

LE CONTEXTE SISMOTECTONIQUE DU SEISME DE BOUMERDES (21 MAI 2003 Mw=6.8)

DJEDDI M*
AITOUCHE M.A*

* Laboratoire de physique de la Terre – FHC- Université M'Hamed Bougara Boumerdès

Résumé: Le présent papier se veut une synthèse succincte des travaux effectués sur le séisme de Boumerdès – Zemmouri du 21 mai 2003 en matière de géologie, de géophysique offshore (gravimétrie, levé aéromagnétique sismique), de sismo-tectonique et de sismologie (magnitude, moment sismique, mécanismes au foyer etc...). Les résultats font essentiellement référence aux différents travaux principalement à ceux du groupe géoscience ad hoc d'étude du séisme du 21 mai 2003 édités sous le titre : séisme de Zemmouri- Boumerdès, Algérie du 21 mai 2003 ($M_w = 6,8$).

1. INTRODUCTION

Le séisme qui a affecté violemment la région de Boumerdès- Zemmouri le 21 mai 2003 se situe sur la zone d'affrontement entre les plaques tectoniques africaine et eurasiennne.

Les deux plaques sont limitées par une longue zone de jonction sismique qui s'étend des Açores jusqu'à la Turquie en passant par Gibraltar, le Maghreb, l'Italie, la Yougoslavie et la Grèce etc.

Les recherches récentes, basées sur des études des mécanismes au foyer des séismes importants et des méthodes fondées sur des mesures par des techniques spatiales (GPS, VLBI et SLR) font ressortir que la direction du rapprochement est NNW-SSE. Le taux de raccourcissement entre les deux plaques varie d'un auteur à l'autre. Il est estimé de 4 à 8 mm par an (Argus et al 1989), 1,3 cm par an près de Gibraltar (El Robrini, 1989) ; 1,8 cm par an dans la région de Chlef (WCC1984).

Ce contexte géodynamique régional créé par suite de la collision entre les deux plaques développe perpétuellement une accumulation importante de contraintes qui finissent par se libérer en activant certaines failles et d'en engendrer d'autres. La majorité de ces failles actives ou supposées réactivées sont localisées au Nord de l'Algérie et tout particulièrement au niveau de l'Atlas Tellien et en mer, région à activité sismique élevée comme l'atteste les séismes de ces trois derniers siècles. Ainsi, les effets de cette jonction entre les deux plaques ont engendré au Nord de l'Algérie un ensemble de structures tectoniques complexes tels que plis, failles, plis faillés etc...

2. CADRE GÉOLOGIQUE REGIONAL

La région éprouvée par le séisme du 21 Mai 2003 subdivise en deux domaines caractérisés par de grands rayons de courbures appelés rides anticlinales du Sahel d'Alger localisées au Nord et limitées au Sud par le bassin de la Mitidja.

Les deux domaines appartiennent aux Maghrebides, branche méridionale de la chaîne alpine

perméditerranéenne qui s'étend du détroit de Gibraltar jusqu'à la partie orientale de la Tunisie (Durant Delga et Fontboté 1980)

Ces domaines se situent sur la marge septentrionale de la plaque africaine de l'Algérie centrale où les déformations de la croûte terrestre se caractérisent en surface par une morphologie de géométries structurées en reliefs et bassins.

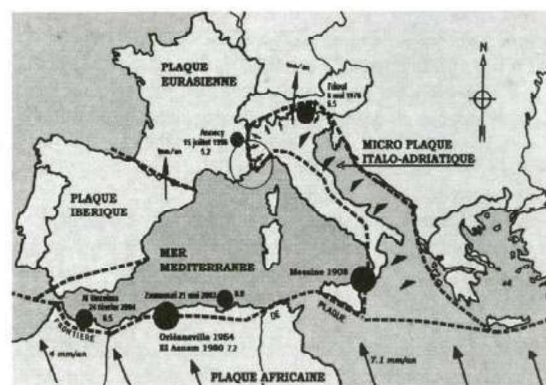


Figure 1. TECTONIQUE EURO-MEDITERRANEE
Principales limites de plaques et mouvements associés

Le bassin Mitidja et le relèvement du Sahel sont formés de roches sédimentaires meubles légèrement plissées, d'âge Mio- Plio Quaternaire ; les roches marno-grésos-conglomératiques du Miocène gisent sur des formations plus anciennes du type métamorphiques et volcaniques.

