

La séquence sismique du 12 janvier 2010 ML = 4.8 dans la fosse d'Obock

Kassim Mohamed, Abayazid Ahmadine et Farid Ibrahima

Observatoire Géophysique d'Arta, CERD

Résumé

Le 12 janvier 2010 à 04h44 (TU) s'est produit un séisme de magnitude ML=4.8 dans la fosse d'Obock (golfe de Tadjoura) en République de Djibouti. Cet

séisme a été suivi par une séquence de séismes de magnitude inférieure à 3.0.

Mots-clés

Le 12 janvier 2010, à 04h44 (TU) s'est produit un séisme de magnitude ML=4.8 dans la fosse d'Obock (golfe de Tadjoura) en République de Djibouti. Cet séisme a été suivi par une séquence de séismes de magnitude inférieure à 3.0. Les séismes de cette séquence ont été enregistrés par un réseau de stations sismologiques de l'Observatoire Géophysique d'Arta, CERD. Les données sismologiques ont été traitées et les paramètres sismologiques ont été déterminés. Les résultats montrent que les séismes de cette séquence sont liés à la tectonique de la fosse d'Obock. Les séismes de magnitude inférieure à 3.0 ont été enregistrés par un réseau de stations sismologiques de l'Observatoire Géophysique d'Arta, CERD. Les données sismologiques ont été traitées et les paramètres sismologiques ont été déterminés. Les résultats montrent que les séismes de cette séquence sont liés à la tectonique de la fosse d'Obock.

Abstract: On January 12, 2010 at 04:44 (TU) an earthquake of magnitude ML=4.8 occurred in the Obock trench (Gulf of Tadjoura) in the Republic of Djibouti. This earthquake was followed by a sequence of smaller magnitude earthquakes. The earthquakes of this sequence were recorded by a network of seismic stations of the Geophysical Observatory of Arta, CERD. The seismic data were processed and the seismic parameters were determined. The results show that the earthquakes of this sequence are related to the tectonics of the Obock trench.

Introduction

Du point de vue géologique, la République de Djibouti fait partie d'une vaste région connue sous le nom de Dépression Afar, où convergent deux rides océaniques (la ride du Golfe d'Aden et la ride de la Mer Rouge) et un rift continental (le rift Est-Africain).

La géologie de la République de Djibouti est caractérisée par la présence de roches magmatiques, sédimentaires et métamorphiques, ainsi que par la présence de structures tectoniques complexes.

Le relief de la République de Djibouti est marqué par la présence de plateaux, de vallées et de montagnes, ainsi que par la présence de structures tectoniques complexes.

Le climat de la République de Djibouti est aride, avec de fortes températures et de faibles précipitations.

La population de la République de Djibouti est majoritairement d'origine somalienne et afar.

Le développement économique de la République de Djibouti repose principalement sur le commerce et les services.

La République de Djibouti est un pays en développement, avec de nombreux défis à relever.

Le gouvernement de la République de Djibouti s'efforce de promouvoir le développement durable et la stabilité politique.

La République de Djibouti est un pays riche en ressources naturelles, notamment en pétrole et en gaz.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une gestion responsable de ses ressources naturelles.

La République de Djibouti est un pays engagé dans la coopération internationale et le dialogue.

Le développement économique de la République de Djibouti nécessite une attractivité accrue pour les investisseurs étrangers.

La République de Djibouti est un pays riche en patrimoine culturel et historique.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une préservation de son patrimoine culturel et historique.

La République de Djibouti est un pays engagé dans la lutte contre la corruption et la fraude.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une transparence accrue dans la gestion des affaires publiques.

La République de Djibouti est un pays riche en ressources humaines.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une formation accrue de sa main-d'œuvre.

La République de Djibouti est un pays engagé dans la promotion de l'égalité et de la justice sociale.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une réduction des inégalités sociales.

La République de Djibouti est un pays riche en biodiversité.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une protection accrue de sa biodiversité.

La République de Djibouti est un pays engagé dans la promotion de l'énergie renouvelable.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une transition énergétique vers des sources d'énergie renouvelables.

La République de Djibouti est un pays riche en paysages naturels.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une préservation de ses paysages naturels.

