

LE SÉISME DE GDEYEL (ORAN) DU 26 JUIN 2022 (M_w= 4,3) : ÉTUDE SISMOLOGIQUE ET IMPLICATION SISMOTECTONIQUE

Amar BENFEDDA*, Moustafa ABOUDA*, Abdennasser SLIMANI*, Djamel HADDOUCHE*,
Khadidja ABBES*, Aghilès NEKMOUCHE et Youcef BOUHADAD*

RÉSUMÉ

Le 26 juin 2022 à 20h17min (heure locale, soit GMT+1), la région d'Oran (Nord-Ouest de l'Algérie) a été secouée par un tremblement de terre enregistré par plusieurs stations des réseaux sismologiques, nationaux et internationaux. Le séisme n'a pas causé de pertes en vies humaines, mais des dégâts très limités sont représentés par des fissures dans les bâtiments anciens, dans les localités de Gdeyel, Arzew et Mahgoun. Dans ce travail, une étude sismologique du séisme a été menée en utilisant les enregistrements du réseau national d'accélérographes. Un calcul des hypocentres du choc principal et de la réplique survenue une minute plus tard a été effectué. Les deux hypocentres sont localisés à terre, à la limite du trait de côte au NE de Gdeyel. Aussi, l'inversion des enregistrements a permis d'avoir les paramètres du séisme, à savoir le moment sismique et la magnitude du moment correspondante. Le moment sismique obtenu est de $M_0 = 4,211 \times 10^{15}$ Nm, correspondant à une magnitude de moment $M_w = 4,3$. La profondeur du centroïde est de 3,5 km. En termes de mécanisme au foyer, la solution obtenue montre un décrochement pur dont les plans sont orientés dans les directions N-S et E-O. Ce résultat est très intéressant, car les tremblements de terre dans la région d'étude donnent souvent des solutions de failles inverses. Enfin, l'accélération maximale a été enregistrée au niveau de la station d'Arzew qui a donné une valeur de 0,15 g, dans la direction E-O.

Mots-clés - Séisme - Accélérogrammes - Paramètres de source - Inversion - Gdeyel (Oran).

THE GDEYEL (ORAN) EARTHQUAKE OF JUNE 26, 2022 (M_w= 4.3): SEISMOLOGICAL STUDY AND SEISMOTECTONIC IMPLICATION

ABSTRACT

On June 26, 2022, at 20h17min (GMT+1), the region of Oran (NW of Algeria) was hit by an earthquake recorded by several stations of national and international seismological networks. The earthquake did not cause any loss of human lives, but caused minor damages, represented by cracks in old buildings in the localities of Gdeyel, Arzew, and Mahgoun. In this work, a seismological study of this earthquake has been conducted using the accelerometric recordings of the National Network of Accelerographs. A calculation of the hypocenters of the main shock and the aftershock that occurred one minute later has been carried out. The

*Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS), 1 Rue Kadour Rahim, H.Dey, Alger-Algérie.

Auteur correspondant : Benfedda Amar. E-mail : amar.benfedda@gmail.com

- *Manuscrit déposé sur l'ASJP* le 07 novembre 2022, accepté après révision le 29 mai 2023.*

*ASJP : Algerian Scientific Journal Platform.

two hypocenters are located on land, at the coastline boundary NE of Gdeyel. Also, we inverted the seismograms recordings in order to obtain the seismic parameters of the main shock. The obtained seismic moment is $M_0 = 4.211 \times 10^{15}$ (Nm), which corresponds to a moment magnitude of $M_w = 4.3$. The centroid depth is 3.5 km, confirming the shallow character of seismicity in the study region. In terms of focal mechanism, the obtained solution consists of a pure strike slip, in which the nodal planes are oriented in N-S and E-W directions. This result is very interesting since, often, earthquakes in the study region yield reverse faulting solutions. Finally, the maximum acceleration was recorded at the Arzew station with a value of 0.15 g in the E-W direction.

Keywords - Earthquake - Accelerogram - Source parameters - Inversion - Gdeyel (Oran).

I- INTRODUCTION

Le Nord de l'Algérie est le siège de l'occurrence de séismes de différentes magnitudes, plus ou moins fréquents et parfois destructeurs (Benhallou, 1985 ; Ambraseys et Vogt, 1988 ; Benouar, 1994 ; Bezzeghoud *et al.*, 1996 ; Bouhadad, 2013 ; Ayadi et Bezzeghoud, 2015 ; Harbi *et al.*, 2015, 2017 ; Bouhadad *et al.*, 2022).

Le développement des réseaux sismologiques, algériens et internationaux, a fait que les séismes soient de mieux en mieux enregistrés et étudiés, permettant ainsi un saut qualitatif dans la compréhension sismotectonique de la région (Beldjoudi *et al.*, 2016 ; Khélif *et al.*, 2018 ; Abbas *et al.*, 2019 ; Abbas *et al.*, 2022 ; Bouhadad *et al.*, 2022). Cette sismicité est liée à la présence de failles actives, souvent inverses, parfois associées à des plis dissymétriques, tel que montré par plusieurs travaux (Meghraoui *et al.*, 1986 ; Aoudia et Meghraoui, 1995 ; Bouhadad, 2001 ; Deverchere *et al.*, 2005 ; Maouche *et al.*, 2011, 2019 ; Beldjoudi *et al.*, 2016 ; Benfedda *et al.*, 2017 ; Khelif *et al.*, 2018 ; Benbakhti *et al.*, 2018 ; Abbouda *et al.*, 2019 ; Derder *et al.*, 2019). La figure 1 montre le cadre sismotectonique de la région de l'Oranie.

Le 26 juin 2022 à 20h17 min (heure locale, soit GMT+1), la région d'Oran (NO de l'Algérie) a été secouée par un tremblement de terre enregistré par plusieurs stations des réseaux sismologiques, nationaux et internationaux (tabl. I). Selon le bilan de la protection civile, ce séisme

n'a pas causé de victimes ni d'effondrements de bâtisses, à part quelques fissures sur quelques habitations anciennes datant de la période coloniale (fig. 2). Par ailleurs, une grande panique s'était emparée des habitants de la partie ouest de la wilaya d'Oran, notamment Gdeyel, Arzew et Mahgoun. Le séisme a été également enregistré par plusieurs stations accélérométriques du réseau national d'accélérographes, géré par le Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS) (tabl. II et fig. 1).