Ces couches sont en contact tectonique avec les massifs cristallophylliens anciens notamment au Nord. Ce contact se manifeste à l'Est, dans la région de Boumerdès par la faille de Thénia de direction NW-SE et dans la région d'Alger par la faille de Sidi-Fredj de direction SW-NE (Collomb et al 1971). On observe également de nombreux pointements du socle cristallophyllien entre Alger et Zemmouri. Ces massifs anciens cristallophylliens ont été affectés par une déformation sym-métamorphique formant ainsi des nappes de socle d'âge mal encore déterminées (Saadallah 1981,1992 ; Mahdjoub 1981,1991 ; Monié et al 1988).

-les plaines abyssales sont des zones caractérisées par des grandes profondeurs où la tranche d'eau dépasse les deux kilomètres. Au large de Zemmouri, les plaines abyssales forment une vaste étendue sous marine ne présentant aucune élévation importante. Toutefois, il a été mis en évidence quelques linéaments de directions E - W. La zone d'étude se caractérise sur le plan architecture structurale par un modèle de tectonique distensive. Il est partagé par deux systèmes sédimentaires séparés par un groupe évaporitique.

-Le premier système (pré- évaporitique) le plus profond, est représenté par des formations géologiques d'âge Oligocène et Miocène inférieur et moyen. Il est recouvert par d'importantes formations géologiques Mio Pliocènes. Son architecture en forme de gradin s'affaisse par paliers du Sud vers le Nord. Les blocs sont séparés par plusieurs failles de directions NW -SE et NE-SW. Ces dernières affectent la série sédimentaire alors que les failles NW-SE ne sont repérées que sur les cartes magnétiques.

Le second système de faible profondeur (post-évaporitique) est formé de roches d'âge Plio - Quaternaire qui s'amenuisent au fur et à mesure que l'on s'approche du littoral. On y observe également un système de failles du type normal.

5. STRUCTURE DE LA ZONE OFFSHORE

Il ressort aussi que l'interprétation des données de différentes méthodes géophysiques (gravimétrie, magnétique et sismique) a permis de subdiviser ce secteur en 3 zones différentes (fig. 4).

- la zone dite a tectonique du socle,
- la zone des roll - over,
- la zone des anticlinaux.

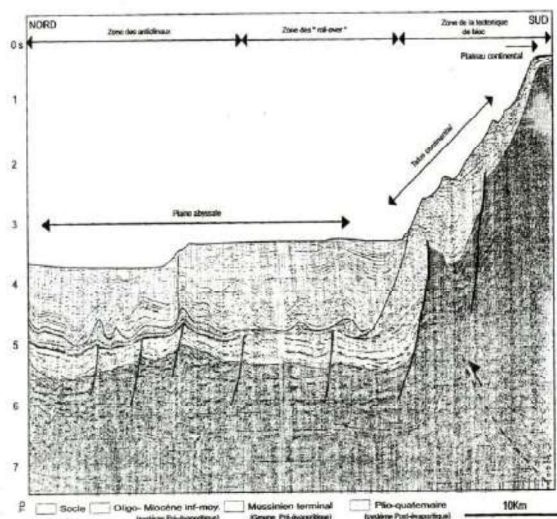


Fig.4 Section sismique interprétée illustrant l'architecture de l'offshore algérien oriental

La première zone à pente raide est représentée par une bande étroite située près du littoral et se caractérise par une direction Est Ouest ; elle est constituée par des formations sédimentaires de faibles épaisseurs avec une faible absence des évaporites. On y trouve des failles normales limitant les demi-grabens. On pense que le talus pourrait être certainement un plan de faille à mouvement récent.

En raison de sa pente accentuée, il est probable que des structures de glissement des sédiments superficiels notamment d'âge Plio Quaternaire puissent se manifester.

La zone relative au roll-over est formée des formations géologiques accompagnées de couches de sel d'âge Messinien. Elle est affectée également par une tectonique distensive marquée par la présence de nombreuses failles normales.

