

# SISMICITÉ EN ALGÉRIE DE 1790 À 2000 : MÉCANISMES AUX FOYERS ET VITESSE DE RAPPROCHEMENT INTER-PLAQUES

Mohamed Salah BOUGHACHA\*, Merzouk OUYED\*, Hadj BENHALLOU\*, Mabrouk  
DJEDDI\*\* et Denis HATZFELD\*\*\*

## RÉSUMÉ

Plus de huit cents (800) événements sismiques de magnitude supérieure ou égale à 4, ont permis de dresser une carte des épacentres pour le Nord de l'Algérie et les régions limitrophes (31°-38°N; 3°W-9°E), pour la période 1790-2000. Ce document qui fait ressortir le caractère hautement sismique des chaînes littorales de l'Algérie, est assorti d'une représentation des solutions focales de vingt séismes les plus significatifs, associés à la période 1954-2000. Le régime compressif auquel est soumise la région d'étude, induit par la collision des Plaques Afrique et Eurasie, est caractérisé par une direction NNW-SSE très proche de l'horizontale, donnée par l'orientation des axes P des solutions focales. Un calcul théorique des vecteurs-vitesses inter-plaques fournit un azimuth de 330°, compatible avec la direction de convergence obtenue à partir des axes P. Le taux moyen de rapprochement calculé est très voisin de 6 mm/an.

Mots-clés - Algérie - Sismicité - Vitesse inter-plaques - Carte des épacentres - Mécanismes au foyer.

## SEISMICITY IN ALGERIA FROM 1790 TO 2000 FOCAL MECHANISMS AND VELOCITY OF INTER-PLATE MOTION

### ABSTRACT

More than 800 earthquakes with magnitude greater than or equal to 4, have let us to obtain an epicenter map for the region of northern Algeria and the bordering areas, lying between 31°N-38°N and 3°W-9°E for the period 1790-2000. This map which emphasizes the high degree of seismicity of the Atlas Mountains is completed by the focal solutions of twenty significant earthquakes of the period 1954-2000. The compressive stress regime suffered in the studied area, induced by the approaching movement of the Africa and Eurasia plates, is characterized by a NNW-SSE horizontal direction inferred from the mean P axis direction of the focal mechanisms. A theoretical inter-plate velocity provides a N 330° direction in agreement with the convergence direction of the Africa and Eurasia plates obtained from the mean P axis. The mean calculated velocity is about 6 mm/year.

Keywords - Algeria - Seismicity - Inter-plate velocity - Epicenter map - Focal mechanisms.

\* Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire. Département de Géophysique. BP 32, El Alia, Alger.

\*\* Université de Boumerdès. Laboratoire de Physique de la Terre. Avenue de l'indépendance. 35000, Algérie.

\*\*\* Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, Observatoire de Grenoble, France.

- Manuscrit déposé le 21 Septembre 2002, accepté après révision le 17 Février 2003.

## INTRODUCTION

La corrélation géologie-sismicité a été soulignée, relativement tôt, par De Montessus de Ballore (1906) qui dressa la première carte de sismicité de l'Algérie. Ce document fut conforté progressivement, en particulier par les travaux de Rothé (1950), Roussel (1973 a,b), Shah *et al.*, (1978). Puis la théorie de la Tectonique des Plaques s'est rapidement affirmée pour intégrer la sismicité de l'Algérie dans un processus géodynamique régional cohérent. L'accumulation des données observationnelles, tant macro-sismiques qu'instrumentales, a progressivement permis de mieux préciser les sources sismogènes et dresser d'autres cartes (Benhallou, 1985; Bezzeghoud *et al.*, 1993; Benouar, 1994; Mokrane *et al.*, 1994). La densification des réseaux sismologiques à vocation nationale, régionale et mondiale, a progressivement permis la possibilité de développer le calcul des solutions focales associées aux événements les plus significatifs (Bezzeghoud *et al.*, 1994). Il faut également signaler l'apport des campagnes de sismicité ayant précédé (Ouyed et Hatzfeld, 1979) ou suivi des séismes importants comme ceux d'El Asnam du 10 octobre 1980 (Ouyed, 1981; Ouyed *et al.*, 1983); de Constantine du 27 octobre 1985 (Deschamps *et al.*, 1991) et de Tipaza du 29 octobre 1989 (Meghraoui, 1991; Afroun et Azizi, 1992), de magnitudes respectives  $M_s=7.3$ , 5.9, 5.9. Les informations sismologiques ainsi recueillies (distribution spatiale de la sismicité, caractérisation du point de vue de la fréquence et de l'intensité, principaux mécanismes au foyer) combinées à d'autres données géophysiques et géologiques, constituent des éléments de première importance en vue de l'élaboration de la carte sismotectonique.

La présente étude concerne la région qui s'étend de 3°W à 9°E et de 31°N à 38°N: elle aboutit à un calcul de la vitesse relative (taux annuel de convergence) entre les plaques Afrique et Eurasie, à la confection d'une carte des épïcêtres pour la période 1790-2000, au calcul et à la repré-

sentation de vingt solutions focales associées aux événements les plus importants depuis celui d'El Asnam du 9 septembre 1954.

## CONTEXTE GÉODYNAMIQUE

Du point de vue Géodynamique, l'Algérie s'intègre dans la région ibéro-maghrébine (définie par le sud de la péninsule ibérique et le Maghreb) qui est une région à tectonique complexe et qui se situe à la frontière des Plaques eurasiennne et africaine; cette limite prend son départ du point triple des Açores jusqu'à la chaîne transasiatique (Mezcua *et al.*, 1991; Buforn *et al.*, 1995). La compression Afrique-Ibérie, accompagnée d'une extension E-W, a présenté une direction NNW-SSE depuis le Miocène Inférieur jusqu'au Quaternaire (Ott d'Estevou et Montenat, 1985). Cette région est fondée sur trois domaines géologiques qui sont : les massifs et leurs plate-formes, le domaine alpin, les bassins tertiaires (essentiellement néogènes) superposés aux précédentes formations. Les chaînes bétique, rifaine et tellienne, d'âge alpin, ont été le siège de processus de collision inter-plaques et de possible subduction. Les Atlas intègrent un important système de failles actives depuis le Mézosoïque jusqu'au Quaternaire (Buforn *et al.*, 1995).