Historiquement, la région de Gdeyel a été affectée par un séisme de magnitude $M_s = 4,5$ et d'intensité macrosismique ($I_0 = VII$) en date du 12 décembre 1959 (Benouar, 1994). Ce séisme a causé les mêmes effets, soit des fissures sur des constructions anciennes et la panique parmi la population. L'épicentre macrosismique proposé par Benouar (1994) est le suivant: (35,75N ; 0,53O).

Dans ce travail, il est proposé d'étudier le séisme de Gdeyel en utilisant les enregistrements accélérométriques du réseau national d'accélérographes. Le travail consiste en : (i) la localisation du choc principal et de la plus grande réplique l'ayant suivi environ 01 minute après ; (ii) l'estimation du moment sismique (M_0) ainsi que la magnitude correspondante (M_w) pour le choc principal ; (iii) la détermination du mécanisme au foyer ; (iv) la discussion des accélérations maximales enregistrées ; et enfin (v) la discussion des résultats dans le contexte sismotectonique du Nord de l'Algérie.

LE SÉISME DE GDEYEL (ORAN) DU 26 JUILLET 2022 ($M_w=4,3$) : ÉTUDE SISMOLOGIQUE ET IMPLICATION SISMOTECTONIQUE

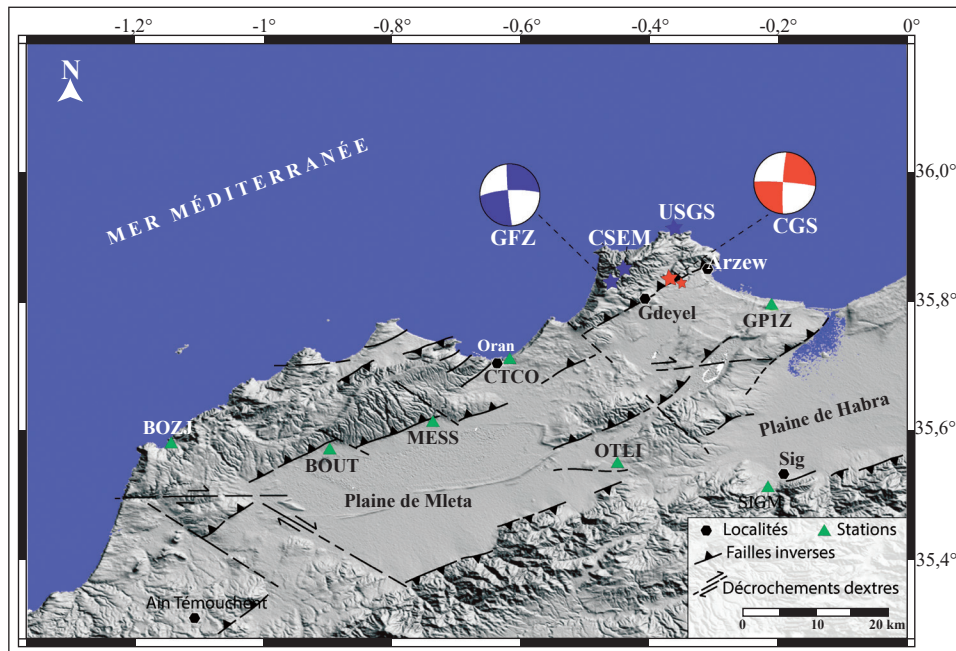


Fig. 1- Localisation du séisme d'Oran du 16 juin 2022 ($M_w=4,3$). Les étoiles bleues représentent les localisations données par les organismes internationaux (CSEM, GFZ et USGS). Les étoiles rouges (grande: choc principal ; petite : réplique survenue une minute après) représentent la localisation obtenue dans ce travail. Les triangles verts représentent les stations du réseau national d'accélérographes ayant enregistré le choc principal (tabl. I). Les mécanismes focaux en couleurs bleu et rouge sont, respectivement, celui donné par GFZ et celui obtenu dans ce travail. Le cadre sismotectonique, notamment les failles, est synthétisé à partir des travaux de Thomas (1985), Meghraoui (1988), Bouhadad (2001), Belabbes *et al.* (2009), Benbakhti *et al.* (2018), Abbouda *et al.* (2019).

Location of the Oran earthquake of June 16, 2022 ($M_w=4.3$). The blue stars represent the locations given by international organizations (CSEM, GFZ, and USGS). The red stars (large: main shock ; small: aftershock that occurred one minute later) represent the location obtained in this work. The green triangles represent the stations of the national accelerograph network that recorded the main shock (tabl. I). The focal mechanisms in blue and red colors are, respectively, the one given by GFZ and that obtained in this work. The seismotectonic framework, particularly the faults, is summarized based on the works of Thomas (1985), Meghraoui (1988), Bouhadad (2001), Belabbes *et al.* (2009), Benbakhti *et al.* (2018) and Abbouda *et al.* (2019).

Tableau I- Localisation et magnitude données par les organismes internationaux et celles obtenues dans cette étude. ¹Choc principal, ²Réplique.

Location and magnitude provided by international organizations and the ones obtained in this study. ¹Main shock, ²Aftershock.

Organismes	Lat (°)	Long (°)	Profondeur (km)	Magnitude
CSEM ¹	35,85 N	0,44 O	10	mb = 4,5
USGS ¹	35,913 N	0,363 O	10	mb = 4,5
GFZ ¹	35,83 N	0,46 O	10	$M_w = 4,5$
Cette étude ¹	35,835 N	0,369 O	9,6	$M_w = 4,3$
Cette étude ²	35,827 N	0,350 O	5,9	/



Fig. 2 - Photographies montrant l'effet du séisme (choc principal) sur certaines bâtisses anciennes dans la ville d'Arzew. Il s'agit de fissures dans les murs en maçonnerie ancienne (photographie à gauche) et de chutes des faux plafonds (photographie à droite).

Photographs showing the effect of the earthquake (main shock) on certain old buildings in the town of Arzew. Cracks in old masonry walls (photograph on the left) and ceilings falls (photograph on the right).

Tableau II- Les coordonnées géographiques des stations du réseau national d'accélérographes utilisées dans cette étude. La distribution spatiale des stations est montrée sur la figure 1.

The geographical coordinates of the stations of the national accelerograph network used in this study. The spatial distribution of the stations is shown in figure 1.