Enfin, une zone des anticlinaux se caractérisant par une déformation du type compression formant des anticlinaux d'orientation Est - Ouest

6. HISTORIQUE DE L'ACTIVITE SISMIQUE DE LA RÉGION DE BOUMERDES

Un examen minutieux de l'activité sismique durant la période 1900-2003 de la région de Zemmouri -Boumerdes fait ressortir que l'activité sismique de la région était faible et que le séisme du 21 mai 2003 n'a été précédé d'aucun événement de magnitude supérieure à 4,5 (Roussel, 1973; Bougacha et al 2004). De même l'examen de la sismicité de la région de Zemmouri s'étalant entre 1790-2002 indique une activité sismique faible à modérée seuls: 8 événements de magnitude inférieure à 5 sont recensés (Bougacha et al 2004)

Par ailleurs, la zone de Boumerdes -Alger, fortement secouée par le séisme du 21 mai 2003, n'aurait pas historiquement connu une activité sismique forte.

Seule la zone de passage de la faille de Thénia (direction WNW-ESE fig.3) a connu une activité macrosismique de faible magnitude (inférieure à 5) sans toutefois avoir une liaison avérée avec la faille (Boudiaf et al.1999)

Intensité	V	V	VI	III	VI-VII	VI	--	IV	--	--	--	IV	--	IV Source CRAAG	
Mg	--	4.1	4.6	2.9	4.6-5.2	4.6	2.7	3.7	2.8	2.9	2.9	2.5	3.9	2.8	3.6
Latitude Longitude	36.70°N 03.40°E	36.80°N 03.40°E	36.70°N 03.70°E	36.75°N 03.23°E	36.69°N 03.70°E	36.69°N 03.50°E	36.92°N 03.56°E	36.66°N 03.33°E	37.02°N 03.65°E	36.67°N 03.50°E	36.85°N 03.50°E	36.73°N 03.68°E	36.80°N 03.83°E	36.90°N 03.57°E	
HH MMSS	12 3439	04 3241	11 4704	02 1400	13 1700	22 0000	16 0637	02 0402	19 3125	05 2125	04 3400	10 0735	19 5300	01 4811	06 1813
Date	23.11.1922	01.03.1953	22.07.1965	26.04.1972	23.05.1982	16.09.1987	31.07.1992	20.01.1994	26.03.1995	03.01.1999	13.02.1999	13.02.1999	14.02.1999	09.11.1999	29.01.2003

Tableau 1: Sismicité historique de la région de Boumerdes de 1922 à 2003

7. PARAMÈTRES CARACTÉRISTIQUES DU SÉISME DE BOUMERDES ($M_w=6.8$)

Le séisme de Zemmouri du 21 mai 2003 a eu lieu à 18 h 44 mn GMT. Il s'agit d'un foyer crustal superficiel, situé à une dizaine de kilomètres de profondeur au large de la ville de Zemmouri (Ouest de Boumerdes).

Les magnitudes calculées par les observatoires internationaux ont permis d'affecter une magnitude moyenne M_w de 6.8 sur l'échelle ouverte de Richter à cet événement.

La plus forte réplique ($M_w=5.8$) s'est produite le 27 mai 2003 à 17 h 11 mn. La relation empirique (Drakatos et Latoussakis, 2001)

$$M_r = 0.99M - 0.80 \quad (1)$$

établie à partir de plus d'une quarantaine de répliques en Grèce, entre 1971 et 1997 fait le lien entre la magnitude M_r de la plus forte réplique à la magnitude M du séisme principal. Les magnitudes calculées et observées pour le séisme de Zemmouri du 21 mai 2003 et sa plus forte réplique, relatives aux différents organismes, sont montrées à travers le tableau 2. On remarque un faible écart qui ne dépasse pas un dixième entre les magnitudes moyennes calculées et observées relatives à la réplique conforte la relation empirique ci-dessus

Organisme	Séisme principal	Plus forte réplique	Moment sismique M_0	Profondeur
	M_{obs}	M_{obs} M_{cal}		
IGN	6.9	5.8 6.0		10 km (usgs)
IGN	7	6.1 6.1	$1.3 \cdot 10^{26}$ N.m (usgs/neic)	10 k (strab)
HRVD	6.8	5.8 6.0	$2.4 \cdot 10^{26}$ N.m (iris)	10km(ETH)
CSEM	6.8	5.7 6.0	$0.183 \cdot 10^{27}$ d.cm (csem/eth)	
$M_{moyenne}$	6.8	5.9 6.0		
M_{obs} = Magnitude observée	M_{cal} = Magnitude calculée			

Tableau 2 caractéristiques du séisme de Boumerdes

Le moment sismique d'un séisme se définit par la relation

$$M_0 = S U \mu \quad (2)$$

où μ représente la rigidité de la croûte (coefficient de Lamé ou de cisaillement), U la dislocation (mouvement relatif moyen) c'est-à-dire le glissement moyen sur la faille, et S l'aire de la surface faillée. Ce moment sismique se calcule à partir du spectre des ondes sismiques enregistrées en une station. A partir de ce moment sismique, on calcule la magnitude par la relation :

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 10.7 \quad (3)$$

Pour les magnitudes supérieures à 7,5 seule la magnitude M_w est valable.