L'Algérie est composée de deux vastes ensembles morfo-structuraux, fondamentalement différents du point de vue sismotectonique, admettant pour frontière l'accident sud atlasique (fig. 1). Ils définissent l'Algérie septentrionale, d'âge alpin et la plate-forme sahariennne, plutôt stable. La première englobe les structures des Atlas Tellien et Saharien, entre lesquelles sont intercalés les Hauts-Plateaux. L'Atlas Tellien qui coïncide avec l'axe de plissement alpin (Rothé, 1955), est l'entité la plus remarquable du point de vue sismotectonique; il consiste en une succession de chaînes de montagnes et de vallées parallèles à la côte, avec des systèmes de failles et de plis (Boudiaf, 1996; Aoudia *et al.*, 2000) induits par un régime



tectonique compressif de direction NW-SE avec raccourcissement crustal (Meghraoui, 1988).

### VITESSE DE RAPPROCHEMENT INTER-PLAQUES

En vue d'apprécier la vitesse de rapprochement entre les Plaques Eurasie et Afrique dans la région d'étude, nous faisons appel au théorème d'Euler qui stipule que le mouvement relatif d'une plaque par rapport à une autre, peut être analysé comme une rotation autour d'un axe dont l'intersection avec la sphère terrestre définit le pôle de rotation d'Euler  $\Omega$ . Les coordonnées géographiques de  $\Omega$  sont déduites des vitesses d'expansion au niveau des dorsales médio-océaniques (Turcotte and Schubert, 1982) ; des modèles de plaques affinés avec le temps, permettent d'y remonter (tableau I). Dans notre cas, nous utiliserons le modèle Nuvel-1 (De Mets, *et al.*, 1990, 1994) qui situe le pôle au point de coordonnées géographiques 20.6° W et 21° N, la vitesse angulaire correspondante étant  $\omega = 0.13^\circ/\text{MA}$ .

La vitesse linéaire  $V$  en un point-frontière  $F$  de longitude  $\lambda$  et de colatitude  $\theta$  se déduit aisément de la figure 2a, à partir de considérations cinématiques : lors de la rotation de la plaque Afrique autour de  $\Omega$  (la plaque Eurasie étant alors supposée fixe), le point  $F$  engendre un arc de cercle de rayon  $r = FH$ ,  $H$  désignant la projection de  $F$  sur le rayon-vecteur  $OF$ . La vitesse linéaire  $V$  est alors reliée à la vitesse angulaire  $\omega$  par la relation :

$$V = \omega \times r = \omega \times (R - OH) = \omega \times R,$$

avec  $R = OF$  où  $R$  et  $O$  désignent respectivement le rayon et le centre de la Terre, ce dernier point étant pris comme origine des coordonnées cartésiennes rattachées à la base  $(i, j, k)$ .

Afin de préciser la vitesse en module et en sens, il est nécessaire de définir un repère local lié au point-position  $F$ , dont les vecteurs de base  $(e_\theta, e_\lambda, e_r)$  indiquent les directions méridienne, zonale et radiale (figure 2b). Les relations de passage sont les suivantes:

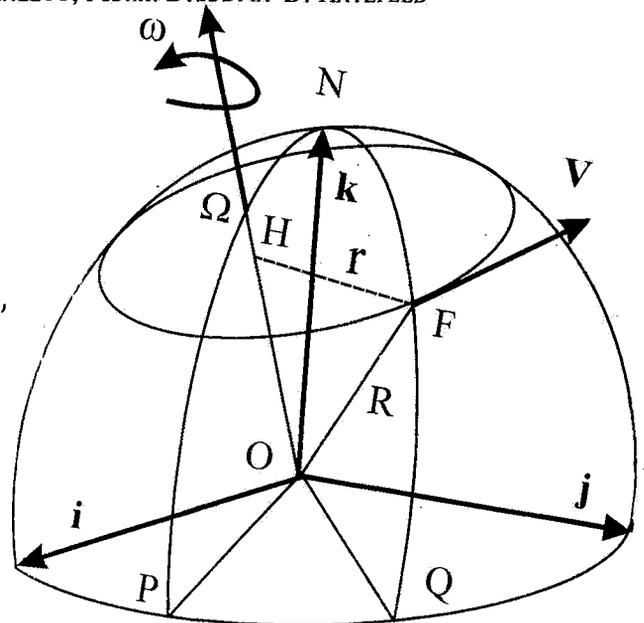


Fig. 2a - Représentation dans le repère orthonormé  $O(i, j, k)$  du pôle d'Euler  $\Omega$ , du vecteur-vitesse angulaire  $\omega$  et de la vitesse linéaire inter-plaques  $V$  au point-frontière  $F$ .  $N$  est le Pôle Nord. Les arcs de grands cercles  $NP$  et  $NQ$  constituent les méridiens de  $\Omega$  et  $F$ .

*Representation, in the co-ordinate system  $O(i, j, k)$ , of Euler pole  $\Omega$ , angular velocity vector  $\omega$  and linear inter-plate velocity vector  $V$  at contact point  $F$ . Point  $N$  is the North Pole. Arcs of great circles  $NP$  and  $NQ$  constitute meridians of  $\Omega$  and  $F$ .*

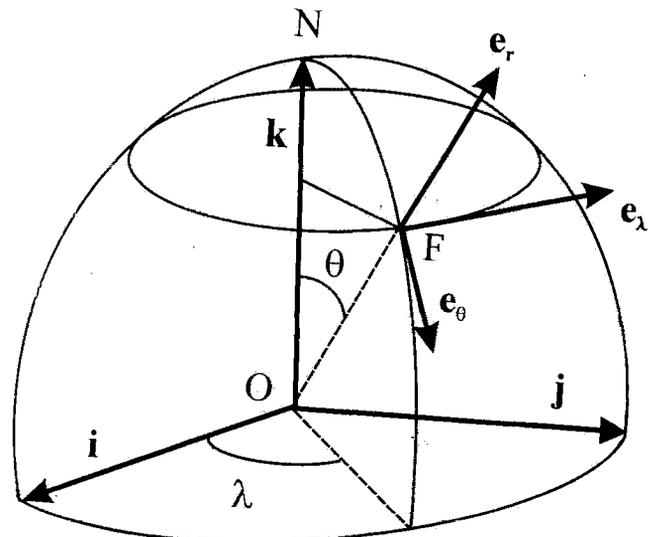


Fig. 2b Représentation, en coordonnées sphériques, des vecteurs unitaires des composantes radiale  $e_r$ , zonale  $e_\theta$  et méridienne  $e_\lambda$  du vecteur-vitesse  $V$  au point  $F$  de longitude  $\lambda$  et de colatitude  $\theta$ .

