

551.24(64)  
550.348.436  
550.34.06.013.24

**PRECISIONS SUR LE MECANISME AU FOYER DU SEISME  
D'AGADIR (MAROC) DU 29 FEVRIER 1960.  
PLACE DANS LE CADRE SISMOTECTONIQUE DU MAROC**

par

FIDA MEDINA et TAJ-EDDINE CHERKAOUI

Université Mohammed V, Institut Scientifique  
B.P. 703 Agdal, RABAT, MAROC

**R é s u m é**

La révision des données sur le tremblement de terre d'Agadir du 29 février 1960, et la comparaison avec la géologie locale permettent de conclure que ce séisme est lié au jeu dextre d'une faille préexistante orientée ENE-WSW. Le mécanisme focal s'intègre bien dans le modèle d'une avancée de l'Afrique du Nord vers le NW par rapport à l'Ibérie, comme le suggèrent les autres mécanismes focaux déterminés au Maroc et en Algérie.

Mots clés: Maroc, Haut-Atlas, Agadir, séisme, mécanisme focal, sismo-tectonique.

**A b s t r a c t**

Revision of the data of Agadir earthquake (February, 29, 1960) and comparison with the local geology suggests that the event was related to a dextral displacement along a ENE-WSW preexistent fault. Comparison with other focal mechanisms determined in Morocco and Algeria indicates that the mechanism of Agadir earthquake agrees with the model of a northwestwards motion of North Africa in relation to Iberia.

Key words: Morocco, High Atlas, Agadir, earthquake, focal mechanism, sismotectonics.

## 1. Introduction

Le séisme d'Agadir est, avec ceux d'El Asnam (1954 et 1980), un des séismes modernes les plus destructeurs d'Afrique du Nord. Il eut lieu le 29 février 1960 à 23 h 40 mn (temps universel), provoqua la mort de plus de 12000 personnes et détruisit 75 % des constructions de la ville. La magnitude était de 5,7 et la profondeur du foyer était située entre 2.0 et 3.0 km (ROTHÉ *in* DUFFAUD *et al.*, 1962, p. 14). L'intensité maximale atteignit le degré X (Mercalli modifiée) dans les quartiers de la Kasba, Yachech et Founti. La secousse principale fut précédée de deux prémonitoires et suivie par plus d'une centaine de répliques. L'activité séismique dura presque quatre ans, mais ne fit l'objet d'aucune étude détaillée.

Trois auteurs se sont intéressés au mécanisme focal de ce séisme (*cf. infra*), mais, devant les contradictions entre les solutions proposées, il s'est avéré nécessaire de réviser les données disponibles et de les confronter d'abord avec la géologie locale afin de mieux définir l'accident responsable du séisme, puis ensuite avec les données sur les mécanismes focaux déterminés dans les régions voisines au Maroc et en Algérie.

## 2. Cadre géologique

Agadir est située sur la bordure sud-ouest du Haut Atlas (Fig. 1), chaîne intra-continentele qui doit sa structure actuelle aux mouvements compressifs d'âge essentiellement tertiaire et plio-quaternaire. La ville est construite à cheval sur la zone montagneuse appartenant à la «Zone pré-atlasique méridionale» (AMBROGGI, 1963) et sur la limite septentrionale de la plaine du Souss (Fig. 1A).

La zone où ont été observées les intensités maximales lors du séisme de 1960 est géologiquement assez complexe. On y distingue trois compartiments séparés par deux accidents de direction NE-SW: les failles de la Kasba et de l'Oued Tildi (Fig. 1A, Fk et Ft respectivement).

Le compartiment NW, d'allure simple, comprend des couches monoclinales à pendage faible vers le NW, sans autre complication qu'une faille NE-SW (Fig. 1A, F1), parallèle à la faille de la Kasba, à jeu apparent normal affaissant le compartiment SE. Cette faille paraît affecter le Pliocène d'après l'interprétation des photographies aériennes de la région. Elle serait, par conséquent, assez récente.