Pour les valeurs inférieures à 7,5 M_w et M_s sont identiques.

Le moment sismique permet d'estimer l'aire de la surface faillée. A titre d'exemple, sa valeur associée au séisme d'El Asnam de 1980 permet de modéliser la faille par un rectangle de 40 Km de long sur 10 km de large

8. RELATION MOMENT SISMIQUE – SURFACE DE LA FAILLE

La relation empirique (Purcaru et Berckhemer, 1982)

$$\log M_0 = 3/2 \log S + 22.25 \quad (4)$$

établissant le lien entre le moment sismique M_0 et l'aire S de la surface de la faille. Elle fournit après calcul (Boughacha et al 2004) une surface de 337 km² avec M_0 en dyne .cm et S en cm²

9. LONGUEUR ET GLISSEMENT MOYEN DE LA FAILLE

Les relations

$$\begin{cases} \log L = 0.5M - 1.9 \\ \log U = 0.5M - 1.3 \end{cases} \quad (5)$$

pour le calcul de la longueur L (en km) d'un modèle de faille rectangulaire égale au double de la profondeur H donnent respectivement une valeur de $L = 40$ km et une dislocation $U = 1.3$ m.

En ce qui concerne le calcul de la durée T de rupture calculée à partir de la relation

$$T = \frac{L}{V} \quad (6)$$

Donne $T = 12.5$ secondes en ayant fixé la vitesse de rupture $V = 3,2$ km/s de rupture (Boughacha et al 2004).

10. DISTRIBUTION DES INTENSITÉS MACRO-SISMQUES

Il est possible d'estimer la magnitude à partir des données historiques. L'élaboration des relations empiriques entre la magnitude et l'intensité est traitée dans plusieurs travaux (Gutenberg et Richter 1956, Kannik 1969, Ambraseys et Melville 1982) pour différentes régions du globe.

Ainsi, Benouar (1994) a établi les relations entre $M_s = 0,47 + 0,86 M_b$ (formule permettant le passage de M_b à M_s) pour la région du Maghreb avec $M_s = 1,37 + 0,47 I_0$. D'autres relations empiriques.

$$I_0 = 1.59 M_b - 0.62$$

$$I_0 > VI \text{ où } M_b > 4.3 \quad (7)$$

avec

$$I - I_0 = 2.26 \ln\left(\frac{r}{10}\right) - 0.001(r - 10) \quad (8)$$

où M_b et M_s désignent respectivement les magnitudes de volume et de surface, I_0 et I respectivement l'intensité à l'épicentre et l'intensité à la distance hypocentrale r (km) pour une profondeur focale de 10 km. La différence ($I_0 - I$) désigne l'atténuation de l'intensité à la distance r .

L'application de ces formules fournit une intensité $I_0 = 10$ (fig. 6).

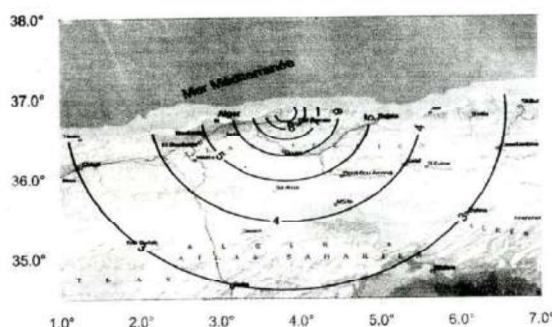


Fig. 5 Intensité macrosismique dans les différentes localités déduite de la loi d'atténuation

Le catalogue de la sismicité montre, qu'avant 2003, la région de Boumerdes a été affectée par des séismes faibles à modérés, qui n'ont été ressentis qu'avec des intensités maximales de IV à V (Rothé 1950, Benhallou 1985, CGS 1993, Benouar 1994, Mokrane et al 1994)

11. LA SÉQUENCE DE RÉPLIQUES ISSUES DU CHOC PRINCIPAL

Le séisme du 21 mai 2003 a été suivi d'un grand nombre de répliques. Du 22 au 29 mai 2003, 5 importantes répliques (tableau 3) de magnitude supérieure ou égale à 5 ont été fortement ressenties sur un total de près de 900 répliques enregistrées tout le long de la crise sismique par un réseau d'intervention composé de stations sismologiques du CGC et du CRAAG.