La République de Djibouti est un pays engagé dans la promotion de l'écotourisme.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une attractivité accrue pour le tourisme durable.

La République de Djibouti est un pays riche en traditions et coutumes.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une valorisation de son patrimoine culturel et historique.

La République de Djibouti est un pays engagé dans la promotion de la culture locale.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une attractivité accrue pour la culture locale.

La République de Djibouti est un pays riche en paysages urbains.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une planification urbaine durable.

La République de Djibouti est un pays engagé dans la promotion de l'habitat durable.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une attractivité accrue pour l'habitat durable.

La République de Djibouti est un pays riche en paysages côtiers.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une préservation de ses paysages côtiers.

La République de Djibouti est un pays engagé dans la promotion de l'écotourisme.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une attractivité accrue pour le tourisme durable.

La République de Djibouti est un pays riche en paysages maritimes.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une préservation de ses paysages maritimes.

La République de Djibouti est un pays engagé dans la promotion de l'écotourisme.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une attractivité accrue pour le tourisme durable.

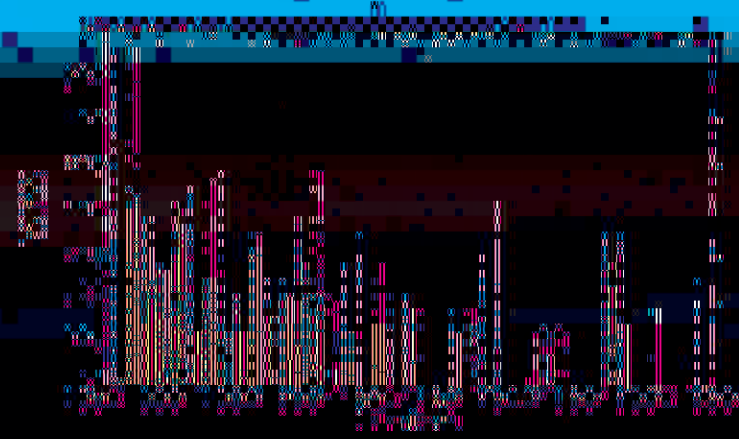
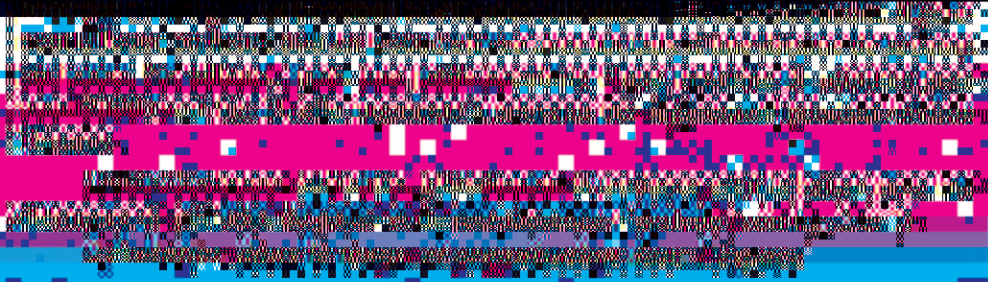
La République de Djibouti est un pays riche en paysages naturels.

Le développement durable de la République de Djibouti nécessite une préservation de ses paysages naturels.

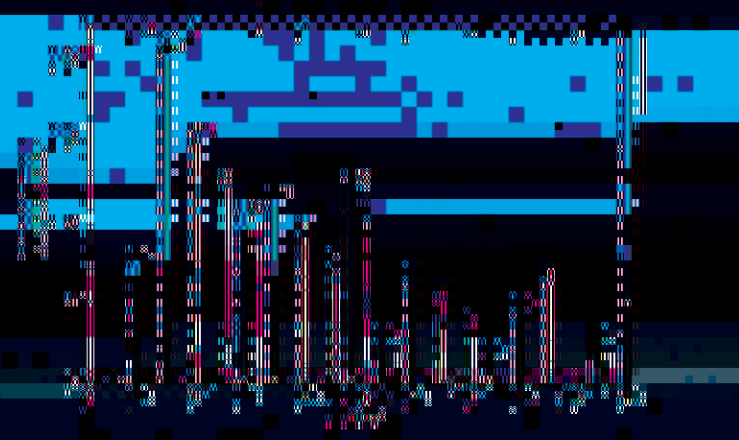
et Tadjoura. Durant les heures suivantes, de très nombreuses régimes sont

publiés et distribués dans les écoles et les collèges.