*Representation of the radial  $e_r$ , zonale  $e_\theta$  and meridian  $e_\lambda$  components of velocity vector  $V$  at point  $F$  of longitude  $\lambda$  and co-latitude  $\theta$ .*

Tableau I - coordonnées du pôle d'Euler.

Euler pole co-ordinates.

Auteur	Année	Colatitude $\theta$ (degrés)	Longitude $\lambda$ (degrés)	Vitesse angulaire (degrés/MA)
Mc Kenzie	1972	67.3	-28.20	0.27
Minster et Jordan	1978	64.8	-21.19	0.10
DeMets	1994	69.0	-20.60	0.13

$$e_{\theta} = i \cos\theta \cos\lambda + j \cos\theta \sin\lambda - k \sin\theta$$

$$e_{\lambda} = -i \sin\lambda + j \cos\lambda$$

$$e_r = i \sin\theta \cos\lambda + j \sin\theta \sin\lambda + k \cos\theta$$

Dans notre cas, la composante radiale de la vitesse est évidemment nulle; les composantes méridienne  $V_{\lambda}$  et zonale  $V_{\theta}$  sont obtenues par simple projection sur les vecteurs de base correspondants. On a donc :  $V_{\lambda} = V \cdot e_{\lambda}$  et  $V_{\theta} = V \cdot e_{\theta}$ . L'azimut  $az$  est obtenu à partir de l'expression  $\text{tg}(az) = V_{\lambda} / V_{\theta}$ .

Les vitesses de rapprochement inter-plaques, estimées en divers points de l'Algérie, sont représentées sur la figure 1, par leurs intensités et leurs sens. D'ouest en est, elles varient de 5.6 à 7.1 mm/an ; les azimuts correspondants varient de 325° à 335°. Ces estimations sont conformes à celles obtenues par des mesures directes récentes effectuées par voie GPS au niveau d'Alger et Arzew couvrant la période 1995-1997 (Anzidei *et al.*, 1999), fournissant un taux de rapprochement voisin de 8 mm/an. Les valeurs données par Mc Kenzie (1972), déduites par extrapolation de mesures dans des régions voisines, sont de 18 mm/an. D'autre part, une étude effectuée par Lammali *et al.*, (1997), basée sur le calcul des moments sismiques des séismes algériens de 1716 à 1994, aboutit à un taux de rapprochement de 7.6 mm/an. Cette valeur est très proche de celle calculée dans cette étude. Des observations géologiques traduisent un rapprochement entre les Plaques Afrique et Eurasie avec un raccourcissement crustal de direction NNW-SSE (Groupe de

Recherche Néotectonique, 1977; Buforn *et al.*, 1988) matérialisant l'Atlas Tellien, en conformité avec les directions des vitesses précédemment déduites par calcul.

## CARTE DES ÉPICENTRES

La convergence des Plaques Afrique et Eurasie gouverne la sismicité (Udias *et al.*, 1991; Mezcua *et al.*, 1991). L'activité sismique associée à la région d'étude pour la période 1790-2000, concernant les événements de magnitude supérieure ou égale à 4 (dont le nombre avoisine 800), est montrée à travers la figure 3, d'après une compilation de données sismologiques de diverses sources, aussi bien instrumentales que macrosismiques: ISC (ISC Catalogue, 1964-1994), IGN (Mezcua *et al.*, 1983), NEIC, CRAAG (Mokrane *et al.*, 1994), (Boughacha *et al.*, 2001).

En bordure septentrionale qui coïncide avec le talus continental, la sismicité intéresse beaucoup plus la partie occidentale (en particulier en Mer d'Alboran, avec une tendance des épïcêtres à s'aligner NE-SW), alors que dans la partie orientale, on enregistre une activité sismique plus faible. En milieu continental, elle est confinée essentiellement aux structures des Atlas, avec des essais individualisés au niveau du Tell où elle est plus marquée dans le Nord-Ouest; elle devient plus diffuse et intéresse une bande qui s'étale de plus en plus à mesure que l'on progresse vers l'est, épousant de façon remarquable la topographie du Tell méridional (figures 1, 4).

D'Ouest en Est, cinq essais dénommés A, B, C, D, E sont mis en évidence. Les séismes les plus violents et les plus meurtriers y sont localisés.

Les sources associées à l'essai A s'étendent des Monts des Traras jusqu'aux bordures occidentales du Dahra et de l'Ouarsenis, englobant le Sahel d'Oran (Bouhaddad, 2001) et les Monts des Béni Chougrane. Parmi les événements les mieux répertoriés ayant jalonné ces structures, citons : le séisme d'Oran du 9 octobre 1790 d'intensité X (Boughacha, 2001), le séisme de Mascara du 18 août 1994 de magnitude 5.7 et plus récemment celui de Aïn Témouchent du 22 décembre 1999 de magnitude 5.5.

Après une interruption spatiale, la sismicité prend le relais à travers l'essai B dont les sources semblent dessiner un axe qui s'étend de Ténès à Relizane, en passant par El Asnam. Les structures affectées sont le Dahra, l'Ouarsenis et le Zaccar. Les séismes les plus remarquables sont ceux du 9 septembre 1954 (Rothé, 1955; Rothé *et al.*, 1977) et du 10 octobre 1980 (Ouyed, 1981; Yielding *et al.*, 1989) de magnitudes respectives 6.7 et 7.3. Cet essai B est remarquablement développé par suite de nombreuses répliques consécutives aux tremblements de terre d'El Asnam de 1954 et 1980.

Le Sahel d'Alger (Boudiaf, 1996), les Monts du Chénoua, de Blida et du Titteri sont affectés par les séismes de l'essai C, dont celui du Mont Chénoua ( $M_s=5.9$ ) du 29 octobre 1989 (Meghraoui, 1991; Sebäi, 1997) et celui d'Alger ( $M_s=5.9$ ) du 4 septembre 1996.