Date	M_l (magnitude locale)
21 mai 2003	5
22 mai	5,3
27 mai	5,8
28 mai	5,2
29 mai	5,8

Tableau 3 séquence des répliques au choc principal de magnitudes ≥ 5

Les ouvrages fragilisés par le choc principal se sont effondrés, faisant accroître le nombre de victimes et accroître davantage la vulnérabilité des constructions. La distribution temporelle (Boughacha et al 2004) a un aspect chaotique de l'occurrence des répliques avec une tendance à la décroissance de leur nombre avec le temps.

L'analyse préliminaire de la localisation des premières données sur les répliques enregistrées par le réseau mobile du CGS, montre que celles-ci épousent parfaitement l'ellipse de la zone d'intensité maximale qui est d'orientation NE-SW. Par ailleurs, les profondeurs focales des répliques montrent que le plan de prolongement de la faille est orienté vers le SE.

12. MÉCANISMES AU FOYER

Le mécanisme au foyer aide les sismologues à connaître le type de faille qui a généré le séisme, son orientation, la direction de glissement des compartiments sur la faille. Il nous permet également de connaître si le mouvement associé est de nature convergente, divergente ou coulissante.

On entend donc par mécanisme au foyer, la mise en place des contraintes qui ont présidé à l'occurrence du séisme en terme d'axes P, T et N ainsi que les plans nodaux (plans de faille et auxiliaire). La lecture d'un mécanisme au foyer se fait par l'intermédiaire de représentations appropriées. La physique du phénomène est telle que le plan de faille et le plan auxiliaire jouent strictement le même rôle. Seules des observations de terrain (reconnaissance de la trace de la faille en surface) permettent de lever cette ambiguïté (Boughacha 1999).

Les publications des observations internationales USGS/NEIC et CSEM font ressortir que l'accident responsable du séisme du 21 mai 2003 correspond à une faille inverse dont la trace est orientée NE, coulissant le long de la ligne de plus grande pente, dont le prolongement est NW ou SE. Le tableau 4 donne les caractéristiques du mécanisme au foyer selon USGS/NEIC. Les observations de terrain liées à la trace de la faille ainsi que les résultats de la campagne d'enregistrement des répliques dans la région épiscopale devraient conforter certains de ces résultats et préciser le plan de faille. La direction de la contrainte compressive est très proche de l'horizontale, orientée dans la direction NNW – SSE et en parfait accord avec la direction de rapprochement des deux plaques tectoniques responsables du séisme.

Le mécanisme est très similaire à ceux des autres séismes algériens : El Asnam, Tipaza, Ain Temouchent, Beni Ourtilène (Boughacha et al 2003).

	Plan nodal 1	Plan nodal 2	axe P	axe T
Azimut (°)	237	54	145	291
Prolongement (°)	43	47	2	87

Tableau 4 caractéristiques des mécanismes au foyer du séisme de Zemmouri du 21-Mai 2003 (source : USGS/NEIC)

13. DIAGRAMME DU RELACHEMENT D'ÉNERGIE

La loi $\log E = 4.8 + 1.5M$ (loi de Richter, 1934) qui relie la magnitude du séisme à l'énergie libérée au foyer sous forme d'ondes sismiques, a permis de tracer le diagramme des énergies libérées cumulées au cours du temps (Boughacha et al. 2004). Ce graphe concerne aussi bien le séisme principal que sa séquence de répliques comprise entre le 21 mai et le 30 juin 2003. Les données utilisées sont celles de l'IGN Espagnol. Il montre trois phases de relâchement des contraintes.

Le calcul montre que l'énergie est libérée de façon pratiquement constante entre le 21 et le 27 mai, dates représentant respectivement celle du choc principal et celle de la réplique la plus forte.

Vient ensuite la secousse la plus forte produisant un saut brutal de $8,9 \cdot 10^{13}$ joules.

Ensuite la dernière phase, à l'exception d'une courte

Ensuite la dernière phase, à l'exception d'une courte durée à son début, correspondant à un relâchement d'énergie très faible se traduisant par un palier. le rapport entre l'énergie libérée par le séisme principal et celle correspondant à l'ensemble des répliques est de 8,7.

