Hadifa. Cette expérience a permis également de localiser la sismicité et de déterminer la profondeur des foyers avec une grande précision (ERH et $ERZ \leq 2$ km).

Les cartes des épicentres établies à l'issue de cette expérience montrent que la sismicité est exclusivement localisée dans le compartiment occidental de l'accident majeur du Nekor, elle est répartie essentiellement sur trois zones: la plaine du bas Nekor, Beni Bouayach et Jbel Hamman.

La sismicité est due probablement (en attendant les résultats des mécanismes au foyer) au rejeu des failles auxiliaires de direction Nord-Sud. Notons également la sismicité presque négligeable de l'accident du Nekor, mais ceci ne signifie pas que l'accident est inactif, car une période de surveillance de 35 jours ne permet pas de confirmer une telle hypothèse.

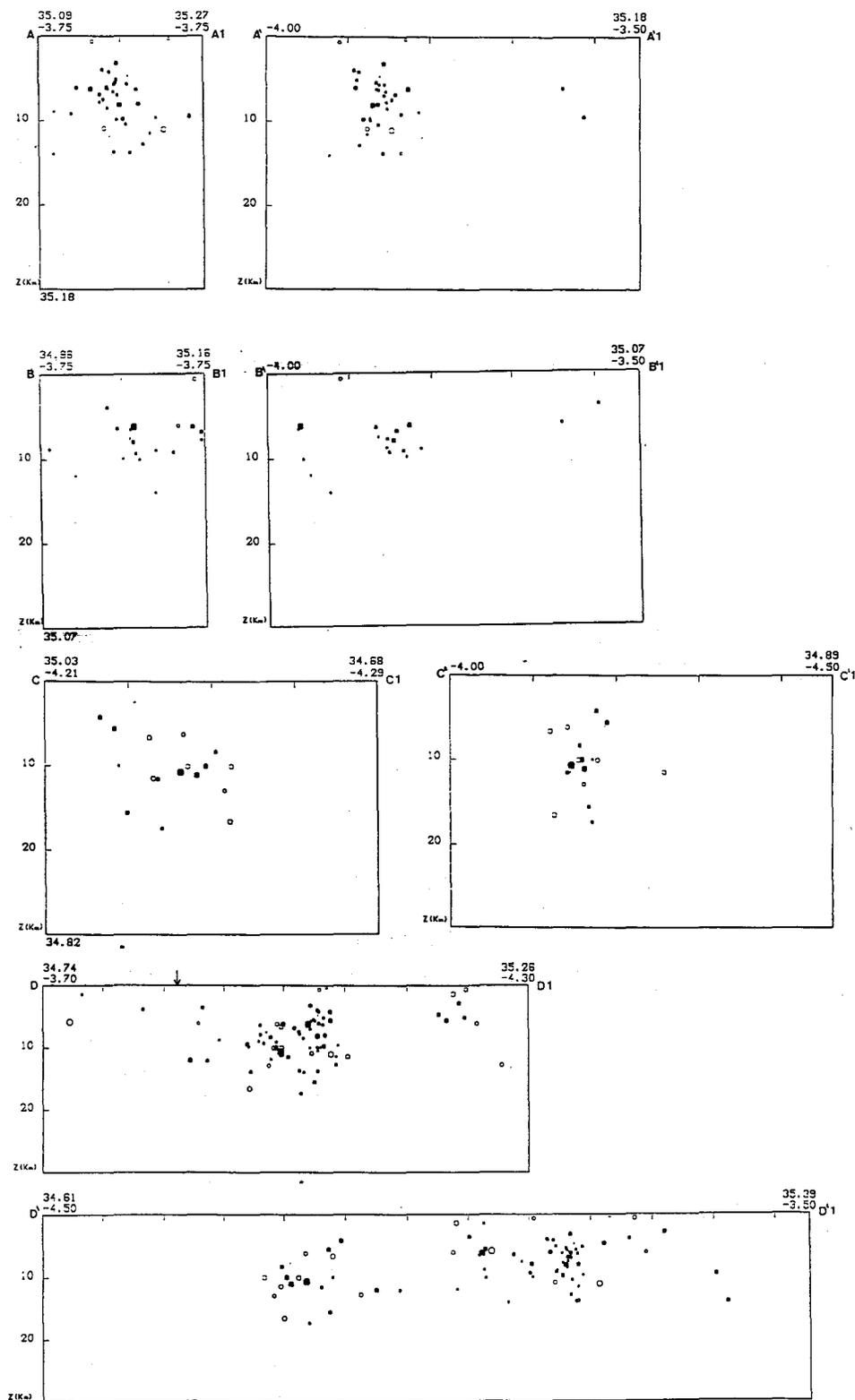


Figure 8: Coupes représentant la projection des foyers des séismes sur un plan vertical. Les cercles pleins correspondent aux séismes les mieux localisés. Sur la figure 8D, la flèche indique la trace de l'accident du Nekor en surface.