Le compartiment central, le plus complexe, abrite un syclinal d'axe N100 au Nord, puis un anticlinal aigü d'axe N070 plus au Sud: l'anticlinal de la Kasba (Fig. 1A, Ak). Le flanc méridional de ce dernier est redressé et affecté par des failles longitudinales (Fig. 1B), mettant parfois en contact le Crétacé et le Pliocène. D'autres failles, orientées cette fois NW-SE, sont indiquées sur la carte géologique d'Agadir (AMBROGGI, sans date), mais ne figurent pas sur les autres cartes de la

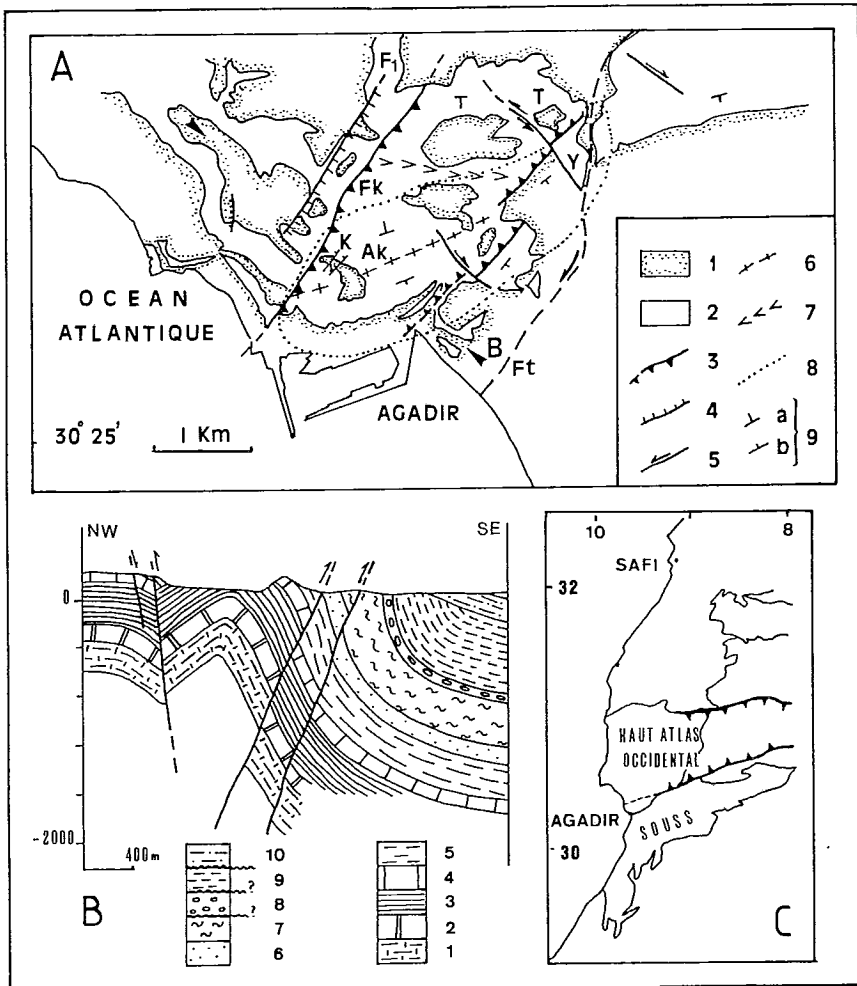


Figure 1A. Schéma structural de la région d'Agadir (d'après Ambroggi, sans date, simplifié et modifié). 1. Tertiaire et Quaternaire; 2. Crétacé; 3. faille inverse; 4. faille normale; 5. décrochement; 6. axe anticlinal; 7. axe synclinal; 8. zone d'intensité maximale; 9. pendage, a: faible, b: fort; F1, cf. texte; Fk, faille de la Kasba; Ft, faille de l'Oued Tildi; Ak, Anticlin de la Kasba; K, Kasba; Y, Yachech.

B: Coupe NW-SE à travers la région d'Agadir (d'après Duffaud, *in* Duffaud *et al.*, 1962, simplifiée et modifiée). Localisation fig. 1A. 1 à 7. Crétacé; 8. Oligocène; 9. Miocène probable; 10. Pliocène et Quaternaire.

C: Cadre structural général de la région d'Agadir.

région (DUFFAUD *et al.*, 1962), ce qui laisse planer des doutes sur leur existence réelle.

Enfin, le compartiment SE est également simple, monoclinal, où les couches sont en général à pendage sud.