Le 15 mars, le régime est publié dans le journal "Le Progrès" de Tadjoura.



Annexe 1 : Répartition des matériels distribués dans l'école de Tadjoura.



Annexe 2 : Répartition des matériels distribués dans l'école de Tadjoura.

Annexe 3 : Répartition des matériels distribués dans l'école de Tadjoura.

1) évolution temporelle

Après un épisode de 2010, les deux indices principaux de tendance ont généralement à la base, sur nombre de séismes localisés (voir fig. 4). Il y a de temps à autre une légère recrudescence d'activité comme par exemple le 12 janvier à partir de 9h00 à la suite d'un séisme de magnitude 2,6 local le 24 janvier à partir de 18h00 après un séisme de magnitude 2,4 au nord-est de la zone étudiée.

avec approches

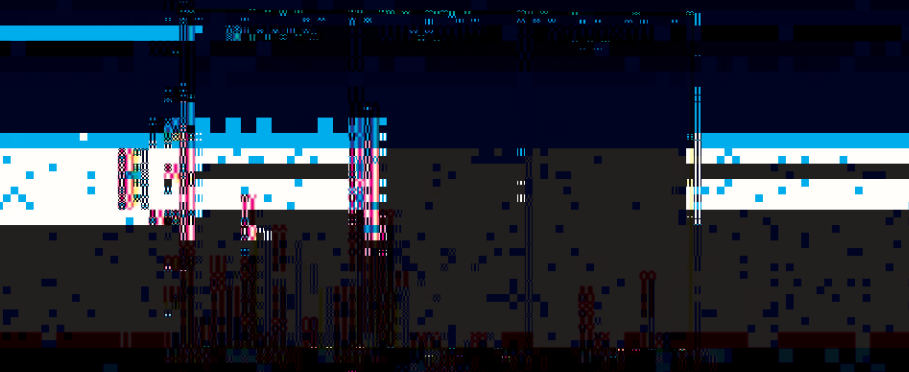


Figure 4 : Variation temporelle de la magnitude locale (Ml) et de la magnitude de surface (Ms) pour les séismes localisés.

Après le séisme de magnitude 2,6 local le 12 janvier à 9h00, il y a eu une recrudescence d'activité avec des séismes de magnitude 2,4 et 2,5 localisés le 12 janvier à 10h00 et 11h00.

Après le séisme de magnitude 2,4 local le 24 janvier à 18h00, il y a eu une recrudescence d'activité avec des séismes de magnitude 2,4 et 2,5 localisés le 24 janvier à 19h00 et 20h00.

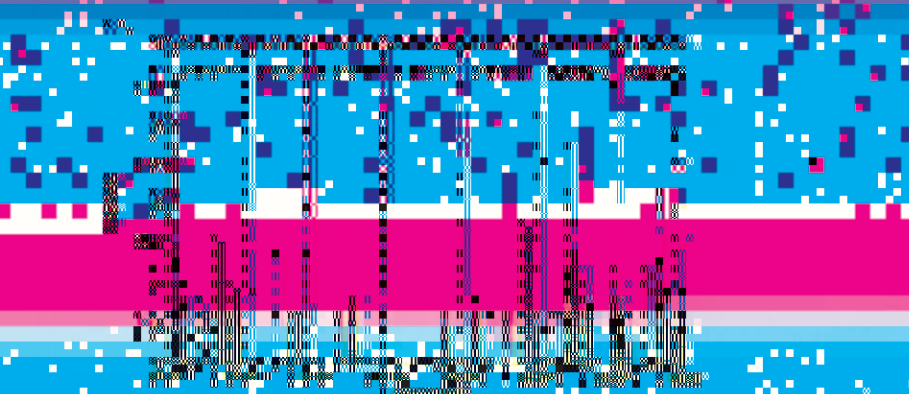


Figure 5 : Variation temporelle de la magnitude locale (Ml) et de la magnitude de surface (Ms) pour les séismes non localisés.