La sismicité devient très éparse avec les essais qui affectent la bordure méridionale du Djurdjura (Vallée de la Soummam) et la chaîne des Bibans-Babors, correspondant à l'essai D, ainsi que les Monts du Constantinois (essai E) ébranlés par le séisme de Constantine ( $M_s=5.9$ ) du 27 octobre 1985 (Bounif *et al.*, 1987; Deschamps *et al.*, 1991).

Intercalés entre ces essais, des couloirs des chaînes littorales sont apparus jusque-là dépourvus de sismicité comme le flanc ouest du Dahra (entre Mostaganem et Ténès), les massifs de Tizi-Ouzou, les massifs de Collo et de l'Edough.

La sismicité associée à l'Atlas Saharien est beaucoup plus sporadique, plus modérée et plus éparse que celle de l'Atlas Tellien. Elle affecte les Monts des Ksour, Djebel Amor, les Monts de Ouled Nail et le massif des Aurès. Une sismicité non négligeable affecte les Chotts algériens et tunisiens.

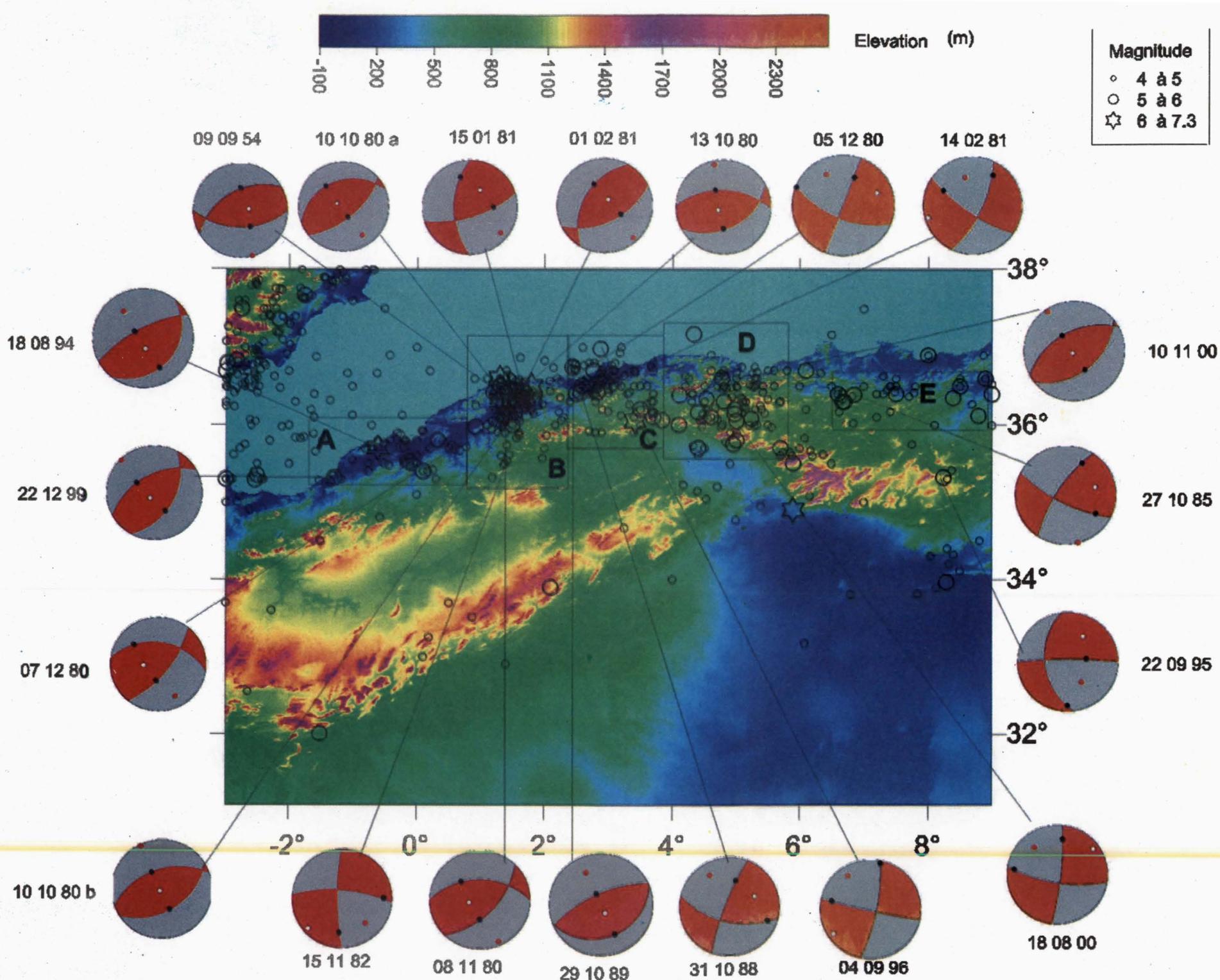
Les Hauts Plateaux, confinés entre les Atlas Tellien et Saharien, exhibent une sismicité très modérée en intensité et en fréquence, en comparaison avec celle associée aux Atlas.

Quant à la sismicité associée à la plate-forme saharienne, Grandjean *et al.*, (1960) rapportent une faible sismicité au niveau du Hoggar. Par rapport à Tamanrasset, les sources sismiques se situent d'une part dans une région classée comme de volcanisme récent, de direction WSW (Bordet, 1952), d'autre part, probablement au Nord de cette même localité, caractérisée par des formations géologiques récentes. Son origine ne peut s'expliquer au sens de la théorie de la Tectonique des Plaques.

Du point de vue de la profondeur, tous les séismes sont superficiels : la profondeur la plus fréquente est de 8 km, sans excéder 25 km (Roussel, 1973 a), ce qui leur confère un potentiel destructeur.

## MÉCANISMES AUX FOYERS

Par mécanisme au foyer, nous entendons la mise en place des contraintes principales confondues avec l'axe P (contrainte la plus compressive), l'axe T (contrainte la moins compressive) et l'axe N (axe neutre correspondant à la contrainte intermédiaire) au niveau de la



**Fig. 3 -** Carte des épicentres des 830 séismes de magnitude supérieure ou égale à 4, qui se sont produits entre 1790 et 2000. Les mécanismes au foyer des principaux séismes pour la période 1954-2000 y sont également représentés en projection de Wulff de l'hémisphère inférieur. Les zones rouges correspondent aux compressions, les blanches aux dilatations. Les cercles noirs représentent les pôles des plans nodaux; les cercles rouges et blancs représentent respectivement les axes P et T.