La structure de la zone la plus affectée par le séisme se résume donc à un compartiment central pincé entre deux accidents: au NW, une faille inverse à pendage sud; au SE, un ensemble complexe de failles à pendage nord (Fig. 1B). En plus du jeu inverse, le plus marqué, il paraît exister une importante composante en décrochement, sénestre pour la faille du Tildi, et dextre pour la faille de la Kasba (AMBROGGI, 1963, fig. 155).

La complexité de ces structures s'explique bien par l'existence de nombreuses phases compressives superposées (MEDINA, 1985 et 1986), dont les dernières, à caractère néotectonique, se traduisent de façon spectaculaire par l'étagement différentiel des terrasses marines le long de la côte atlantique (AMBROGGI, 1963, p. 246 et WEISROCK, 1981, p. 179).

### 3. Mécanisme focal

Tel qu'on l'a indiqué ci-dessus, trois auteurs se sont intéressés au mécanisme focal du séisme principal. Il s'agit de ÖCAL (1964), HATZFELD *et al.* (1977) et MOREIRA (1986).

Tableau I. Solutions du mécanisme au foyer, déterminées pour le séisme d'Agadir par différents auteurs.

Auteur(s)	données utilisées	direction, pendage et jeu des plans nodaux		azimut et plongement des axes de pression ( <i>P</i> ) et de tension ( <i>T</i> )	
		1	2	<i>P</i>	<i>T</i>
ÖCAL (1964)	44	44, 87 NW dextre ★	135, 61 NE senestre ★		
HATZFELD <i>et al.</i> (1977) et HATZFELD (comm. pers.)	44	44, 90 senestre	134, 80 NE dextre	176, 8★★	90, 8★★
MOREIRA (1986 et comm. pers.)	65	34, 66 NW dextre	136, 73 NE senestre	85, 4	178, 30
cet article	75	49, 68 NW dextre	143, 80 NE senestre	95, 8	188, 23

★ jeux erronés

★★ paramètres déterminés par les auteurs de la présente note

La solution proposée par HATZFELD *et al.* (1977) est basée sur les données corrigées de ÖCAL (1964). Cependant, ce dernier auteur n'incluait pas certaines stations proches, des réseaux espagnol et portugais, ce qui diminue la fiabilité de la solution. En revanche, celle proposée par MOREIRA (1986) tient compte de ces données; elle indique un axe de pression orienté pratiquement E-W (tableau I), perpendiculaire à celui déterminé par HATZFELD *et al.* (*op. cit.*).

Dans le but de mieux préciser le mécanisme focal, nous avons repris les données des bulletins de l'I.S.S. et du B.C.I.S., de ÖCAL (1964), de ROTHÉ (*in* DUF-