Code station	Latitude (°)	Longitude (°)
Sonatrach Arzew (GP1Z)	35,799N	0,213O
Sig (SIGM)	35,515N	0,217O
APC Boutelilis (BOUT)	35,574N	0,897O
Messerghine (MESS)	35,617N	0,737O
Bouzedjar (BOZJ)	35,583N	1,143O
CTC Oran (CTCO)	35,714N	0,618O
APC Oued Tlilet (OTLI)	35,552N	0,451O

II- CADRE SISMOTECTONIQUE ET SISMICITÉ HISTORIQUE

La région d'étude appartient à la partie occidentale de l'Atlas tellien du Nord de l'Algérie, une zone inter-plaques caractérisée par la convergence des plaques lithosphériques d'Afrique et d'Eurasie dans la direction NO-SE (Demets *et*

al., 1990 ; Nocquet et Calais, 2004 ; Bougrine *et al.*, 2019) (fig. 3). Par conséquent, plusieurs tremblements de terre se sont produits dans le passé (Benhallou, 1985 ; Ambraseys et Vogt, 1988 ; Benouar, 1994 ; Bezzeghoud *et al.*, 1996 ; Boughacha *et al.*, 2004 ; Ayadi et Bezzeghoud, 2015 ; Harbi *et al.*, 2015 ; Harbi *et al.*, 2017 ; Chimouni *et al.*, 2018 ; Kariche *et al.*, 2018).

LE SÉISME DE GDEYEL (ORAN) DU 26 JUIN 2022 ($M_w=4,3$) : ÉTUDE SISMOLOGIQUE ET IMPLICATION SISMOTECTONIQUE

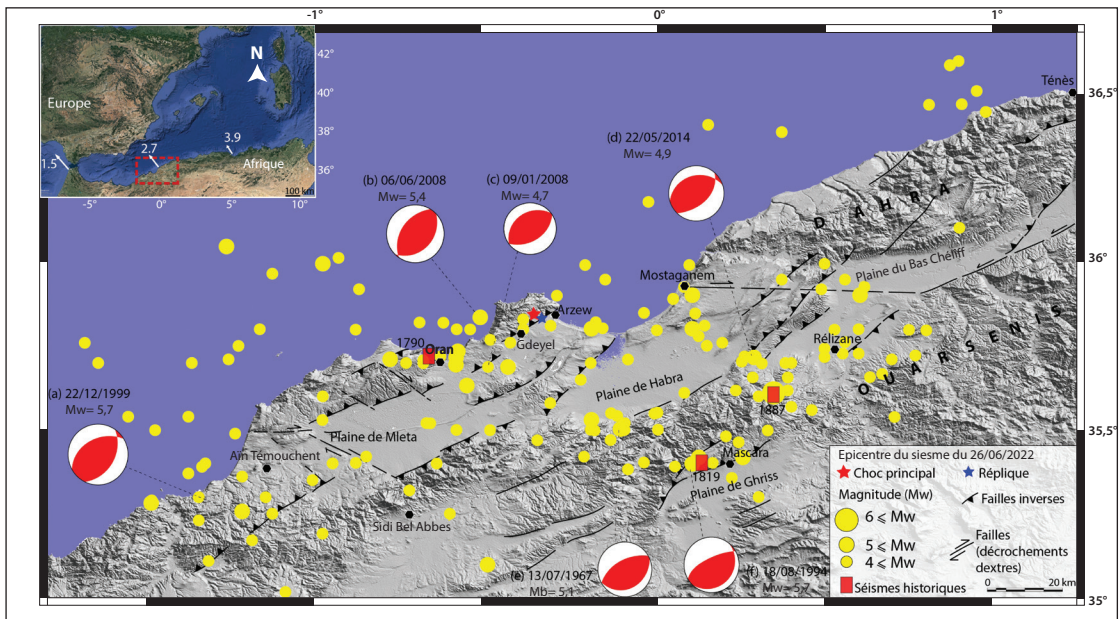


Fig. 3- Contexte sismotectonique et sismicité de la région du Nord-Ouest algérien. La sismicité est de Belayadi *et al.* (2017). Les failles actives sont de Thomas (1985), Meghraoui (1988), Bouhadad (2001), Belabbes *et al.* (2009), Benbakhti *et al.* (2018), Abbouda *et al.* (2019). Les mécanismes focaux sont de : (a) et (f) Global CMT, (b) et (c) Benfedda *et al.* (2020), (d) Abbouda *et al.* (2018), (e) McKenzie (1972). L'icône en haut à gauche indique la zone d'étude (petit carré rouge) et la convergence entre les plaques africaine et eurasiatique avec la vitesse et la direction du mouvement (flèches blanches) selon Serpelloni *et al.* (2007). L'étoile rouge indique l'épicentre du séisme de Gdeyel du 26 juin 2022 et l'étoile bleue indique la réplique principale survenue 01 minute après le choc principal, déterminés dans cette étude.

Seismotectonic context and seismicity of the North West Algerian region. *Seismicity is from Belayadi et al. (2017). Active faults are from Thomas (1985), Meghraoui (1988), Bouhadad (2001); Belabbes et al. (2009), Benbakhti et al. (2018), Abbouda et al. (2019). Focal mechanisms are of : (a) and (f) Global CMT ; (b) and (c) Benfedda et al. (2020) ; (d) Abbouda et al. (2018) ; (e) McKenzie (1972). The top left inset indicates the study area (small red square) and the convergence between the African and Eurasian plates with the speed and direction of movement (white arrows) according to Serpelloni et al. (2007). The red star indicates the epicenter of the Gdeyel earthquake of June 26, 2022 and the blue star indicates the main aftershock that occurred 01 minute later, as determined in this study.*

Les tremblements de terre les plus significatifs sont ceux d'Alger du 2 février 1365 et 3 janvier 1716, celui d'Oran du 9 octobre 1790 ($I_o=X$), ceux d'El Asnam du 9 septembre 1954 ($M_s=6,5$) et du 10 octobre 1980 ($M_s=7,3$) et enfin, celui de Zemmouri du 21 mai 2003 ($M_w=6,8$) (Ouyed *et al.*, 1981 ; Meghraoui, 1988 ; Meghraoui *et al.*, 2004 ; Bezzeghoud *et al.*, 1995 ; Ayadi et Bezzeghoud, 2015 ; Bufforn *et al.*, 2019).