*Epicenter map of the 830 events of magnitude greater or equal to 4, occurred between 1790 and 2000. Focal mechanisms of main earthquakes (1954-2000) are also represented in Wulff projection (lower hemisphere). Red zones stand for compressions, the white ones for dilatations. Black circles represent the poles of nodal planes; red and white circles represent, respectively, P and T axes.*

source ayant généré le séisme, ainsi que des plans nodaux qui consistent en le plan de faille et le plan auxiliaire.

Ce dernier est le plan perpendiculaire au vecteur glissement, passant par le foyer. La détermination pratique d'un mécanisme au foyer est basée le plus souvent sur la lecture des polarités des sismogrammes au niveau des stations sismologiques des différents réseaux de surveillance.

La théorie montre qu'il y a toujours une ambiguïté entre le plan de faille et le plan auxiliaire, ces deux plans jouant strictement le même rôle du point de vue de la radiation des ondes sismiques. La levée de cette ambiguïté, c'est-à-dire l'identification du plan de faille, à des fins sismotectoniques par exemple, requiert le recours à des éléments d'information de terrain comme la carte macrosismique, les traces de surface générées par le séisme, la tendance des répliques enregistrées en zone épiscopale à l'aide d'un réseau adéquat. Enfin, la qualité d'un mécanisme au foyer dépendra essentiellement de la qualité de la localisation du foyer liée au choix du modèle de vitesse utilisé, ainsi que de la couverture azimutale des stations sismologiques. Une étude détaillée des mécanismes au foyer est passée en revue par Boughacha (1999).

Cependant, la tendance actuelle consiste à faire appel aux techniques d'inversion de la forme d'onde (Bezzeghoud and Buforn, 1999), s'agissant aussi bien des ondes de volume que de surface à partir d'une seule station tricomposante (Jiménez, 1991).

Le premier séisme algérien dont la solution focale a été publiée est celui d'El-Asnam de 1954 par Shirokova (1967). Les premières études de sismicité de l'Algérie concernant les mécanismes aux foyers ont été réalisées par Hatzfeld (1978) et Girardin *et al.*, (1977), suivies par une campagne de microsismicité dans les régions d'El Asnam, Blida, Sétif, à la

veille du séisme d'El Asnam de 1980 (Ouyed et Hatzfeld, 1979). D'autres solutions focales en relation avec la sismotectonique ont été publiées (Meghraoui, 1988).

A une échelle régionale, un catalogue rend compte des mécanismes au foyer des principaux séismes concernant le Bassin Méditerranéen (Udias *et al.*, 1989).

Pour notre part, nous présentons dans cette étude les solutions focales de vingt séismes dont la magnitude est supérieure ou égale à 5, ayant eu lieu entre 1954 et 2000 (tableau II).

A partir des paramètres de ces séismes, qui consistent en les coordonnées des plans nodaux (azimuts et pendages) et des axes P, T et N (connus par leurs azimuts et plongements), nous remontons aux solutions focales correspondantes (Boughacha, 1999) représentées en demi-sphère inférieure (fig. 3).

Les mécanismes aux foyers associés à l'essai A sont ceux des séismes de Mascara du 18 août 1994 et de Aïn Témouchent du 22 décembre 1999, de magnitudes respectives 5.9 et 5.6. Les plans nodaux renseignent sur des jeux de faille inverse, le glissement se faisant pratiquement le long de la ligne de plus grande pente. Seules des indications de terrain (tracé de la carte isoséiste, coupe en profondeur perpendiculairement à la trace de la faille définie par les répliques) devraient permettre de lever l'ambiguïté entre les deux plans nodaux.

Les mécanismes de l'essai B se rapportent aux séismes d'El-Asnam de 1954 et 1980 ainsi que des répliques générées par ce dernier. Ils correspondent à des mécanismes de type inverse, comme pour le séisme principal (10 octobre 1980), à l'exception des séismes du 5 décembre 1980, 14 février 1981 et du 15 novembre 1982 dont les solutions focales présentent une composante de coulissage importante sur un plan orienté

Tableau II - coordonnées des solutions focales des principaux séismes. Les abréviations p, az et g représentent, respectivement, le plongement, l'azimut et le glissement correspondant aux axes P et T, ainsi qu'aux plans nodaux.

*Co-ordinates of main earthquakes focal solutions: p, az and g represent, respectively, plunge and azimuth of P and T axes, and rake of nodal planes.*

N°	Date A M J H M S	Coordonnées géographiques Degrés	Magnitude Ms	Axe T		Axe N		Axe P		Premier plan nodal			Deuxième plan nodal			Référence	Localisation
				p	az	p	az	p	az	az	p	g	az	p	g		
1	1954 09 09 01 04 37.0	36.31 1.47	6.7	80	70	15	255	0	165	240	45	68	90	50	110	Shikorova, 1967	N.E Chlef
2	1980 10 10 12 25 33.7	36.16 1.40	7.2	73	298	8	54	15	146	247	30	105	50	61	81	USGS	Chlef
3	1980 10 10 15 39 11.8	36.25 1.61	6.0	84	227	6	65	2	334	58	43	81	250	47	98	Harvard	N.E Oued Fodda
4	1980 10 13 06 37 39.6	36.31 1.59	5.2	75	239	14	79	5	348	63	42	69	271	51	108	Harvard	N.E Oued Fodda
5	1980 11 08 07 54 19.3	36.12 1.38	5.0	65	257	25	63	5	156	270	45	126	44	55	59	Harvard	S.E. Chlef
6	1980 12 05 13 32 10.0	35.97 1.34	4.9	19	70	61	199	21	333	112	61	-179	21	89	-29	Harvard	S. Chlef
7	1980 12 07 17 37 11.4	36.06 1.30	5.7	56	266	30	54	15	152	277	40	140	39	66	57	Harvard	S. Chlef
8	1981 01 15 04 25 14.1	36.37 1.65	4.6	44	31	44	228	9	130	181	53	29	72	67	139	Harvard	N.E Chlef
9	1981 02 01 13 19 57.7	36.43 1.68	5.4	72	33	17	230	5	138	210	43	64	64	52	112	Harvard	N.E Chlef
10	1981 02 14 13 15 18.7	35.91 1.27	4.8	4	254	61	157	29	346	26	67	-18	124	73	-156	Harvard	S. Chlef
11	1982 11 15 20 07 52.5	35.50 1.38	4.7	6	228	68	334	21	136	274	70	-169	180	80	-20	Harvard	N. Tiaret
12	1985 10 27 19 35 00.3	36.39 6.85	5.9	27	75	63	255	0	165	213	71	20	117	71	160	Harvard	E. Constantine
13	1988 10 31 10 13 01.6	36.42 2.57	5.6	33	68	52	216	16	328	103	55	167	201	79	36	Harvard	S.W El-Afroun
14	1989 10 29 19 09 12.9	36.78 2.44	5.7	69	152	1	245	21	336	68	24	93	245	66	89	Harvard	N. Nador
15	1994 08 18 01 13 09.9	35.52 -1.11	5.9	65	165	8	58	23	325	40	23	70	241	69	98	Harvard	Sig
16	1995 09 22 11 20 12.1	35.32 8.24	5.4	28	31	40	274	37	145	173	41	-8	270	44	-130	USGS	S.E Tébessa
17	1996 09 04 04 14 07.5	36.98 2.88	5.5	7	236	76	118	12	327	11	76	-4	102	86	-166	Harvard	N. Alger
18	1999 12 22 17 37 00.5	35.32 -1.28	5.7	74	218	16	46	2	315	29	5	67	240	49	111	Harvard	O. Ain-Témouchent
19	2000 08 18 18 15 11.8	36.20 4.97	5.2	7	54	69	163	19	321	99	71	-171	6	81	-19	USGS	S.E Guenzet
20	2000 11 10 20 10 57.7	36.60 4.77	5.9	82	118	4	239	7	329	64	38	97	235	52	85	Harvard	Béni-Ourtilane