Après le séisme de magnitude 2,4 local le 24 janvier à 18h00, il y a eu une recrudescence d'activité avec des séismes de magnitude 2,4 et 2,5 localisés le 24 janvier à 19h00 et 20h00.

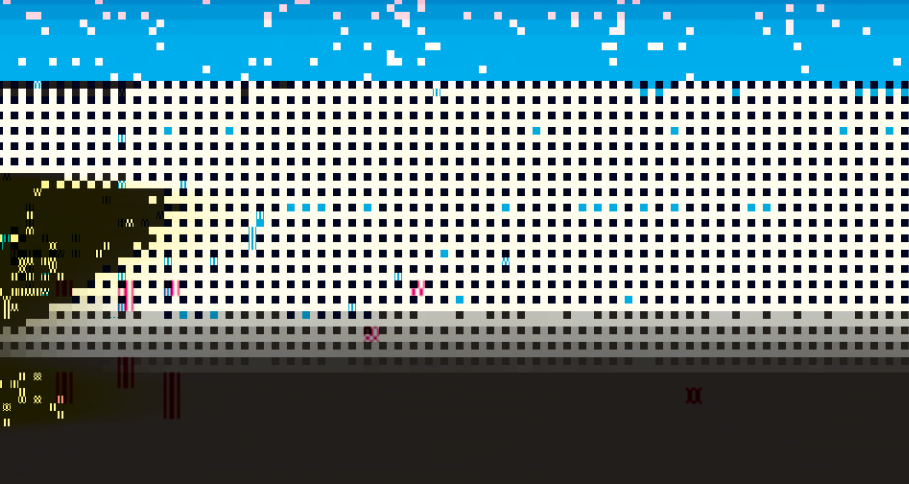


Figure 6 : Variation temporelle de la magnitude locale (Ml) et de la magnitude de surface (Ms) pour les séismes non localisés.

Le 21 janvier, après 8h49, reprise des activités sismiques en rafale à la suite de 2 séismes de magnitude $M_L=3.8$ qui se sont produits en l'espace d'environ une heure. Cette activité se poursuit le 22 janvier de façon de moins soutenue.

- Du 23 au 29 janvier 2010. Raréfaction net de l'activité sismique dès le 23 janvier et puis son arrêt total à partir de 26 janvier (voir fig. 6).

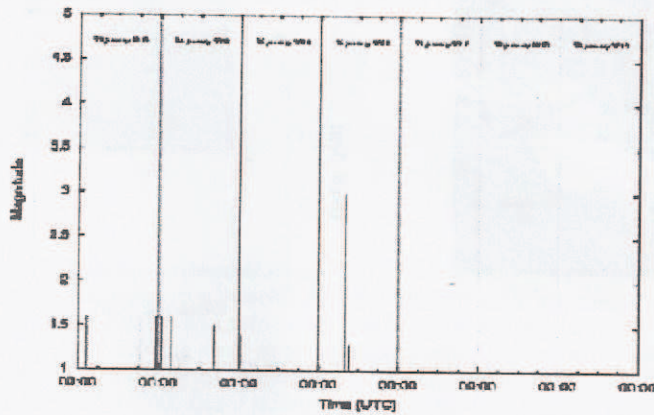


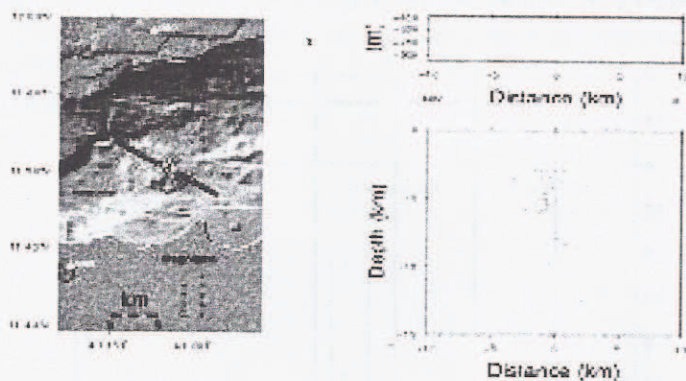
Fig. 6 : Sismicité du 23 au 30 janvier 2010.