14. LOI DE GUTENBERT – RICHTER

L'occurrence des séismes obéit à la loi de Richter qui stipule que pour une séquence sismique donnée, l'activité sismique est reliée à la magnitude par la relation

$$\log N = a - bM$$

dite relation d'occurrence ou loi de Gutenberg – Richter (1944).

Il est habituel de quantifier la sismicité, en particulier celle des répliques, par cette relation d'occurrence dans laquelle N représente le nombre de séismes de magnitude supérieure ou égale à M . Le coefficient (a) exprime le nombre de séismes de magnitude M supérieure ou égale à 0 pour la période d'observation. Il fournit des informations sur l'activité sismique, et correspond à l'ordonnée à l'origine de la droite représentative alors que le coefficient (b) en exprime la pente autrement dit l'amorce d'une décroissance avant l'occurrence d'un séisme important.

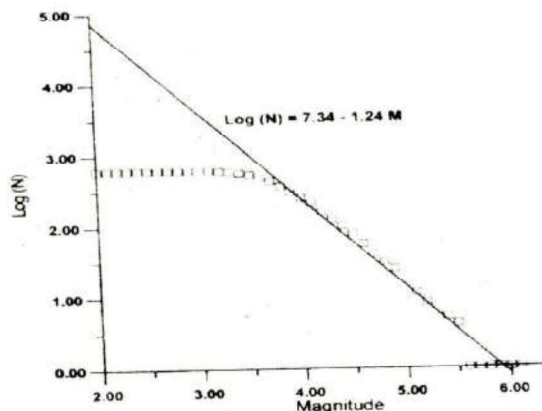


Fig. 6: loi de Gutenberg-Richter

Cette loi appliquée au séisme de Zemmouri-Boumerdés est illustrée par le graphe de la figure 7 (Boughacha et al 2004) et résume, en termes de magnitudes, la séquence des répliques qui se sont produites entre le 21 mai et le 30 juin 2003. Les valeurs de a et de b sont respectivement 7,34 et 1,24. Les valeurs de b varient généralement entre 0,6 et 1,5 et peuvent être reliées à la dimension fractale du milieu. La valeur forte de 1,24 montre que les répliques occupent un volume très fracturé, par opposition au plan de faille (Herraiz, 1997)

15. CONCLUSION

Il ressort de la présente étude une méconnaissance et une identification encore insuffisante des sources sismogènes en Algérie. La sismicité de la région de Zemmouri-Boumerdés, avant l'occurrence du séisme du 21 Mai 2003 ($M_w=6.8$) a été occultée soit parce que supposée relativement faible, soit par une localisation défailante de ces sources. L'évaluation du risque sismique et partant sa réduction nécessite une évaluation sismo – tectonique régionale ou locale que devront conforter des études précises en termes d'observations géologiques et de réseaux sismologiques.

Un trait particulier caractérise les sources sismogènes potentielles de la région de Zemmouri-Boumerdés: la conjonction d'une origine offshore de la faille dite de Boumerdés et le déploiement "terrestre" de cette dernière. Dans un contexte plus régional s'intègrent les prédispositions des zones limitrophes reconnues soit comme historiquement à forte sismicité ou présentant une tectonique d'activation comme la faille de Thénia. Cette identification doit être accompagnée d'une mise à jour du catalogue de la sismicité de l'Algérie en y incluant non seulement les séismes classés historiquement violents mais aussi ceux issus d'une tectonique agissante comme la faille de Boumerdés-Zemmouri restera une source potentielle parce que active. La prévention passe par la parfaite identification des marqueurs tectoniques en termes de direction des failles, de leur géométrie, de leur composante, décrochante, d'effacement et d'extension et enfin de l'observation des déformations observées à l'échelle de la région et incluses dans le cadre global de l'activité tectonique continue induite par le rapprochement des plaques africaine et eurasiennne.