Dans la région de l'ouest algérien, plusieurs séismes de magnitudes fortes à modérées sont survenus dans le passé. L'événement sismique historique le plus étudié est le séisme d'Oran du

9 octobre 1790 ($I_o=X$) qui aurait fait 3000 morts et étant à l'origine d'une vague de tsunami qui aurait été enregistrée dans le sud de l'Espagne (Lopez-Marinhas et Salord, 1991 ; Boughacha, 2001 ; Chimouni *et al.*, 2018 ; Bufforn *et al.*, 2019). On peut citer aussi les séismes de Mascara de 1819 ($I_o=X$) et de 1851 ($I_o=X$) ainsi que le séisme d'El Kalaa en 1887 ($I_o=X$) (Mokrane *et al.*, 1994 ; Ayadi et Bezzeghoud, 2015). Depuis, la région semblait rentrer dans un calme sismique pour une longue période (Ayadi *et al.*, 2002) qui a été interrompu par le séisme de Gdeyel du 12 décembre 1958 ($M_s = 4,7$) (Benouar, 1994). Durant les dernières décennies, plusieurs

séismes sont survenus, étant bien étudiés pour la plupart d'entre eux en raison de la disponibilité de données fournies grâce au développement des réseaux sismologiques algériens et internationaux ; il s'agit des séismes de Mascara du 18 aout 1994 ($M_s=5,6$), (Benouar *et al.*, 1994 ; Bezzeghoud et Buform, 1999), de Aïn Témouchent du 22 décembre 1999 ($M_s=5,6$) (Yelles *et al.*, 2004 ; Belabbes *et al.*, 2009), de Bouguirat du 14 mai 2014 ($M_s=4,9$) (Abbouda *et al.*, 2018) et d'Oran du 9 janvier 2008 ($M_w=4,7$) et 6 juin 2008 ($M_w=5,6$) (Benfedda *et al.*, 2020).

Cette sismicité est due à la présence de failles actives inverses, souvent associées à des plis, orientées NE-SO et disposées en échelon (Meghraoui *et al.*, 1986 ; Bouhadad, 2001 ; Benbakhti *et al.*, 2018 ; Abbouda *et al.*, 2019 ; Maouche *et al.*, 2019). La disposition des failles en échelon est expliquée par la présence de décrochements

E-O profonds, induisant une délimitation de blocs, liés à la convergence entre l'Afrique et l'Eurasie qui a évolué du N-S au NNO-SSE (Meghraoui et Pondrelli, 2012 ; Derder *et al.*, 2013).

III- MÉTHODE ET DONNÉES UTILISÉES

Le séisme de Gdeyel a été enregistré par 07 stations accélérométriques triaxiales digitales (type Kinematics ETNA et ETNA2). Les coordonnées des stations ainsi que la configuration du réseau sont montrées, respectivement, dans le tableau II et sur la figure 1. Les données utilisées dans cette étude sismologique consistent en l'enregistrement du choc principal ainsi qu'une réplique survenue juste après le choc principal (fig. 4). Les stations sont équipées de GPS afin d'assurer la synchronisation entre elles.

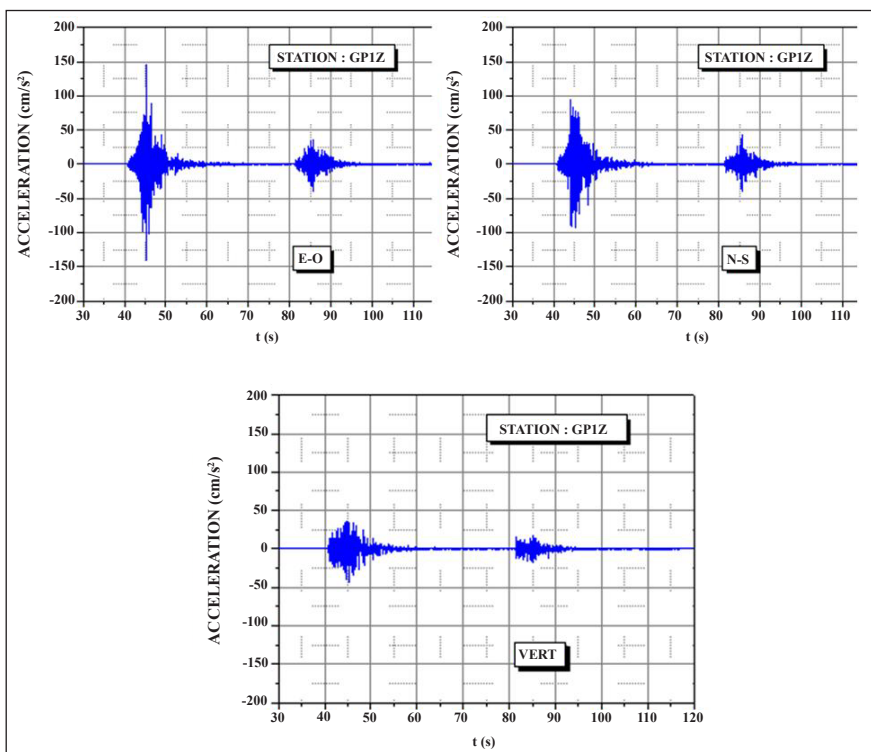


Fig. 4 - Signaux (sismogrammes) du choc principal et de la réplique qui l'a suivi environ 01 minute après, enregistrés par la station d'Arzew (GP1Z), dans les trois directions Est-Ouest, Nord-Sud et Verticale.

Signals (seismograms) of the main shock and the aftershock which followed about 01 minute later, recorded by the Arzew station (GP1Z), in the three directions East-West, North-South and Vertical.

Les temps d'arrivée des ondes P et S ont été déterminés pour les deux événements (le choc principal et la réplique) en utilisant le logiciel SEISAN (Ottemöller *et al.*, 2016). Ensuite, le code HYPOINVERSE (Klein, 2002) a été utilisé pour la localisation. Plusieurs modèles de vitesses en l'occurrence ceux de Jeffreys et Bullen (1958) ; Bounif *et al.* (2004) et Semmane *et al.* (2005) ont été utilisés. Ceux-ci donnaient presque la même grandeur d'erreur en termes de rms, erh et erz. Le modèle de Semmane *et al.* (2005) a été retenu.

Enfin, pour la détermination des paramètres de source, une inversion des enregistrements accélérométriques a été réalisée en utilisant le code de Yagi et Nishimura (2011). La procédure comprend trois étapes : (i) la préparation des données par suppression de la réponse instrumentale par la déconvolution, le ré-échantillonnage des données et le filtrage ; (ii) le calcul de la fonction de Green en utilisant la méthode dite « reflectivity » développée par Kohketsu (1985) ; et enfin (iii) l'inversion.

IV- RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans un premier temps, le choc principal survenu le 26 juin et la principale réplique qui a suivie 01 minute plus tard ont été localisés à terre, à environ 10 km au NE de la localité de Gdeyel (fig. 1). Les résultats sont également montrés dans le tableau I.

