

Sismologie/Seismology
(Tectonique/Tectonics)

La crise sismique du golfe d'Aqaba de 1983: implications tectoniques

Najib ABOU KARAKI, Louis DORBATH et Henri HAESSLER

Résumé – La crise sismique qui s'est produite en 1983 à l'extrémité nord du golfe d'Aqaba a été localisée en réunissant les données de divers organismes nationaux ou internationaux. Les épicentres s'alignent parallèlement à la côte orientale du golfe d'Aqaba dans le prolongement de la faille du Levant. Le mécanisme au foyer des événements les plus importants correspond au rejeu en décrochement senestre d'un accident tectonique qui doit être considéré comme la continuation dans le golfe d'Aqaba de la faille du Levant.

The gulf of Aqaba seismic swarm of 1983: tectonic inference

Abstract – The seismic swarm which occurred in 1983 at the northern tip of the Gulf of Aqaba was relocated using the data published by national and international agencies. The epicentres are distributed along the eastern shore of the gulf in the prolongation of the Jordan-Dead Sea transform fault. The focal mechanism of the main shocks exhibits left-lateral strike-slip faulting, indicating that a segment of the major transcurrent fault was activated.

Abridged English Version – INTRODUCTION. – The Gulf of Aqaba forms the southern part of the Jordan-Dead Sea transform zone (JDT), which constitutes the northwestern boundary of the Arabian plate. The left-lateral shear displacement along the JDT is accommodating the differential motion of the Arabian plate with respect to the Sinai peninsula, resulting from the opening of the Red Sea and the Gulf of Aden. From the straits of Tirân to Aqaba, the Gulf of Aqaba forms an elongated depression, 180 km long by 20 km wide, that reaches a maximum depth of 1,850 m. Geophysical studies have shown that it consists of three *en échelon* pull-apart structures.

A critical review of the historical seismicity shows that the city of Aqaba experienced several earthquakes in 48, 1068, 1212 and 1588, which were particularly destructive (Abou Karaki, 1987). However, instrumental seismicity was practically non-existent before the occurrence of the 1983 seismic swarm.

The swarm began on January 21 with a $M_L = 2.4$ earthquake, immediately followed by a $M_L = 4.4$ event. Between January 21 and January 30 no event with a magnitude greater than 4 occurred, but 25 of smaller events were located by the Institute for Petroleum Research and Geophysics (IPRG). On January 31 several shocks with magnitudes ranging from 4 to 4.8 occurred, preceding the climax of the swarm, on February 3 when three magnitude 5 earthquakes occurred. The level of activity then gradually decreased and fell below the detection level by the end of April. For about 3 months the swarm was active: more than 1,000 events with magnitudes greater than 1.8 were recorded.

RELOCATION AND TECTONIC IMPLICATIONS. – Six portable one-component stations were installed in the epicentral area in order to complement the regional network by the Directorate General of Mineral Resources of Jeddah (DGMR). We gathered their data and combined them with complementary data taken mostly from the IPRG bulletins. This data set allowed us to relocate 42 events, each location relying on at least 6 P wave arrival-times amongst which 3 were from the DGMR local network. The accuracy of the locations is much improved over

Note présentée par Jean AUBOIN.

0764 4450/03/03171411 \$ 2.00 © Académie des Sciences



U.R.S.I.U.M. Fonds Documentaire
N° : 43495
Cote : B ex 1.

the previously published ones, performed by the IPRG and by the DGMR. In particular, there is far less scatter of the epicentres than on the maps they produced, allowing a better understanding of the generating process of the swarm in relation to the regional tectonics.

The results of the relocation procedure are presented in figure 2. The epicentres depict a narrow zone of activity, about 20 km long, trending in an almost North-South direction, off-shore from the city of Haql, and clearly associated to the eastern side of the Gulf of Aqaba. Independently from the data used to relocate these events, a composite fault-plane solution was worked out using the first P-wave motions published by the international agencies, ISC and EMSC, together with those from the UNJ station (National University of Jordan). This composite focal mechanism was constructed from the two main events of the swarm (February 3, 13 h 46 and 23 h 30 respectively) and shows left-lateral strike-slip faulting, if the North-South trending nodal plane is taken as the fault plane, with a large reverse component. This solution is in fairly good agreement with both the general direction of the distribution of the relocated aftershocks and the direction of the maximum principal stress deduced from the analysis of recent faults and folds in Jordan (Barjous and Mikbel, 1990; Lyberis, 1988).