NS (senestre) ou EW (dextre). Les études de terrain (Ouyed, 1981; Philip et Meghraoui, 1983) mettent en évidence un jeu de faille inverse compatible avec le mécanisme obtenu pour le séisme principal.

A l'essai C sont associés les mécanismes des séismes de Oued-Djer (31 octobre 1988), de Tipaza (29 octobre 1989) et d'Alger (4 septembre 1996). Le second est induit par le jeu d'une faille inverse pure plongeant vers le NW, comme le conforte l'étude des répliques (Afroun et Azizi, 1992). Les premier et dernier événements sont associés à des failles de décrochement dont les mécanismes sont proches de ceux de l'essai B.

Les mécanismes de l'essai D correspondent aux séismes du 18 août 2000 et du 10 novembre 2000, avec des mécanismes en décrochement et compression presque purs, respectivement.

L'essai E comprend un seul événement sismique qui est celui de Constantine du 27 octobre 1985. Il correspond au jeu d'une faille proche de la verticale coulissant horizontalement : le plan de faille est celui orienté NE-SW tel que mis en évidence par des études des répliques (Deschamps *et al.*, 1991; Bounif *et al.*, 1987).

Le mécanisme du séisme du 22 septembre 1995 (dans la région de Tébessa) est très proche de celui du séisme de Constantine.

En vue d'avoir une idée sur l'organisation du champ de contraintes dans la région d'étude, nous nous intéressons à la direction des axes P. En effet, la contrainte régionale appliquée, de direction NNW-SSE, est de nature compressive et proche de l'axe P; l'axe T sera orienté en fonction de la nature de la faille mise en jeu.

La figure 4 représente, en projection stéréographique de la demi-sphère inférieure, les axes P des vingt séismes étudiés. En vue de rechercher l'orientation moyenne de l'axe P, les demi-droites représentatives dont l'azimut est compris entre  $90^\circ$  et  $180^\circ$  sont ramenées à la demi-sphère supérieure. Cette opération implique que les azimuts correspondants augmentent de  $180^\circ$ ; quant aux pendages, ils changent de signe. L'axe P moyen résultant montre un azimut de  $330^\circ$  et un plongement de  $3^\circ$ , proche de l'horizontale (fig. 4).

Ce résultat conforte celui obtenu par des mesures directes concernant la direction de raccourcissement dans la région ibéro-maghrébine (Groupe de Recherche Néotectonique de l'Arc

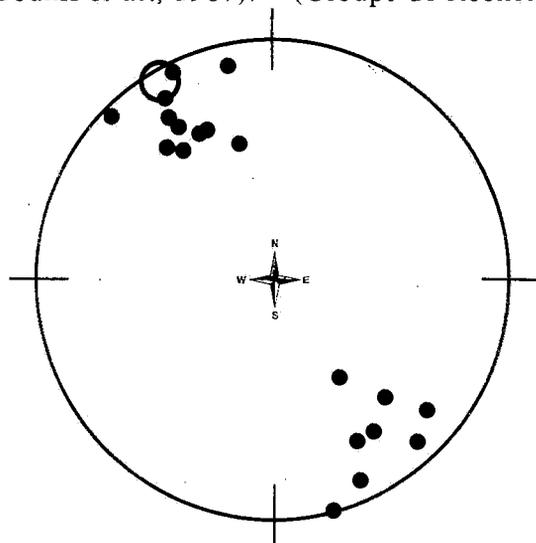


Fig. 4 Répartition des axes P (cercles noirs) en projection de Wulff de l'hémisphère inférieure. Le cercle ouvert représente l'axe P moyen : celui-ci, très proche de l'horizontale, a un plongement de  $3^\circ$  et un azimut de  $330^\circ$ .

*Distribution of P axes in lower hemisphere of Wulff projection. Open circle stands for the mean value.*

de Gibraltar, 1977). Il est également en accord avec la direction moyenne de la vitesse interplaques en Algérie, calculée dans la présente étude. En effet, l'azimut moyen est de  $330^\circ$  pour des points couvrant l'Algérie d'Est en Ouest.

Il est à noter que nous avons obtenu deux types de mécanismes au foyer :

- Des solutions focales en faille inverse sur des plans orientés NE-SW.
- Des mécanismes de coulissage sur des plans sub-verticaux orientés NS (composante senestre) et EW (composante dextre).

Ces deux types de mécanismes sont compatibles avec l'orientation des axes P et la direction de raccourcissement inter-plaques.

## CONCLUSION

La carte des épacentres, quoique se rapportant à des événements qui couvrent une tranche très réduite de l'historique de la sismicité de l'Algérie, donne une image claire de sa répartition spatiale : les sources sismogènes les plus actives sont localisées dans les chaînes littorales et coïncident avec de grands sites urbains à l'instar de Aïn Témouchent, Oran, El-Asnam, Alger, Constantine.