L'inversion des accélérogrammes a permis d'obtenir les paramètres de la source du choc principal (fig. 5). Le moment sismique obtenu est de $M_0 = 4,211 \times 10^{15}$ Nm qui correspond à une

magnitude de moment $M_w = 4,3$. Par ailleurs, le mécanisme au foyer a donné une solution en décrochement pur, dont les plans sont orientés dans les directions N-S et E-O, et l'axe de pression est orienté dans la direction NE-SO (tabl. III). Cette solution en décrochement pur est différente de ce qui est observé souvent dans cette région où les solutions focales donnent souvent des failles inverses (fig. 3).

Le premier plan est orienté N-S ($N4^\circ E$) et le second E-O ($N274^\circ E$). En l'absence de répliques, et vu le cadre sismotectonique disponible qui ne nous renseigne que sur les failles inverses (absence de décrochements connus dans la zone d'étude), il est très difficile de trancher sur le plan candidat ou la faille candidate.

En effet, cette solution focale en décrochement pur semble atypique dans la région de l'Oranie car les études tectoniques et structurales qui y sont menées n'ont pas discuté de la présence de décrochements. En outre, la plupart des mécanismes au foyer des séismes donnent des solutions en inverse pures ou avec une légère composante latérale (senestre ou dextre) dans certains cas (Abbouda *et al.*, 2018 ; Benfedda *et al.*, 2020).

Le résultat obtenu dans ce travail permettra de s'intéresser dans le futur, notamment en termes d'études de tectonique active, aux cas de décrochements actifs dans cette région.

En outre, la meilleure profondeur du centroïde est de 3,5 km pour une variance de 0,09 (fig. 6).

Par ailleurs, en termes d'accéléérations enregistrées, les valeurs maximales sont obtenues

Tableau III- Les mécanismes focaux du choc principal donné par l'organisme GFZ et celui obtenu dans ce travail.

The focal mechanisms of the main shock given by the GFZ organization and the one obtained in this work.

Organisme	Plan nodal 1			Plan nodal 2		
	Azimut (°)	Pendage (°)	Glissement (°)	Azimut (°)	Pendage (°)	Glissement (°)
GFZ	176	87	-12	267	77	-177
CGS	4	87	8	274	82	177

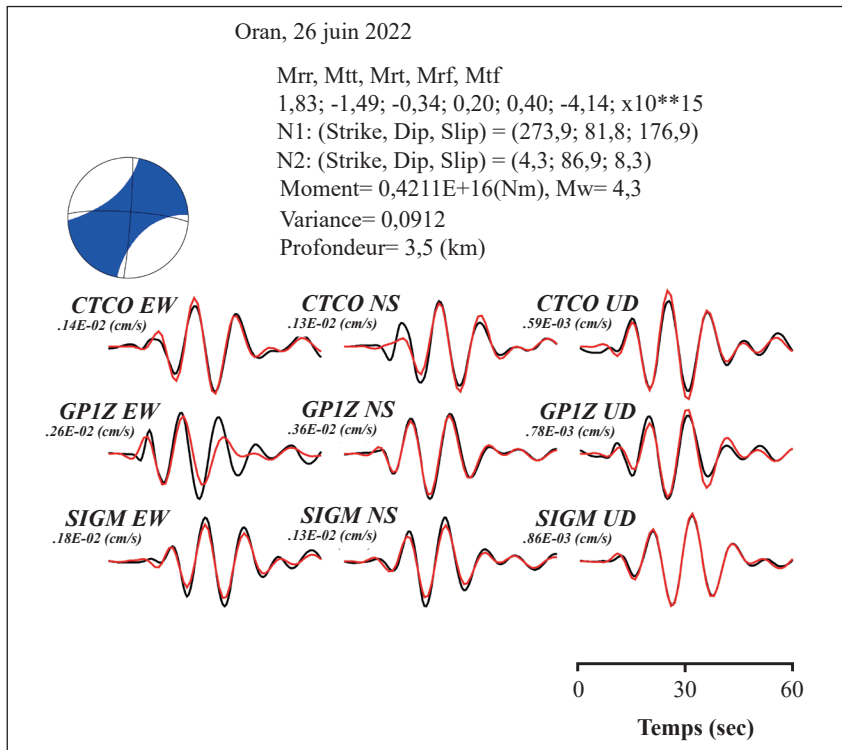


Fig. 5- Les paramètres de la source sismique (tenseur des moments, moment sismique, magnitude, profondeur du centroïde, mécanisme au foyer) obtenus. Les sismogrammes noirs et rouges sont observés et calculés, respectivement.

Obtained seismic source parameters (moment tensor, seismic moment, magnitude, centroid depth, focal mechanism). Black and red seismograms are observed and calculated respectively.

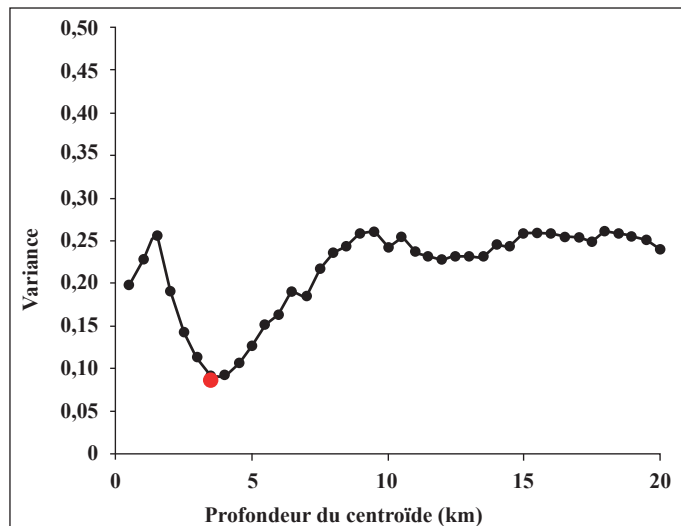


Fig. 6- Variation de la variance en fonction de la profondeur du centroïde. Le point rouge indique l'erreur minimale (0,09) à une profondeur de 3,5 km.

Variation of the variance according to the depth of the centroid. The red dot indicates the minimum error (0.09) at a depth of 3.5 km.