DISCUSSION AND CONCLUSIONS. — Although there is still some scatter of epicentres, most of them define a narrow zone of activity along the eastern coast of the Gulf of Aqaba. As a rule the eastern edge of the fault system has been recognized as the more active side from geological observations both along the Gulf of Aqaba and, more to the North, along the Wadi Araba, as far as to the Dead Sea (Ben-Avraham *et al.*, 1979; Ben-Avraham, 1985). The left-lateral component faulting shown by the composite focal mechanism is in agreement with the general displacement of the Arabian plate with respect to the Sinai peninsula and the inverse component should be expected for a compressional stress regime in a NW-SE direction. Thus both the relocation of the seismic activity during the 1983 swarm and the focal mechanism lead us to conclude that this crisis results from left-lateral displacement along a segment of the large structure which limits the eastern border of the Gulf of Aqaba.

INTRODUCTION. — Le golfe d'Aqaba forme la partie méridionale du grand accident décrochant Jourdain-mer Morte-Wadi Araba qui constitue la frontière NW de la plaque Arabie. Le décrochement senestre le long de cet accident est la conséquence du mouvement différentiel de la plaque Arabie par rapport à la péninsule du Sinaï, résultant de l'ouverture de la Mer Rouge et du golfe d'Aden.

Une compilation et une revue critique de la sismicité historique montrent que la ville d'Aqaba et ses environs ont été affectés à plusieurs reprises, dans le passé, par des tremblements de terre destructeurs (Abou Karaki, 1987). On retiendra, en particulier, les séismes de 48, 1068, 1212 et 1588 après J. C. Aucun d'entre eux, cependant, ne peut être associé de manière certaine à une faille précise, en particulier aux failles du golfe d'Aqaba.

La sismicité instrumentale de la région du golfe d'Aqaba était à peu près inexistante depuis le début du siècle jusqu'à la crise de 1983, au cours de laquelle un millier de séismes de magnitude supérieure à 1,8 se sont produits entre le 20 janvier et le 20 avril. Quelques événements ont atteint la magnitude 5, mais la crise s'est développée sous la forme d'un essaim et non sous la forme d'un choc principal suivi d'une séquence de répliques.

Plusieurs organismes, nationaux et internationaux, ont publié les temps d'arrivée des ondes P pour les événements les plus importants et ont calculé les paramètres de leurs hypocentres. Nous avons rassemblé ces données éparses et relocalisé 42 séismes

en combinant les différents temps d'arrivée. La précision des localisations s'en trouve sensiblement améliorée, ce qui permet d'apporter des éléments nouveaux sur la tectonique de la région et l'origine de cette crise.

CADRE GÉOLOGIQUE ET TECTONIQUE. – L'ouverture de la mer Rouge et du golfe d'Aden entraîne le déplacement vers le Nord de la plaque Arabie le long du système de failles qui se succèdent depuis le golfe d'Aqaba par le Wadi Araba, la mer Morte et le Jourdain. Depuis le Miocène, le déplacement cumulé est de l'ordre de la centaine de kilomètres (Quennel, 1958; Garfunkel, 1981). Lorsque la faille principale est décalée vers l'Ouest des « pull-aparts » se forment, dont la mer Morte constitue l'exemple type, et qui constituent l'une des caractéristiques majeures de la région.

Du détroit de Tiràn au port qui lui donne son nom, le golfe d'Aqaba se présente sous la forme d'une profonde dépression longue de 180 km et large de 20 km en moyenne. Des campagnes de géophysique marine ont montré qu'il n'était pas formé d'un « pull-apart » unique, mais de la juxtaposition de trois « pull-aparts » disposés *en échelon*, limités par des failles de direction N20 à N25, et dont les parties orientales paraissent les plus actives (Ben-Avraham *et al.*, 1979; Ben-Avraham, 1985). La profondeur du golfe d'Aqaba atteint 1 850 m, ce qui le distingue du golfe de Suez qui, bien que plus large, n'excède pas 100 m et traduit bien leurs modes de formation différents.