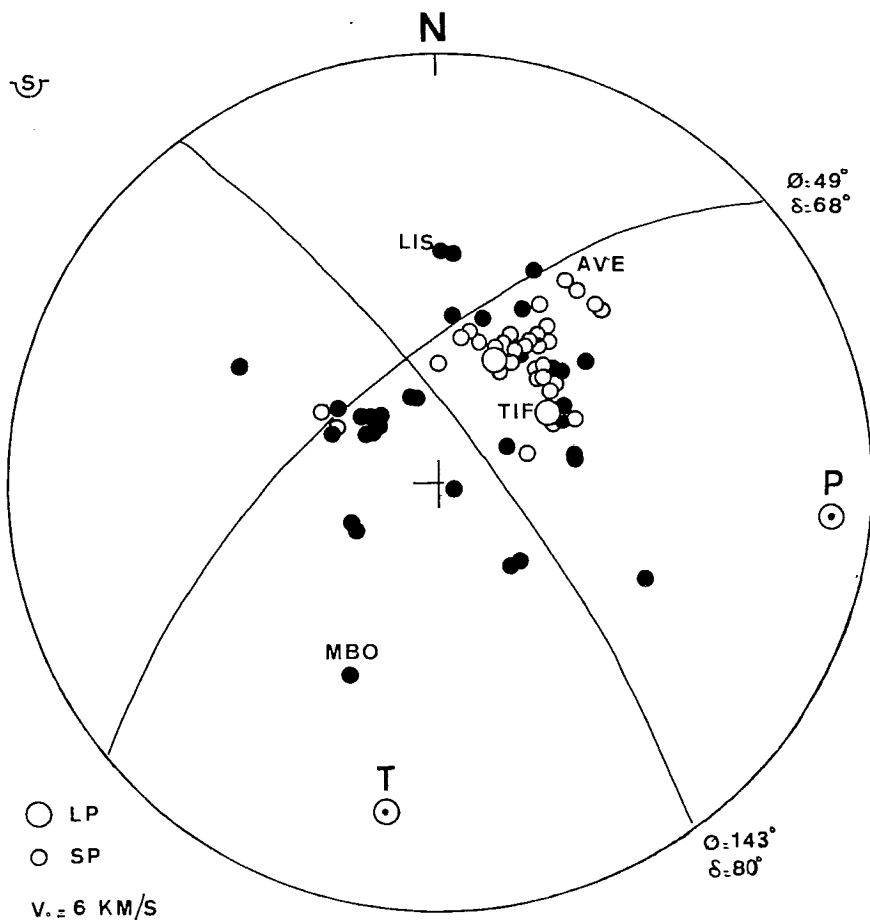


Figure 2. Mécanisme au foyer du séisme d'Agadir (29 février 1960). Représentation sur canevas de Schmidt, hémisphère inférieur. Cercles vides = dilatation, cercles pleins = compression, P: axe de pression, T: axe de tension.

FAUD *et al.*, 1962) et de MOREIRA (1986), et rajouté d'autres provenant de lectures directes des copies de séismogrammes qui nous ont été envoyées par différentes stations sismologiques. Les paramètres des plans nodaux et des axes de pression et de tension sont indiqués au tableau I et sur la figure 2.

Au vu des résultats, il apparaît que la solution que nous proposons se rapproche plutôt de celle de MOREIRA (*op.cit.*), bien que l'azimut des plans nodaux en diffère de  $15^\circ$  dans un cas et de  $7^\circ$  dans l'autre.

#### 4. Comparaison avec les données de terrain

Sur les cartes géologiques de la région d'Agadir, les plans de faille orientés NNW-SSE sont peu importants, ce qui nous conduit à considérer le plan nodal orienté N049 comme le plan principal. Si l'on admet, avec STAUDER (1962, *in* LLIBOUTRY, 1982, p. 26), que le plan de faille ayant joué lors d'un séisme est situé à  $15^\circ$  d'un des plans nodaux de façon à alléger la pression perpendiculairement à ce dernier, la faille responsable du séisme d'Agadir serait de direction proche de N064. Cette direction est aussi bien celle de l'anticlinal de la Kasba (Fig. 1A, Ak), que celle dessinée par l'aire pléistocène (Fig. 1A). En outre, ROTHÉ (*op.cit.*) a décrit des fissures également orientées ENE-WSW dans le sol de la région affectée.

Le fait qu'aucune faille n'ait été observée le long de l'axe de l'anticlinal de la Kasba suggère que le foyer était localisé sur le plan d'une des failles affectant le flanc sud de l'anticlinal, et se prolongeant sous l'axe de ce dernier. D'après le mécanisme focal que nous proposons, cette faille inverse préexistante (Fig. 1B) aurait joué lors du séisme en décrochement dextre à composante inverse.

#### 5. Comparaison avec les mécanismes focaux déterminés dans les régions voisines

En général, le nombre de mécanismes au foyer déterminés au Maroc est assez restreint par rapport à d'autres régions sismiques du globe. Ceci se doit principalement au nombre faible de séismes suffisamment puissants pour être enregistrés par un grand nombre de stations du réseau mondial. Néanmoins, on dispose pour certains grands séismes de travaux de HATZFELD *et al.* (*op.cit.*), GIRARDIN *et al.* (1977), HATZFELD (1978), TADILI et RAMDANI (1985) et MOREIRA (*op.cit.*). De plus, certaines études de microsismicité ont été effectuées par FROGNEUX (1980), COISY et FROGNEUX (1980) et TADILI et RAMDANI (*op.cit.*).