Toutes les sources sont superficielles, ce qui leur confère un potentiel destructeur. La sismicité associée à la plate-forme saharienne est très mal connue : une campagne de sismicité serait souhaitable en vue d'en préciser les sources dans l'espace, ainsi que leurs mécanismes.

Les mécanismes aux foyers calculés sont ceux associés aux principaux séismes de la chaîne tellienne : ils mettent en évidence que celle-ci est sujette à un champ de contrainte de type compressif. Celui-ci se caractérise par une direction

très proche de l'horizontale, d'orientation NNW-SSE, en conformité avec des études de Néotectonique, ainsi qu'avec la direction de rapprochement des Plaques Eurasie et Afrique. Le vecteur vitesse interplaques associé, a une intensité moyenne de 6mm/an et un azimut de  $330^\circ$ .

## BIBLIOGRAPHIE

- AFROUN, N. ET AZIZI, D., 1992. Analyse des répliques du séisme du Mont Chenoua (Algérie) du 29 octobre 1989 (M=6.0). *Mémoire d'Ingénieur d'Etat en Géophysique*. USTHB, 57 p.
- ANZIDEI, M., BALDI, P., CASULA, G., GALVANI, A., KAILOUCHE, S., PESCI, A., RIGUZZI, F., SAADI, N., TOUAM, S. AND ZANUTTA, A., 1999. First GPS measurements across the Central-Western Mediterranean area. *Annali di Geofisica*, Vol. 42, N.1. February 1999, 115-120.
- AOUDIA, A., VACCARI, F., SUIHADOLC, P. AND MEGHIRAOU, M., 2000. Seismogenic potential and earthquake hazard assessment in the Tell Atlas of Algeria. *Journal of Seismology*, 4, 79-88.
- BENHALLOU, H., 1985. Les catastrophes séismiques de la région d'Echelif dans le contexte de la sismicité historique de l'Algérie. *Thèse de Doctorat d'Etat ès-Sciences*, USTHB, Alger, 294 p.
- BENOUAR, D., 1994. Materials of the investigation of the seismicity of Algeria and adjacent regions during the twentieth century. Instituto Nazionale di Geofisica. *Annali di Geofisica*, Volume XXXVII, N°4, 860p.
- BEZZEGHIOUD, M., AYADI, A., SÉBAÏ, A. AND BENHALLOU, H., 1993. Seismicity of Algeria between 1365 and 1965: Map of Maximum Observed Intensities (MOI). *Avances en Geofísica*, vol.1, año 1, 107-114.
- BEZZEGHIOUD, M., AYADI, A., SÉBAÏ, A. AND BENHALLOU, H., 1994. Seismogenic zone survey by Algerian Telemetered Seismological Network; case-study of Rouina earthquake, 19 January 1992. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 84. 235-246.

- BEZZEGHOUD, M. AND BUFORN, E., 1999. Source parameters of the 1992 Melilla (Spain, Mw=4.8), Alhoceima (Morocco, Mw=5.8), and 1994 Mascara (Algeria, Mw=5.7) earthquakes and seismotectonic implications. *Bull. Seism. Soc. Am.* 89, 2, 359-372.
- BORDET, P., 1952. Les appareils volcaniques récents du Hoggar. *XIX<sup>e</sup> Congrès Géologique International. Monographies Régionales, 1<sup>ère</sup> série n° 11.*
- BOUDIAF, A., 1996. Etude sismotectonique de la région d'Alger et de la Kabylie (Algérie). Utilisation des Modèles Numériques de Terrain (MNT) et de télédétection pour la reconnaissance des structures tectoniques. *Thèse de Doctorat*, Université de Montpellier II, France, 274p.
- BOUGHACHA, M.S., 1999. Les mécanismes au foyer. *Conférence Internationale sur la Séismicité, le Génie Parasismique et la Gestion des Catastrophes Naturelles en Algérie-USTHB* - Bab Ezzouar les 23, 24, 25 mai 1999. Proceedings.
- BOUGHACHA, M.S., OUYED, M., AYADI, A. AND BENHALLOU, H., (À PARAÎTRE). Seismicity and Seismic Hazard Mapping of Northern Algeria: Map of Maximum Calculated Intensities (MCI). *Journal of Seismology*.
- BOUGHACHA, M.S., 2001. La période sismique oranaise de 1790 à la lumière des archives espagnoles. Traduit de l'Espagnol. *Publication du Département de Géophysique, FSTGAT, USTHB*, 62p.
- BOUIADDAD, Y., 2001. The Murdjadjo, Western Algeria, fault-related fold: implications for seismic hazard. *Journal of Seismology*, 5: 541-558.
- BOUNIF, M.O, HAESLER, H., MEGHIRAOUI, M., 1987. The Constantine (North Algeria) earthquake of October 27, 1987: Surface ruptures and aftershock study. *Earth and Planetary Science Letters*. 85, 451-460.
- BUFORN, E., UDIAS, A. AND MEZCUA, J., 1988. Seismicity and focal mechanisms in south Spain. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 78, 2008-2023.
- BUFORN, E., SANZ DE GALDENAO, C. AND UDIAS, A., 1995. Seismotectonics of the Ibero-Maghrebian region. *Tectonophysics*, 248, 247-261.
- DE MONTESSUS DE BALLORE, F., 1906. Les tremblements de terre. Géographie sismique. *Librairie Armand Colin, France*, 471 p.
- DE METS, C., GORDON, R. G., ARGUS, D. F. AND STEIN, S., 1990. Current plate motions. *Geophys. J. Int.*, 101, 425-478.
- DE METS, C., GORDON, R. G., ARGUS, D. F. AND STEIN, S., 1994. Effect of recent revision to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plates motions. *Geophysical Research Letters*, Vol. 21, N° 20, 2191-2194.
- DESCHAMPS, A., BEZZEGHOUD, M. AND BOUNIF, A., 1991. Seismological study of the Constantine (Algeria) earthquake (27 October 1985). *Publicación IGN. Subdirección General de Astronomía y Geofísica. Instituto Geográfico Nacional Série N°8*, Spain, 183-173.
- GIRARDIN, N., HATZFELD, D. AND GUIRAUD, R., 1977. La sismicité du nord de l'Algérie. *C. R. somm. Soc. Géol. Fr.*, fasc. 2, 95-100.
- GRANDJEAN, A., PINON, R. ET BUCHER, A., 1960. Les séismes du Hoggar. *Note interne, Institut de Physique du Globe d'Algérie*, 4p.
- GROUPE DE RECHERCHE NÉOTECTONIQUE DE L'ARC DE GIBRALTAR, 1977. Conclusions générales. Signification géodynamique. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, N°3, 605-614.
- HATZFELD, D., 1978. Etude sismotectonique de la zone de collision ibéro-maghrébine. *Thèse de Doctorat ès Sciences*. Institut de Recherches Interdisciplinaires en Géologie et Mécanique. Grenoble, France.
- JIMÉNEZ, E., 1991. Focal mechanisms of some European earthquakes from the analysis of single station long-periods record. *Publication IGN. Monographie N°8*, 87-96.