LA CRISE DE 1983. – Cette crise a débuté le 21 janvier par un séisme de magnitude $M_L = 2,4$, qui a été suivi 8 mn plus tard par un événement plus important, de magnitude $M_L = 4,4$. Dans la période du 21 au 30 janvier, 25 séismes de magnitude inférieure à 4 environ ont pu être localisés par l'Institute for Petroleum Research and Geophysics (IPRG) basé à Holon, près de Tel-Aviv. Le 31 janvier, plusieurs événements de magnitude 4 à 4,8 ont été enregistrés. La crise a culminé le 3 février avec trois séismes de magnitude voisine ou légèrement supérieure à 5,0, puis s'est poursuivie en décroissant tant en nombre d'évènements qu'en magnitude, avant de disparaître, ou tout au moins de passer sous le seuil de détection des instruments, le 20 avril.

RELOCALISATION. – Un réseau temporaire de six stations sismologiques équipées de capteurs à une composante verticale a été installé dans la zone épacentrale par le Directorate General of Mineral Resources (DMGR) de Jiddah à partir du 10 février afin d'étudier la crise sismique (El Isa *et al.*, 1984; Bazzari *et al.*, 1990), malheureusement après son paroxysme. De son côté, l'IPRG a continué à enregistrer et localiser les événements susceptibles de l'être avec une précision acceptable; notons cependant que cette précision souffre du fait que les stations les plus proches de la zone épacentrale en sont éloignées de plus de 100 km. Les cartes produites par ces deux organismes présentent une dispersion assez grande des épacentres, dispersion qui ne permet pas de relier la crise à des éléments tectoniques précis et aisément identifiables (*fig. 1*). Cependant les deux distributions définissent bien la même zone épacentrale, et, de ce fait, il est apparu intéressant de réunir les deux ensembles de données afin d'améliorer, si possible, la localisation des foyers. Un premier traitement des données des temps d'arrivée disponibles dans les bulletins, à l'aide du programme de localisation HYPO71 (Lee et Lahr, 1975), a permis de déterminer des corrections de station qui, dans un second temps, ont été introduites dans le processus de localisation afin d'obtenir les solutions définitives. Le modèle de vitesse utilisé est déduit des profils sismiques effectués dans la région (El-Isa *et al.*, 1987; Ginzburg et Kashai, 1981). En outre, n'ont été retenus que les événements enregistrés par un minimum de 6 stations, dont 3 au moins du réseau local du DMGR. L'erreur de localisation calculée suivant chacune des trois coordonnées spatiales est de l'ordre de 3 km. Cette valeur

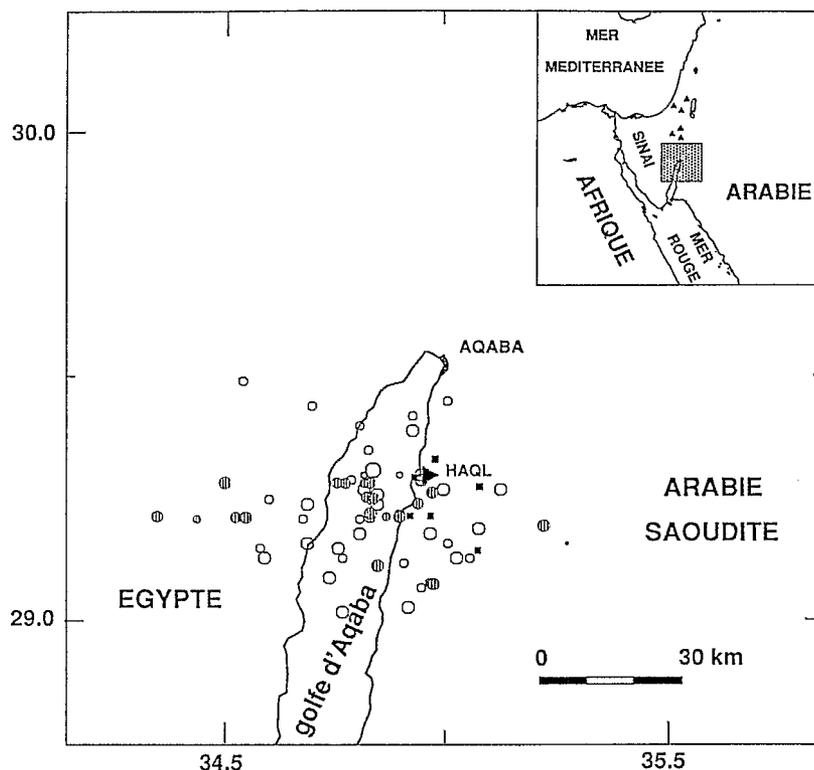


Fig. 1. – Localisation par l'IPRG (cercles ouverts) des 42 séismes faisant l'objet de la relocalisation. 23 de ces séismes ont été localisés par le DGMR (cercles hachurés). La taille des symboles est proportionnelle à la magnitude des séismes. Les stations du DGMR sont représentées par des carrés noirs. L'insert donne la situation géographique de la région étudiée ainsi que la position des stations de l'IPRG, représentées par des triangles noirs.