Tableau IV- Accélération maximale enregistrées.**Maximum recorded accelerations.**

SITE	STA	WILAYA	PGA (cm/s ²)		
			E-O	N-S	VERT
GP1Z Arzew	GP1Z	Oran	146	95	43
CTC Oran	CTCO	Oran	16	13	13
APC Tlilet	OTLI	Oran	7	7	3
Messerghine	MESS	Oran	8	5	3
Sig	SIGM	Mascara	8	10	5
APC Boutelilis	BOUT	Oran	5	3	4
Centre de Santé Bouzedjar	BOZJ	Aïn Témouchent	4	3	2

au niveau de la station (GP1Z), installée dans l'enceinte du complexe pétrochimique d'Arzew, et donc la plus proche de l'épicentre avec les valeurs suivantes (tabl. IV): 0,004 à 0,146 g (dans la direction E-O), 0,003 à 0,095 g (dans la direction N-S) et 0,002 à 0,043 g (dans la direction verticale).

V- CONCLUSION

Dans ce travail, une étude sismologique du séisme survenu le 26 juin 2022, dans la région de Gdeyel (à l'ouest de la ville d'Oran) a été réalisée, en utilisant les enregistrements accélérométriques du réseau national d'accélérographes.

Les hypocentres du choc principal et de la réplique survenue une minute plus tard ont été déterminés. Aussi, le calcul, par inversion des enregistrements, des paramètres du choc principal, à savoir le moment sismique et la magnitude du moment a été effectué. Le moment sismique obtenu est de $M_0 = 4,211 \times 10^{15}$, correspondant à une magnitude de moment $M_w = 4,3$.

La profondeur du centroïde est de 3,5 km, ce qui confirme le caractère superficiel des séismes dans cette région et en Algérie du Nord en général.

En termes de mécanisme au foyer, une solution en décrochement pur, dont les plans sont orientés dans les directions N-S et E-O, a été obtenue. Ce résultat est très intéressant étant donné que la plupart des séismes survenus dans la région

de l'Oranie jusque-là donnent des solutions en failles inverses.

Enfin, l'accélération maximale a été enregistrée au niveau de la station d'Arzew qui a donné une valeur de 0,15 g, dans la direction E-O.

Remerciements

Ce travail est réalisé dans le cadre des activités du Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (CGS). Nous remercions vivement l'équipe d'ingénieurs et techniciens qui veillent sur la maintenance du réseau national d'accélérographes en l'occurrence : Slimani Abdennasser, Haddouche Djamel, Larbes Said, Benameur Mohamed, Mokhtari Mustapha et Achemine Yasmine.

BIBLIOGRAPHIE

- ABBES, K., DORBATH, C., DORBATH, L., BOUHADAD, Y., OUSSADOU, F. AND BEZZEGHOUD, M. 2019.** Revisiting the Laalam (Eastern Algeria) March 20, 2006 ($M_w 5.1$) earthquake and its seismotectonic implication. *Pure and Applied Geophysics*, 176, pp. 4213-4222.
- ABBES, K., AYADI A., OUSADOU, F., BOUHADAD, Y., KARICHE, J., BENKACI, N., BEZZEGHOUD, M., BOUZIANE, D. AND SLIMANI, A. 2022.** Seismicity and seismotectonics of the Mitidja Basin southern edge (Tell Atlas, Algeria): case study of the Hammam Melouane Region.

- Pure and Applied Geophysics*, 179 (9), pp. 3217-3235. <https://doi.org/10.1007/s00024-022-03112-x>
- ABOUDA, M., BOUHADAD, Y., BENFEDDA, A. AND SLIMANI, A. 2018.** Seismotectonic and seismological aspects of the Mostaganem (Western Algeria) May 22, 2014 (Mw 4.9) seismic event. *Arab.J.Geosci.* 11(3). DOI.10.1007/s12517-018-3404-y.
- ABOUDA, M., MAOUCHE, S., BOUHADAD, Y. AND BELHAI, D. 2019.** Neotectonics and active tectonics of the Dahra- Lower Chelif Basin (Tell Atlas, Algeria): Seismotectonic implication. *Journal of African Earth Sciences*, 153, pp. 250-267.//doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.02.023.
- AMBRASEYS, N.-N. AND VOGT, J., 1988.** Material for the investigation of the seismicity of the region of Algiers. *Europ. Earthquake Engineering* 3, pp. 16-29.
- AOUDIA, A. AND MEGHRAOUI, M. 1995.** Seismotectonics in the Tell Atlas of Algeria: the Cavaignac (Abou El Hassan) earthquake of 25.08.1922 (Ms = 5.9). *Tectonophysics*, 248 (3-4), pp. 263-276.
- AYADI, A. AND BEZZEGHOUD, M. 2015.** Seismicity of Algeria from 1365 to 2013: maximum observed intensity map (MOI 2014). *Seismol. Res. Lett.* 86 (1). pp.236-244. <http://srl.geoscienceworld.org/content/86/1/236.full>.
- AYADI, A., OUSSADOU-AYADI, F., BOUROUI, S. AND BENHALLOU, H. 2002.** Seismotectonic and seismic quietness of the Oranie region (western Algeria) ; the Mascara earthquake of August 18th 1994, Mw = 5.7, Ms = 6.0. *Journal of Seismology*, 6(1), pp. 13-23. DOI: 10.1023/A: 1014276727136.
- BELDJOUDI, H., DELOUIS, B., DJELLIT, H., YELLES-CHAUCHE, A., GHARBI, S. AND ABACHA, I. 2016.** The Beni-Ilmane (Algeria) seismic sequence of May 2010: Seismic sources and stress tensor calculations. *Tectonophysics*, 670, pp. 101-114. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2015.12.021>.
- BELABBES, S., MEGHRAOUI, M., CAKIR, Z. AND BOUHADAD, Y. 2009.** InSAR analysis of the moderate size Ain Témouchent (Algeria) blind thrust earthquake (22/12/1999, Mw = 5.7). *Journal of Seismology*, DOI 10.1007/10950-008-9135-x.
- BELAYADI, I, BEZZEGHOUD, M, NADJI, A. ET FONTIELA, J. 2017.** Sismicité de l'Algérie Nord Occidentale entre 1790 et 2016: catalogue sismique. *Comunicações Geológicas* 104, 1, pp. 97-110 ISSN: 0873-948X ; e-ISSN: 1647-581X
- BENBAKHTI, I.-M., MAOUCHE, S., BELHAI, D., HARBI, A., RITZ, J.-F., REZOUK, A., RABAL, G. AND DOUMAZ, F. 2018.** Characterizing the active tectonics in the Oran region (Algeria) and recasting the 1790 earthquake. *J. Seismol.* 22 (6), pp. 1549-1561. <https://doi.org/10.1007/s10950-018-9784-3>.
- BENFEDDA, A., ABBES, K., BOUZIANE, D., BOUHADAD, Y., SLIMANI, A., LARBES, S., HADDOUCHE D. AND BEZZEGHOUD, M. 2017.** The August 1st, 2014 (Mw 5.3) moderate earthquake: evidence for an active thrust fault in the bay of Algiers (Algeria). *Pure Appl Geophys*, 174(3), pp. 1503-1511. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1481-6>
- BENFEDDA, A., BOUHADAD, Y., BOUGHACHA M.S., GUESSOUM, N., ABBES, K. AND BEZZEGHOUD, M. 2020.** The Oran January 9th (Mw 4.7) and June 6th, 2008 (Mw 5.4) earthquakes: Seismological study and seismotectonic implication. *Journal of African Earth Sciences*, 169, <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103896>