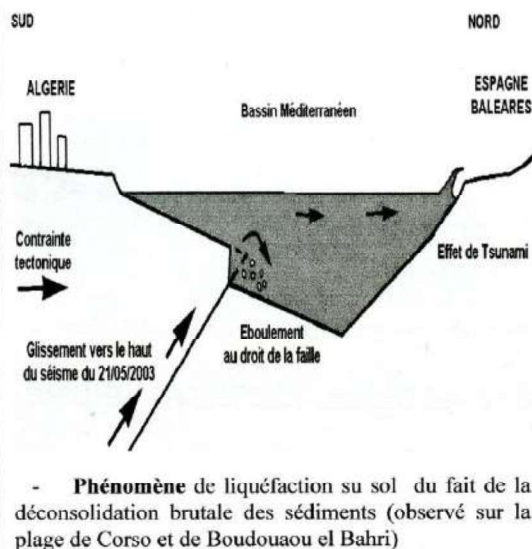
CARACTERISTIQUES DU SEISME

Magnitude $M_w=6,8$ (USGS). Ce séisme a la plus forte magnitude en Algérie depuis 1980 après celui de Asnam ($M_w=7,3$). C'est le plus fort séisme enregistré dans l'Atlas Tellien central au cours des deux derniers siècles.

- **Coordonnées** épicentrales 36°90 N et 3°71 E (USGS)
- **Epicentre** en mer à environ 4 km de la cote entre Boumerdés et Zemmouri
- **Importants** dégâts dans les régions de Boumerdés, corso, Tidjelabine, Reghaia, Thénia, Bordj Ménéaïl, Sidi Daoud Dellys etc.
- **Plus** de 2286 morts et près de 3320 blessés
- **Plus** de 100 disparus
- **175000** sinistrés
- **18000** logements détruits

Rupture cosismique associée à une faille inverse (probablement réactivée) de direction NE –SW

- **Mouvements** cosismiques verticaux atteignant 0,50 m le long de la côte
- **Hypocentre** (foyer) superficiel environ 10 km
- **Faïlle** probablement activée du type inverse de dimension variant entre 15 à 20 km de longueur et un déplacement de l'ordre d'un mètre
- **Répliques** : Plus de 900 répliques ont été enregistrées par les stations de CGS et du CRAAG dont répliques ont des magnitudes supérieures ou égale à 5. La plus importante réplique de $M_w = 5,8$ a été enregistrée le 27 mai 2003
- **Effets** occasionnés (liquéfaction, affaissements de sol, glissement de terrain ruptures de surface etc.)
- **Mouvement** de faille a provoqué une vague de tsunami ressenti sur les cotes espagnols et aux Baléares
- **Ruptures** des câbles sous-marins de communications
- **Par suite** du mouvement de la faille inverse, observation d'un phénomène de recul de la mer de 60 à 100 m à Lejenna (non loin de Dellys)
- **Fracture** du sol (à Oued Isser près de Boudouaou)



Simulation proposée par André LAURENTI (azurséisme)

16. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMBRASEYS N and VOGT J 1988**
Material for the investigation of the seismicity of the region of Algiers (Algeria)
European Earthquake Engineering 3 16-29
- ARGUS DF, GORDON RG, DENET C and STEIN S 1989**
Closure of the Africa Eurasia North America plate motion circuit and tectonics of the Glauria fault,
J. Geophys. Res. 94, 5585-5602

BENHALLOU H 1985

Les catastrophes séismiques de la région d'Echlef dans le contexte de la sismicité historique de l'Algérie
Thèse de doctorat ès sciences USTHB Alger 294 p

BENOUAR 1994

Material for investigation of seismicity of Algeria and adjacent regions
Annali Di Geophysica V, XXXVII,4 860p

BOUGHACHA M S 1999

Les mécanismes au foyer- Conférence internationale sur la sismicité, le génie parasismique et la gestion des catastrophes naturelles en Algérie
USTHB les 23-24-25 Mai 1999 proceedings
Bull. Serv. Géol. de l'Algérie Vol. 14, N°2, 65-77

BOUGHACHA MS et al. 2003

Sismicité en Algérie de 1790 à 2000 – Mécanismes au foyer et vitesse de rapprochement inter-plaques

BOUGHACHA MS 2004

Seismicity and seismic hazard Mapping of Northern Algeria map of Maximum calculated intensities (MCI)
Journal of Seismology 8, 1-10

COLLOMB P, MAHDJOUB Y et SAADALLAH A 1971

Etude pétrographique et structural des gneiss de Sidi-Ferruch (massif métamorphique d'Alger)
Extrait du bulletin de la Soc. d'Hist. Nat. de l'Afrique du Nord Tome 62- fasc. 2-3 pp 61-70

DEWEY JF, HELMAN ML, HUTTO DH W and KNOTT SD 1989

Kinematics of the Western Mediterranean
In Coward MP Dietrich D and Park RG (Editions) Alpin tectonics, Geological Society Publication, London N° 45 265-283