Fig. 1. – Location by the IPRG (open circles) of the 42 events relocated afterwards. 23 of these events have been located by the DGMR (hatched circles). The size of the symbols is proportional to the magnitude of the earthquakes. Black squares are the DGMR stations. The box shows the geographical situation of the region under study together with the IPRG stations (black triangles).

relativement élevée résulte du fait que la plupart des temps d'arrivée n'ont pas été lus avec une précision meilleure que la demi-seconde. Il n'en reste pas moins que, grâce à ce processus, la dispersion des épicentres est considérablement réduite par rapport aux travaux antérieurs (fig. 2).

IMPLICATIONS TECTONIQUES. CONCLUSION. – Bien que certains foyers restent dispersés, la grande majorité d'entre eux définit une zone épacentrale étroite, longue d'une vingtaine de kilomètres, d'orientation N-S, le long de la rive orientale du golfe d'Aqaba, au Sud de la localité de Haql. Cette bordure est du système de failles avait déjà été reconnue comme la plus active géologiquement, tant au niveau du golfe d'Aqaba (Ben-Avraham, 1985) que plus au Nord, jusqu'au niveau de la mer Morte. La profondeur des foyers, le paramètre le moins bien contraint, varie de 2 à 15 km.

Nous avons déterminé le mécanisme au foyer composite des deux séismes du 3 février, à 13 h 46 mn et 23 h 30 mn, tous deux de magnitude $M_L = 5$, à partir des données mondiales (SCI, CSEM) et jordaniennes (UNJ, Université Nationale de Jordanie). Ce mécanisme (fig. 2), décrochant compressif, présente un plan nodal à peu près N-S, en accord avec la

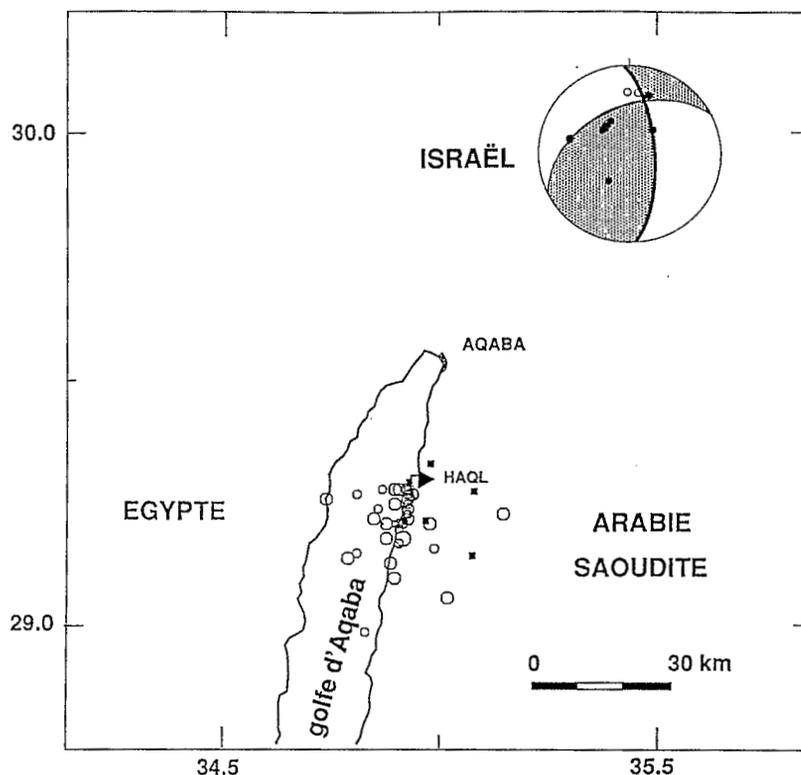


Fig. 2. – Relocalisation de 42 séismes de la crise d'Aqaba en combinant les données de l'IPRG et du DGMR. Le mécanisme au foyer correspond aux deux secousses les plus importantes. Les compressions et les dilatations sont représentées par des cercles noirs et ouverts respectivement. La donnée en compression sur le plan nodal subméridien cache une donnée en dilatation. Ce plan nodal, en trait gras, doit être considéré comme le plan de faille d'après la distribution des épicentres.