- BENHALLOU, H. 1985.** Les catastrophes sismiques de la région d'Echelif dans le contexte de la sismicité historique de l'Algérie. *Thèse de Doctorat, USTHB, Alger*, 294 p.
- BENOUAR, D., 1994.** Material for the investigation of the seismicity of Algeria and adjacent region during the twentieth century. *Annali Di. Geofis.* 37, pp. 459-862.
- BEZZEGHOUD, M. AND BUFORN, E. 1999.** Source parameters of the 1992 Melilla (Spain, $M_w=4.8$) ; 1994 Al Hoceima (Marocco, $M_w=5.8$) and the Mascara (Algeria, $M_w=5.7$) earthquakes and seismotectonic implications. *Bul. Seism. Soc. Am.*, 99, pp. 359-372.
- BEZZEGHOUD, M, DIMITROV, D., RUEGG, J.-C. AND LAMMALI, K. 1995.** Faulting mechanism of the El Asnam 1954 and 1980 earthquakes from modeling of vertical movements. *Tectonophysics*, 249, pp. 249-266.
- BEZZEGHOUD, M., AYADI, A., SEBAI, A., AIT MESSAOUD, M., MOKRANE, A. AND BENHALLOU, H. 1996.** Seismicity of Algeria between 1365 and 1989: Map of maximum observed intensities (MOI). *Avances en Geofisica y Geodesia*, 1, pp. 107-114.
- BOUGHACHA, M.-S. 2001.** La période sismique oranaise de 1790 à la lumière des archives espagnole, de Juan Manuel Lopez Marinas et Rosa Salord, traduit de l'Espagnol. *USTHB - FSTGAT-Département de Géophysique, CRAAG-Département ESS*. Alger.
- BOUGHACHA, M.-S., OUYED, M., AYADI, A. AND BENHALLOU, H. 2004.** Seismicity and seismic hazard mapping of northern Algeria. Map of Maximum Calculated Intensities (MCI). *Journal of Seismology*, 8, pp. 1-10.
- BOUGRINE, A., YELLES-CHAOUCHE, A.-K. AND CALAIS, E., 2019.** Active deformation in Algeria from Continuous GPS measurements. *Geophys. J. International*, 217(1), pp. 572-588.
- BOUHADAD, Y. 2001.** The Murdjadjo, western Algeria, fault-related fold: implication for seismic hazard. *Journal of Seismology*, 5, pp. 541-558.
- BOUHADAD, Y. 2013.** Occurrence and impact of characteristic earthquakes in Algeria. *Natural hazards journal*, 72(3), pp. 1329-1339. DOI 10.1007/s11069-013-0704-0
- BOUHADAD Y., BENFEDDA, A., MAOUCHE, S., BEZZEGHOUD, M. AND MEGHRAOUI, M. 2022.** Seismicity of northern Algeria: performance of local networks. *Seismicity of Northern Algeria : Performance of local Networks*, 4(4), pp. 389-406. <https://doi.org/10.1007/s42990-022-00082-z>
- BOUNIF, A., DORBATH, C., AYADI, A., MEGHRAOUI, M., BELDJOUDI, H., LAOUMI, N., FROGNEUX, M., SLIMANI, A., ALASSET, P.-J., KHAROUBI, A., OUSSADOU, F., CHIKH, M., HARBI, A., LARBES, S. AND MAOUCHE, S. 2004.** The May 2003 Zemmouri (Algeria) earthquake $MW=6.8$: relocation and aftershock sequence analysis. *Geophysical Research Letter*, 31(19).
- BUFORN, E., COCA, P., BEZZEGHOUD, M., UDIAS, A., BOUHADAD, Y. AND MATTESINI, M. 2019.** The destructive 1790 Oran (NW Algeria) earthquake in a region of low seismicity. *Tectonophysics*, 759, pp.1-4.
- CHIMOUNI, R., HARBI, A., BOUGHCHA, M. S., HAMIDATOU, M., KHERCHOUCHE, R. AND SEBAI, A. 2018.** The 1790 Oran Earthquake, a seismic event in times of conflict along the Algerian coast: a critical review from Western and local source materials. *Seismol. Resea. Let.* 89(6), pp. 2392-2403.
- DEMETS, C.-R. GORDON, D.-F. ARGUS AND STEIN, S. 1990.** Current plate motions. *Geophys. J. Int.*, 101, pp. 425-478.