DRAKATOS G and LATOUSSAKI J 2001

A catalogue of aftershock in Greece (1971-1997) their spatial and temporal characterization
Journal of seismology 5

DURANT-DELGA et FONTOBE 1980

Le cadre méditerranéen occidental
Publi 26^{ème} Cong. Géol. Intern. (Colloque C5)
Thème 2 "les chaînes périméditerranéennes"

GLANGEAUD L 1955

Les déformations plio- Quaternaires de l'Afrique du Nord
Sonderdruck aus der geologischen Rundschau
Band 43, fasc 1 pp 181-196

GLANGEAUD L et LAGRULA J 1952

Corrélation entre les données gravimétriques et structurales dans le Nord de la province d'Alger
Bull. Carte Géol. Algérie

GLANGEUD L, AYME A, MATTAUER M et MERAOUR P 1952

Histoire géologique de la province d'Alger
Monographies régionales, 1^{ère} série Algérie N° 25
XIX^{ème} Congrès Géologique International

GUTENBERG B and RICHTER CF 1944

Frequency of earthquakes in California
Bull. Seism. Soc. Am. 34, 185-187

HEE A 1950

Catalogue des séismes algériens de 1850 à 1911
Ann. Phys. Globe Strasbourg 6, 41-49

HERRAIZ SARACHAGA M 1997

Conceptos básicos de sismología para ingenieros
Centro Peruano Japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres Perú 132 p

MAHJOUB Y 1991

Cinématique des déformations et évolution alpine en Petite Kabylie (Algérie Nord-Orientale) Un modèle d'évolution du domaine tellien interne
thèse de Doctorat d'Etat USTHB Alger 194 p

MAHJOUB Y 1981

La déformation plastique d'échelle microscopique dans les unités tectoniques du massif d'Alger – Un écaillage contemporain de la mylonitisation épizonale
Thèse 3^{ème} cycle Alger 140 p

MAOUCHE S 2002

Etude sismo – tectonique de l'Algérois et des zones limitrophes de Cherrhell-Gouraya Thèse de Magister USTHB Alger

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

MEGHRAOUI M 1988

Géologie des zones sismiques du Nord de l'Algérie
Thèse de Doctorat es Sciences Univ. de Paris Sud Orsay France 356

MOKRANE A, AIT-MESSAOUD, SEBAI A, AYADI A et BEZZEGHOUD M 1994

Les séismes en Algérie de 1365 à 1992
Publication du CRAAG Département : étude et surveillance sismiques ESS CRAAG Alger Bouzaréa 277 p

MONIE P, MALUSKI H, SAADALLAH A and CABY R

New Ar39-Ar40 ages of Hercynian and Alpine Thermodynamics Event
Publi. du Serv. Carte Géol. de l'Algérie (nouvelle série)
Bull. N°5 Trav. Coll. Alger

PERREY A 1847

Note sur le tremblement de terre en Algérie dans l'Afrique septentrionale
Mém. de l'Acad. des Sci. Arts et Belles Lettres de Dijon
Année 1845-1846 299-323

PHILIP H and MEGHRAOUI 1983

Structural analysis and interpretation of the surface deformation of El-Asnam earthquake of October 10, 1980, Geodetic determination of vertical and horizontal movements Bulletin of American Seismic Society 72 2222-2227

PHILIP H and MEGHRAOUI M 1983

Structural analysis and interpretation of the deformation of the El-Asnam earthquake of October 10, 1980 Tectonics 2,1 17-49

ROTHER JP 1950

Les séismes de Kherrata et la sismicité de l'Algérie
Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie 4^{ème} série Géoph. N°3 40p

ROUSSEL J 1973

Les zones actives et la fréquence des séismes en Algérie (1716-1970)
Extrait du Bulletin de la Soc. d'Hist. Nat. de l'Afrique du Nord- Tome 64- fascicule 3 et 4 SNED – Alger 211-228

SAADALLAH A 1992

Le cristallin de Grande Kabylie (Algérie) Sa place dans la chaîne des Maghrébides
Thèse d'état- USTHB Alger 260p

SAADALLAH A 1981

Le massif cristallophyllien d'El-Djazaïr – Evolution d'un charriage à vergen Nord dans les intermédiaires des Maghrébides Th. 3^{ème} cycle Alger 160p