### 5.1. Haut et Moyen Atlas

Dans le Haut Atlas, à l'exception du séisme d'Agadir et de celui de Boumalne (Fig. 3, site 2) dont le mécanisme correspond à une pression orientée NW-SE (MOREIRA, *op.cit.*), le nombre de séismes importants est trop faible pour pouvoir déterminer d'autres mécanismes. FROGNEUX (*op.cit.*, p. 65) a appliqué une méthode composite qui lui a permis de situer l'axe de pression, peu penté, entre  $N135^\circ$  et  $N158^\circ$  pour les séismes superficiels et à  $N345^\circ$  pour les séismes intermédiaires. Ces mécanismes correspondent dans le premier cas à des jeux décrochants et, dans le deuxième, à des jeux inverses (Fig. 3, site 3, a et b respectivement).

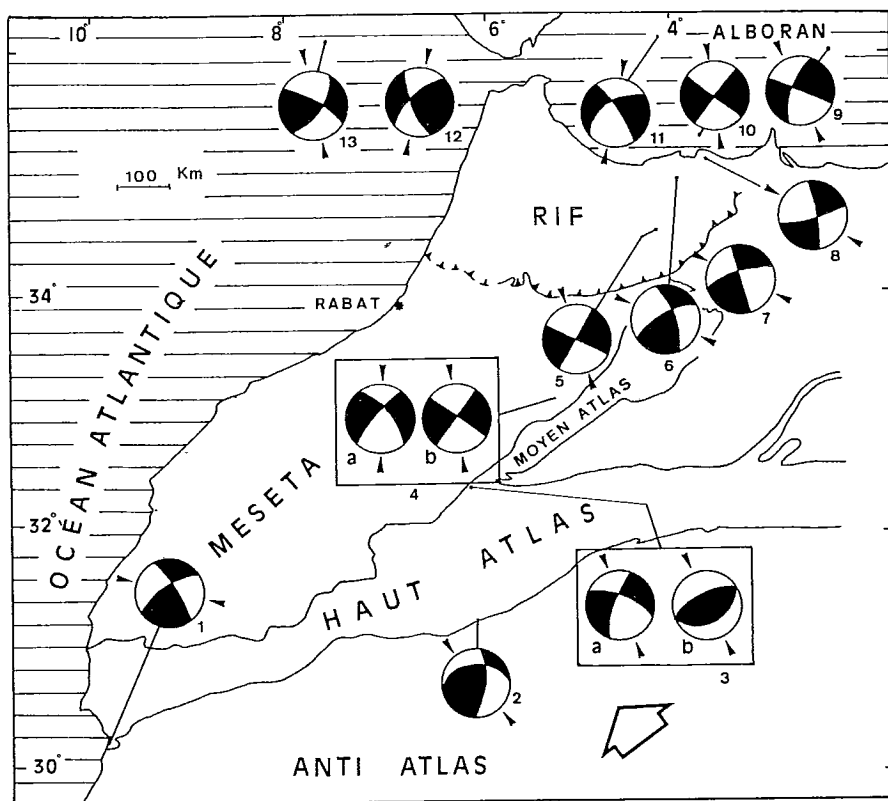


Figure 3. Mécanismes focaux déterminés au Maroc. 1. cf. fig. 2; 2, 12, 13. d'après MOREIRA (1986); 3 et 7. d'après FROGNEUX (1980); 4. d'après TADILI et RAMDANI (1985); 5 et 6, 8 à 11. d'après HATZFELD (1978). La pointe des flèches correspond à la projection horizontale de l'axe  $P$ ; flèche vide = déplacement supposé de l'Afrique du Nord par rapport à l'Ibérie.

A la jonction Haut Atlas-Moyen Atlas, FROGNEUX (*op.cit.*) et COISY et FROGNEUX (1980) ont déterminé, d'après une étude microsismique, des mécanismes focaux avec des axes de pression orientés, en majorité, N170.

Sur la bordure NW du Moyen Atlas, TADILI et RAMDANI (1985) ont pu déterminer des mécanismes correspondant, selon les sites, à des failles normales (Fig. 3, site 4 a), à des décrochements (Fig. 3, site 4 b), et à des failles inverses (non figuré). Dans les deux derniers cas, les axes de pression s'orientent NNW-SSE.

## 5.2. Rif et mer d'Alboran

Les mécanismes au foyer déterminés dans la chaîne rifaine et plus au Nord dans la mer d'Alboran, également en nombre assez restreint, sont, de par leur position géographique, beaucoup plus fiables que ceux du Haut Atlas. Ces mécanismes indiquent des axes de pression subhorizontaux, de direction WNW-ESE pour les séismes à terre, et pratiquement N-S pour ceux d'Alboran (Fig. 3, sites 5, 6 et 8 à 13). D'autre part, les études microsismiques menées dans la région du Nékor permettent également de placer l'axe de pression à N110 (Fig. 3, site 7).