- DERDER, M.-E.-M., HENRY, B., MAOUCHE, S., BAYOU, B., AMENNA, M., BESSE, J., BESSEDIK, M., BELHAL, D. AND AYACHE, M. 2013.** Transpressive tectonics along a major E–W crustal structure on the Algerian continental margin: Blocks rotations revealed by a paleomagnetic analysis. Elsevier. *Journal Tectonophysics* (593), pp. 183-192.
- DEVERCHERE, J., YELLES, K., DOMZIG, A., MERCIER DE LEPINAY, B., BOUILLIN, J.-P., GAULLIER, V., BRACENE, R., CALAIS, E., SAVOYE, B., KHERROUBI, A., LE ROY, P., PAUC, H. AND DAN, G. 2005.** Active thrust faulting offshore Boumerdes, Algeria, and its relations to the 2003 Mw 6.9 earthquake. *Geophys. Res., Lett.* 32(4), L04311.
- HARBI, A., SEBAI A., M. BENMEDJBER, M., OUSSADOU, F. ROUCHICHE, Y., GRIGAHCENE, A., AINI, D., BOUROUIS, S., MAOUCHE, S. AND AYADI, A. 2015.** The Algerian homogenized macroseismic database (267–1989): A deeper insight into the Algerian historical seismicity. *Seismol. Res.Lett.* 86(6), pp. 1705-1716.
- HARBI, A., SEBAI, A., ROUCHICHE, Y., MAOUCHE S., OUSSADOU, F., ABBES, K., AIT BENAMAR, D. AND BENMEDJBER, M. 2017.** Reappraisal of the seismicity of the southern edge of the Mitidja basin (Blida region, north-central Algeria). *Seismological Research Letters*, 88(4), pp. 1163-1177.
- JEFFREYS, H. AND BULLEN, K.-E. 1958.** Seismological tables: Office of the British Association. *Burlington House, London.*
- KARICHE, J., MEGHRAOUI, M., TIMOULALI, Y., CETIN, E. AND TOUSSAINT, R., 2018.** The Al Hoceima earthquake sequence of 1994, 2004 and 2016: Stress transfer and poroelasticity in the Rif and Alboran Sea region. *Geophysical Journal International*, 212(1), pp. 42-53.
- KHELIF, M. F., YELLES-CHAOUICHE, A., BENAÏSSA, Z., SEMMANE, F., BELDJOUDI, H., HANED, A, ISSADI, A., CHAMI, A., CHIMOUNI, R., HARBI A., MAOUCHE, S., DABBOUZ, G., AIDI, C. AND KHERROUBI, A., 2018.** THE 2016 Mihoub (north-central Algeria) earthquake sequence: Seismological and tectonic aspects. *Tectonophysics* 736, pp. 62-74.
- KLEIN, F.-W. 2002.** User's guide to HYPOINVERSE-2000, a Fortran program to solve for earthquake locations and magnitudes. *U.S. Geological Survey, Menlo Park, CA.*
- KOHKETSU, K. 1985.** The extended reflectivity method for synthetic near-field seismogram. *Journal of Physics of the Earth*, 33(2), pp. 21-31.
- LOPEZ-MARINAS, J.-M. AND SALORD, R. 1991.** Problems regarding the investigation of the 1790 Oran seismic period. *Tectonophysics*, 193, pp. 237-239.
- MAOUCHE, S., MEGHRAOUI, M., MORHANGE, C., BELABBES, S., BOUHADAD, Y. AND HADDOUM, H. 2011.** Active coastal thrusting and folding, and uplift rate of the Sahel Anticline and Zemmouri earthquake area (Tell Atlas, Algeria). *Tectonophysics*, 509, pp. 69-80. doi: 10.1016/j.tecto.2011.06.003.
- MAOUCHE S., BOUHADAD, Y., HARBI A., ROUCHICHE Y., OUSSADOU, F. AND AYADI, A. 2019.** Active tectonics and seismic hazard in the Tell Atlas of Algeria. In «Geology of the Arab World». Springer.
- MC KENZIE, D. 1972.** Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. of the Roy., Astr., Soc.*, 30(2), pp. 109-185.
- MEGHRAOUI, M. 1988.** Géologie des zones sismiques du nord de l'Algérie (paléosismologie, tectonique active et synthèse sis-

- motectonique). *Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay (France)*, 356 p.
- MEGHRAOUI, M. AND PONDRELLI, S. 2012.** Active faulting and transpression tectonics along the plate boundary in north Africa. *Annals of Geophysics*, 55(5). [http:// dx.doi.org/10.4401/ag-4970](http://dx.doi.org/10.4401/ag-4970).
- MEGHRAOUI, M., CISTERNAS, A. AND PHILIP, H. 1986.** Seismotectonics of the lower Chellif basin: structural background of the El Asnam (Algeria) earthquake. *Tectonics*, 5, pp. 809-836.
- MEGHRAOUI, M., MAOUCHE, S., CHEMAA, B., CAKIR, Z., AOUDIA, A., HARBI, A., ALASSET, P.J., AYADI, A., BOUHADAD, Y. AND BENHAMOUDA, F. 2004.** Coastal uplift and thrust faulting associated with the $M_w=6.8$ Zemmouri (Algeria) earthquake of 21 May, 2003. *Geophys. Res. Lett.* 31(19). <https://doi.org/10.1029/2004 GL 020466>.
- MOKRANE, A., AIT MESSAOUD, A., SEBAI, A., MENIA, N., AYADI, A., BEZZEGHOUD, M. AND BENHALLOU, H. 1994.** Les séismes en Algérie de 1365 à 1992. *Publication du CRAAG, Alger*, 227 p.
- NOCQUET, J.-M. AND CALAIS, E. 2004.** Geodetic measurements of crustal deformation in the western Mediterranean and Europe. *Pure and Applied Geophys.*, 161, pp. 661-681.
- OTTEMÖLLER, L., VOSS, P. AND HAVSKOV, J. 2016.** Seisan earthquake analysis software for Windows, Solaris, Linux and MacOSx.
- OUYED, M., MEGHRAOUI, M., CISTERNAS, A., DESCHAMPS, A., DOREL, J., FRECHET, J. GAULON, R., HATZFELD, D. AND PHILIP, H. 1981.** Seismotectonics of the El Asnam earthquake. *Nature*, 292, pp. 26-31.
- SEMMANE, F., CAMPILLO, M. AND COTTON F. 2005.** Fault location and source process of the Boumerdes, Algeria, earthquake inferred from geodetic and strong motion data, *Geophys. Res. Lett.*, 32(1), doi:10.1029/2004GL021268.
- SERPELLONI, E., VANNUCCI, G., PONDRELLI, S., ARGNANI, A., CASULA, G., ANZIDEI, M., BALDI, P. AND GASPERINI, P. 2007.** Kinematics of the Western Africa Eurasia plate boundary from focal mechanisms and GPS data. *Geophysical Journal*, 169 (3), pp. 1180-1200.
- THOMAS, G., 1985.** Géodynamique d'un bassin intramontagneux. Le bassin du bas Chélif occidental (Algérie) durant le mio-plio-quaternaire. *Thèse de Doctorat, Université de Pau et pays de l'Adour, France*, 594 p.
- YAGI, Y. AND NISHIMURA, N. 2011.** Moment tensor inversion of near source seismograms. *Bull. Intern. Institute Seismol. Earthqu. Engin.* 45, pp. 133-138.
- YELLES, C.-A.-K., DJELLIT, H., BELDJOUDI, H., BEZZEGHOUD, M. AND BUFORN, E. 2004.** The Ain Temouchent (Algeria) earthquake of December 22nd, 1999. *Pure Appl. Geophys.* 161, pp. 607-621.