- LAMMALI, K., BEZZEGHOUD, M., OUSSADOU, F., DIMITROV, D., AND BENHALLOU, H., 1997. Post seismic deformation at El Asnam (Algeria) in the seismotectonic context of northwestern Algeria. *Geophys. J. Int.*, 129, 597-612.
- McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Astronom. Soc.*, 30, 109-185.
- MEGHRAOUI, M., 1988. Géologie des zones sismiques du Nord de l'Algérie. *Thèse de doctorat ès Sci.* Univ. de Paris Sud, Orsay, France, 356 p.
- MEGHRAOUI, M., 1991. Blind reverse faulting system associated with the Mont Chenoua-Tipaza earthquake of 29 October 1989 (North-Central Algeria). *Terra Nova*, 3, 84-93.
- MEZCUA, J. AND MARTÍNEZ SOLARES, J. M., 1983. Sismicidad del Area Ibero-Mogrebi. Publicación 203. *Presidencia del Gobierno. Instituto Geográfico Nacional.* Madrid, 301 p.
- MEZCUA, J., RUEDA, J., MARTÍNEZ SOLARES, J.M., 1991. Seismicity of the ibero-maghrebian region. *Publicación IGN. Subdirección General de Astronomía y Geofísica. Instituto Geográfico Nacional.* Série n°8, Spain., 17-28.
- MINSTER, J.B., JORDAN, T.H., 1978. Present-day plate motions. *J. Geophys. Res.*, 83, 5331,5354.
- MOKRANE, A., AÏT MESSAOUD, A. SEBAÏ, A., MENIA, N., AYADI, A., BEZZEGHOUD, M., 1994. Les séismes en Algérie de 1365 à 1992. Sous la direction de Bezzeghoud M. et H. Benhallou. *Publication du CRAAG. Département ESS*, 277 p.
- OTT D'ESTEVOU, P., MONTENAT, C., 1985. Evolution structurale de la zone bétique orientale (Espagne) du Tortonien à l'Holocène. *C. R. Acad. Sci. Paris 300, II, 8*, 363-368.
- OUYED, M. ET HATZFELD, D., 1979. Etude de microsismicité en Algérie du Nord. *Geosciences* N°1, 1-17.
- OUYED, M., 1981. Le tremblement de terre d'El-Asnam du 10 octobre 1980. Etude des répliques. *Thèse de doctorat de 3ème Cycle*, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 237 p.
- OUYED M., YIELDING, G., HATZFELD, D. AND KING, G.C.P., 1983. An aftershock study of the El Asnam (Algeria) earthquake of 1980 October 10. *Geophys. J. R. astr. Soc.* 73, 605-639.
- PHILIP, H., AND MEGHRAOUI, M., 1983. Structural analysis and interpretation of the surface deformations of the El Asnam earthquake of October 10, 1980, *Tectonics*, 2, 17-49.
- ROTHÉ, J.P, 1950. Les séismes de Kherrata et la sismicité de l'Algérie. *Bulletin du Service de la Carte géologique de l'Algérie*, 4e série, Géophysique, n°3, 40 p.
- ROTHÉ, J.P, 1955. Le tremblement de terre d'Orléansville et la sismicité de l'Algérie. *Extrait de la Nature*, N° 3237, Dunod, 1-9.
- ROTHÉ, J.P, LEVRIER, C., TRUILLET, R., 1977. Les déformations liées au séisme de 1954 d'El-Asnam (ex Orléansville, Algérie). *Bull. Soc. Géol. France.* Tome XIX, n°3, 641-644.
- ROUSSEL, J., 1973 a. L'activité sismique en Algérie de 1951 à 1970 inclus. *Extrait du Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord.* Tome 64 (1973)- Fascicules 3 et 4. *Imp. SNED - Alger*, 185-210.
- ROUSSEL, J., 1973 b. Les zones actives et la fréquence des séismes en Algérie (1716-1970). *Extrait du Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord.* Tome 64 (1973)- Fascicules 3 et 4. *Imp. SNED-Alger*, 211-228.
- SEBAÏ, A., 1997. Analyse sismologique des séismes récents du Sahel d'Alger. *Thèse de Magister.* Institut des Sciences de la Terre, U S T H B, Alger, 178 p.
- SHAH, H.C., MORGAT, C.P., 1978. Seismic Hazard Analysis of Algeria. *The John A. Blume Earthquake Engineering Center. Department of Civil Engineering. Stanford Uni.* June 1978, 178 p.
- SHIROKOVA, E.I, 1967. General features in the orientation of principal stress in earthquake focal in the Mediterranean-Asian belt. *Izv., earth physics*, n°1, 22-36.

- TURCOTTE D. L., SCHUBERT, G., 1982.** Geodynamics. Application of Continuum Physics to Geological Problems. *John Wiley and Sons*, 437 p.
- UDIAS, A., BUFORN, E. AND RUIZ DE GAUNA, J., 1989.** Catalogue of focal mechanisms of European earthquakes. *Department of Geophysics. Universidad Complutense, Madrid*, 274 p.
- UDIAS, A. AND BUFORN, E., 1991.** Regional stresses on the Eurasia -Africa plate boundary derived from focal mechanisms of large earthquakes. *Pageoph*, 136, 433-448.
- YIELDING, G., OUYED, M., KING, G.C.P. AND HATZFELD, D., 1989.** Active tectonics of the Algerian Atlas mountains: evidence from aftershocks of the 1980 El Asnam earthquake. *Geophys. J. Int.*, 99, 761-788.