## 5.3. Algérie

Par rapport au Maroc, on dispose pour l'Algérie de beaucoup plus de données grâce aux travaux de HATZFELD *et al.* (*op.cit.*), GIRARDIN *et al.* (1977), HATZFELD (1978), FROGNEUX (*op.cit.*), OUYED et HATZFELD (1981) et OUYED (1981). Selon ce dernier auteur, la distribution des axes de pression et de tension déterminés lors de l'étude des répliques du séisme d'EL ASNAM (1980) est telle que les axes *P*, peu pentés en général, occupent de manière remarquable les cadrans NW et SE des diagrammes. Cette distribution est conforme à celle des mécanismes focaux des grands séismes de 1954 et de 1980.

## 5.4. Conclusion

La revue des données disponibles sur l'ensemble des mécanismes focaux au Maroc suggère, à première vue, l'existence d'une certaine homogénéité. En effet, à l'exception de quelques séismes moyen-atlasiques, dans la majorité des mécanismes les axes de pression sont subhorizontaux et orientés WNW-ESE à N-S. Cependant, malgré cette homogénéité apparente, il faut admettre que les séismes du Haut Atlas ont été trop peu étudiés pour tirer une véritable conclusion d'ensemble. Les mécanismes proposés, exception faite de celui présenté ici, se basent



souvent sur un nombre faible de données, et il est par conséquent indispensable de réviser les données disponibles sur les séismes atlasiques et de les compléter dans la mesure du possible par des campagnes de microsismicité.

## 6. Conclusion générale

Le séisme d'Agadir de 1960 apparaît lié au jeu en décrochement dextre à composante inverse d'une faille préexistante ENE-WSW située sous l'axe de l'anticlinal de la Kasba. Le mécanisme focal correspond à une compression tectonique WNW-ESE. De ce fait, le séisme d'Agadir s'intègre bien dans le cadre structural actuel régi par la collision entre l'Afrique et l'Ibérie, et qui se traduit par le déplacement de l'Afrique du Nord vers le NW autour d'un pôle située à 25.71N – 21.04W (MINSTER et JORDAN, 1978, p. 5343). Ce sens de déplacement est suggéré par l'étude des mécanismes au foyer (UDIAS *et al.*, 1976; HATZFELD, 1978; MOREIRA, 1986), par la cinématique des plaques (DEWEY *et al.*, 1973; BIJU-DUVAL *et al.*, 1976, OLIVET *et al.*, 1984) et par les études néotectoniques (Groupe de recherche néotectonique de l'arc de Gibraltar, 1977; AÏT BRAHIM et CHOTIN, 1983; DUTOUR et FERRANDINI, 1985).

*Remerciements:* Nous remercions vivement MM. D. Hatzfeld (Grenoble) et V.S. Moreira (Lisbonne) pour avoir bien voulu nous envoyer les données dont ils disposaient. Nous sommes également reconnaissants aux chefs des stations sismologiques, qui ont bien voulu nous adresser les copies des séismogrammes utilisés dans ce travail, et tout particulièrement à M. J. Galan Garcia (Madrid).

## R E F E R E N C E S

- AÏT BRAHIM, L. et P. CHOTIN, 1983: Mise en évidence d'un épisode compressif dans les calcaires plio-quaternaires du bassin du Saïss, Rif, Maroc. *C.R. Acad. Sci. Paris*, sér. II, 296, 1333–1336.
- AMBROGGI, R., sans date: Carte géologique d'Agadir au 1/50.000. *Publ. Office National de l'Irrigation*, Maroc.
- AMBROGGI, R., 1963: Etude géologique du versant méridional du Haut Atlas occidental et de la plaine du Souss. *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, 157, 321 pp.
- BIJU-DUVAL, B., DERCOURT, J. et X. LE PICHON, 1976: La genèse de la Méditerranée. *La Recherche*, 71, 811–822.
- COISY, Ph. et M. FROGNEUX, 1980: Une étude de microsismicité: la région de Tillouguite (Haut Atlas de Beni Mellal). *Mines, Géologie et Energie*, Rabat, 47, 98–102.
- DEWEY, J.F., PITMAN, W.C., RYAN, W.B.F. et J. BONNIN, 1973: Plate tectonics and the evolution of the alpine system. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 84, 3137–3180.