La distribution des hypocentres par tranches de profondeur montre que 90.5 % des séismes sont localisés entre 4 et 12 km de profondeur, et 99.2 % entre 0 et 16 km. Ceci suppose que la zone de transition entre la croûte à comportement fragile (cassant) et celle à comportement ductile est située donc entre 12 et 16 km de profondeur.

Les coupes verticales que nous avons effectuées suivant les trois principaux groupes d'épicentres et suivant l'accident du Nekor montrent qu'il nous a été impossible de déterminer de plans de faille avec certitude, sauf peut être pour le groupe d'épicentres de Jbel Hamman (fig. 8-C). Ceci peut être expliqué par le fait que les séismes ne se produisent pas sur un seul plan de faille unique, mais sur tout un système de cassures qui peuvent avoir des azimuts et des pendages différents.

En effet, les séismes et les répliques de faible magnitude enregistrées pendant l'expérience d'Al Hoceima représentent plutôt des fractures de la croûte, ce qui peut signifier des plans de failles différents à ceux des événements majeurs (CHRISTODOULOU, 1986).

L'intense activité sismique enregistrée pendant cette expérience confirme d'une part, qu'Al Hoceima est exposée non seulement au danger de la sismicité de la mer d'Alboran mais aussi au danger de la sismicité locale, et d'autre part, l'extrême importance des études menées sur le terrain, car les cartes de sismicité du Maroc établies à partir des données du réseau sismographique permanent ne donnent qu'une idée générale sur la distribution des épicentres.

Ainsi, l'installation d'un réseau permanent de surveillance dans les régions à "haut" risque est le moyen le plus efficace pour améliorer nos connaissances dans le domaine de l'aléa sismique.

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement M. le Gouverneur et les autorités locales de la Province d'Al Hoceima pour leur collaboration; nos remerciements vont également à MM. A. ALAOUI, M. EL FORMATE, B. GUILLIER, M. LAMBERT et A. ZARHOUNI pour leur aide sur le terrain.

REFERENCES

- AIT BRAHIM, L.; CHOTIN, P.; TADILI, B. & RAMDANI, M. (1990). - Failles actives dans le Rif central et oriental (Maroc). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 310, II, 1123-1129.
- ANDRIEUX, J. (1971). - La structure du Rif central. Etude des relations entre la tectonique en compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne alpine. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 235, 155 p.
- ANGELIER, J.; CADET, J.-P.; DELIBRIAS, G.; FOURNIGUET, J.; GIGOUT, M.; GUILLEMIN, M.; HOGREL, M.T.; LALOU, C. & PIERRE, G. (1976). - Les déformations du Quaternaire marin indicateurs néotectoniques. Quelques exemples méditerranéens. *Rev. géol. dyn. & Géog. phys.*, 2, XVIII, 5, 427-448.
- CHERKAOUI, T.-E. - *Contribution à l'étude de l'aléa sismique au Maroc*. Thèse d'Univ. Joseph Fourier, Grenoble (en préparation).
- CHOTIN, P. & AIT BRAHIM, L. (1988). - Transpression et magmatisme au Néogène-Quaternaire dans le Maroc oriental. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 306, II, 1479-1485.
- CHRISTODOULOU, A.A. (1986). - *Etude sismotectonique et inversion tridimensionnelle en Grèce du Nord*. Thèse d'Univ., Grenoble, 181 p.
- FRIZON de LAMOTTE, D. (1982). - Contribution à l'étude de l'évolution structurale du Rif oriental (Maroc). *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, 314, 239-309.
- FROGNEUX, M. (1980). - *La sismicité marocaine. Etude des paramètres à la source des séismes proches*. Thèse 3ème cycle, Univ. Grenoble, 131 p.
- HATZFELD, D.; CHRISTODOULOU, A.A.; SCORDILIS, E.M.; PANAGIOTOPOULOS, D. & HATZIDIMITRIOU, P.M. (1987). - A microearthquake study of the mygdonian graben (northern Greece). *Earth & Planet. Scien. Lett.*, 87, 379-396.
- LEE, W.H. & LAHR, J.E. (1975). - HYPO71: a computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes. *U.S. Geol. Surv.*, Open file report 75-331.

Adresses des auteurs:

T.-E. CHERKAOUI & H. JEBLI
Dépt. de Physique du Globe
Institut Scientifique,
Av. Ibn Battota
B.P. 703 Rabat-Agdal
Maroc.

D. HATZFELD & V. CAILLOT
Laboratoire de Géophysique
Interne et Tectonophysique.
Observatoire de Grenoble,
IRIGM
B.P. 53X, 38041 Grenoble
Cedex France

F. MEDINA
Département de Géologie
Institut Scientifique,
Av. Ibn Battota.
B.P. 703 Rabat-Agdal
Maroc.