Fig. 2. – Epicentres of the 42 events relocated after combining the data from the IPRG and the DGMR. The composite focal mechanism corresponds to the two main events of the swarm. Black and open dots are compressions and dilatations respectively. The compression data on the submeridian nodal plane hides a dilatation. This nodal plane (thick line) has to be considered as the fault plane according to the distribution of the epicentres.

distribution des épicentres des événements de la crise relocalisés. Le mouvement sur ce plan est senestre, et donc conforme au déplacement de la plaque Arabie relativement à la péninsule du Sinaï. Le régime général de compression NW-SE postulé par Barjous et Mikbel (Barjous et Mikbel, 1990; Lyberis, 1988) à partir de l'étude des failles et des plis récents observés en Jordanie, explique la composante inverse du mécanisme.

La relocalisation des séismes survenus en 1983 dans le golfe d'Aqaba, ainsi que l'étude du mécanisme au foyer des deux chocs les plus importants de cette crise, montrent que celle-ci résulte du rejeu d'un segment du grand accident senestre qui suit la rive orientale du golfe d'Aqaba et constitue la limite NW de la plaque Arabie.

Note remise le 26 juillet 1993, acceptée après révision le 29 septembre 1993.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

N. ABOU KARAKI, Synthèse et carte sismotectonique des pays de la bordure orientale de la Méditerranée : sismicité du système de failles du Jourdain-mer Morte, *Thèse*, Université Louis-Pasteur de Strasbourg, 1987.

M. BARJOUS et Sh. MIKBEL, Tectonic evolution of the Gulf of Aqaba-Dead Sea transform fault system, *Tectonophysics*, 180, 1990, p. 49-59.

- M. A. BAZZARI, H. M. MERGHELANI et H. H. BADWANI, Seismicity of the Haql region, Gulf of Aqaba, Kingdom of Saudi Arabia, *Saudi Arabian Directorate General of Mineral Resources, Open-file Report*, USGS-OF-10-9, 1990.
- Z. BEN-AVRAHAM, Structural framework of the Gulf of Elat (Aqaba), Northern Red Sea, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 90, 1985, p. 703-726.
- Z. BEN-AVRAHAM, Z. GARFUNKEL, G. ALMAGOR et J. HALL, Continental breakup by a leaky transform: the Gulf of Elat (Aqaba), *Science*, 206, 1979, p. 214-216.
- Z. EL-ISA, H. M. MERGHELANI et M. A. BAZZARI, The Gulf of Aqaba earthquake swarm of 1983 January-April, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 78, 1984, p. 711-722.
- Z. EL-ISA, J. MECHIE, J. PRODEHL, C. MAKRIIS et R. RIHM, A crustal structure study of Jordan derived from Seismic refraction data, *Tectonophysics*, 138, 1987, p. 235-252.
- Z. GARFUNKEL, Internal structure of the Dead Sea leaky transform (rift) in relation to plate kinematics, *Tectonophysics*, 80, 1981, p. 81-101.
- A. GINZBURG et E. KASHAI, Seismic measurements in the southern Dead Sea, *Tectonophysics*, 80, 1981, p. 67-80.
- W. H. K. LEE et J. C. LAHR, HYPO71: A computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquake, *U.S. Geol. Surv. Open File Rep.*, 1975, p. 75-311.
- N. LYBERIS, Tectonic evolution of the Gulf of Suez and the Gulf of Aqaba, *Tectonophysics*, 153, 1988, p. 209-220.
- A. QUENNEL, The structural and geomorphic evolution of the Dead Sea Rift, *Quarterly Jour. Geol. Soc. London*, V 114, 1958, p. 1-24.

N. A. K. : *Université de Jordanie, Faculté des Sciences,
Département de Géologie, Amman, Jordanie ;*

L. D. : *EOPG, 5, rue René-Descartes, 67000 Strasbourg, France,
et ORSTOM, 213, rue La Fayette, 75010 Paris, France ;*

H. H. : *EOPG 5, rue René-Descartes, 67000 Strasbourg, France.*