- DUFFAUD, F., ROTHE, J.-P., DEBRACH, J., ERIMESCO, P., CHOUBERT, G. et A. FAURE-MURET, 1962: Le séisme d'Agadir du 29 février 1960. *Notes & Mém. Serv. géol. Maroc*, 154, 68 pp.
- DUTOUR, A. et J. FERRANDINI, 1985: Nouvelles observations néotectoniques dans le Haut Atlas de Marrakech et le Haouz central (Maroc). Apports sur l'évolution récente d'un segment du bâti atlasique. *Rev. Géol. dyn. & Géogr. phys.*, 26, 285–297.
- FROGNEUX, M., 1980: La sismicité marocaine de 1972 à 1978. Etude des paramètres à la source des séismes proches. *Thèse Univ. Grenoble*, 131 pp.
- GIRARDIN, N., HATZFELD, D. et M. FROGNEUX, 1977: La sismicité du Nord de l'Algérie. *C.R. somm. Soc. géol. Fr.*, 2, 95–100.
- Groupe de recherche néotectonique de l'arc de Gibraltar, 1977: L'histoire tectonique récente (Tortonien à Quaternaire) de l'arc de Gibraltar et des bordures de la mer d'Alboran. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), XIX, 3, 591–605.
- HATZFELD, D., FROGNEUX, M. et N. GIRARDIN, 1977: Etude de la sismicité dans la région de l'arc de Gibraltar et l'Algérie du Nord. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), XIX, 4, 741–747.
- HATZFELD, D., 1978: Etude sismotectonique de la zone de collision ibéromaghrébine. *Thèse Univ. Grenoble*, 281 pp.
- LLIBOUTRY, L., 1982: *Tectonophysique et Géodynamique*. Paris, Masson éditeur. 339 pp.
- MEDINA, F., 1985: Chronologie des phases et style tectonique dans le Haut Atlas occidental, Maroc. *García de Orta*, ser. Geologia, Lisboa, 8, 1–2, 43–53.
- MEDINA, F., 1986: Etude structurale d'un accident bordier atlasique: l'accident d'Ichemra-rène-Imi n'Tanoute (Haut Atlas occidental). Implication sur la chronologie relative des phases compressives tertiaires. *Bull. Sci. Terre*, Rabat, 2, 86–98.
- MINSTER, J.B. et T.H. JORDAN, 1978: Present-day plate motions. *J. G. R.*, 83, B11, 5331–5354.
- MOREIRA, V.S., 1986: Seismicity and sismotectonics of mainland Portugal. *8<sup>ème</sup> Conférence sur le Génie sismique*, Lisboa, 2.1, 7–14.
- ÖCAL, N., 1964: Fault-plane solutions for Agadir, Morocco, earthquake of February 29, 1960 and Skoplje, Yugoslavia, earthquake of July 26, 1963. *J.I.S.E.E. Bull.*, 1, 1–7.
- OLIVET, J.L., BONNIN, J., BEUZART, P. et J.M. AUZENDE, 1982: Cinématique des plaques et paléogéographie: une revue. *Bull. Soc. géol. Fr.*, (7), XXIV, 5–6, 875–892.
- OUYED, M., 1981: Le tremblement de terre d'El Asnam du 10 octobre 1980. Etude des répliques. *Thèse Univ. Grenoble*, 227 pp.
- OUYED, M. et D. HATZFELD, 1981: Etude de microsismicité en Algérie du Nord. *Géosciences*, Alger, 1, 2–17.
- TADILI, B. et M. RAMDANI, 1985: La sismicité du Moyen Atlas. *Gerlands Beitr. Geophysik*, Leipzig, 95, 469–476.
- UDIAS, A., LOPEZ ARROYO, A. et J. MEZCUA, 1976: Sismotectonic of the Azores-Alboran region. *Tectonophysics*, 31, 259–289.
- WEISROCK, A.L.E., 1981: Neotectonic and coastal morphology in the Atlantic Atlas (Morocco). *Z. Geomorph. N. F.*, Berlin, Suppl.-Bd. 40, 175–182.