2) Organisation spatiale

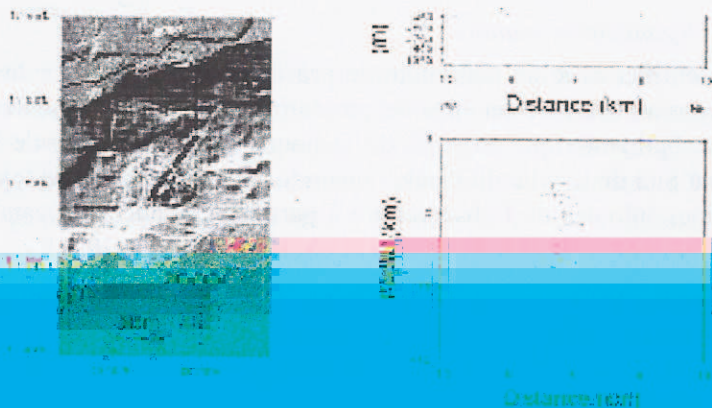
Pour identifier avec un maximum de précision les structures sous-marines (failles) activées au cours de cet épisode, par corrélation entre la carte des épicentres et la carte bathymétrique du golfe de Tadjoura, et en particulier de la région directement au Sud de la ville d'Obock, nous relocalisons d'abord les foyers issus des localisations initiales de l'observatoire à partir des données du catalogue en utilisant le programme HYPODD de Walhauser and Ellsworth (2000).

- Le 12 janvier 2010 : le choc principal s'inscrit dans la zone de faille

semble être renforcée par cette observation, d'autant que, par ailleurs, la comparaison de la fig. 8 avec la (fig. 7a) montre que la zone supérieure de la coupe le long du profil NW-SE sur la structure est redevenue complètement inactive durant ces 3 jours, contrairement à la journée du 12 janvier.



(a) Coupe NW-SE, azimut = 120°



(b) Coupe SW-NE, azimut = 35°

Fig. 7 : Distribution de la sismicité du 12 janvier 2010 après relocalisation. Sur les cartes d'épicentres à gauche, les lignes blanches en tirets indiquent la trace des profils bathymétriques du fond marin qui sont affichés par les courbes en pointillés à droite au-dessus des coupes. Les courbes en pointillés au-dessus des coupes correspondent à des traces des coupes verticales de longueur $L=10$ km, largeur $W=5$ km centrées au point C (43.30° E/11.56°N). Les L et W sont les dimensions des coupes d'épicentres relocalisés. Les stations sismologiques permanentes les plus proches de l'épicentres (OBO au Nord, SAC au Sud-Ouest).

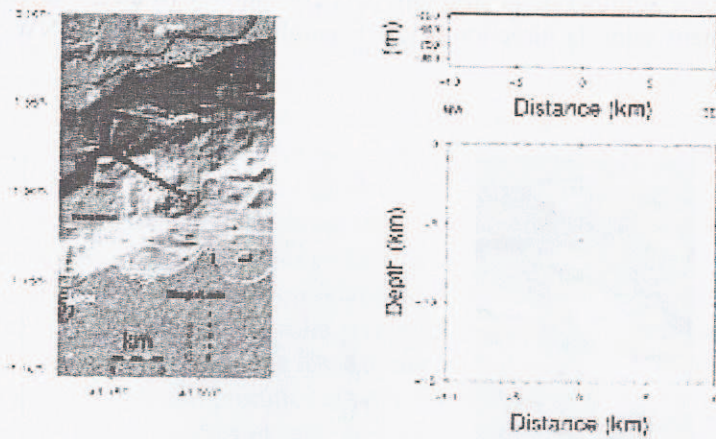


Fig. 8 : Distribution de la sismicité du 13 au 15 janvier à 17h55 après relocalisation. Sur la carte d'épicentres à gauche, la ligne blanche en tirets indique la coupe NW-SE du profil du fond marin selon l'azimut 120° qui est affiché par la courbe en pointillé en haut à droite de la figure. La ligne noire tracée sur la carte correspond à la trace de la coupe de longueur $L=10$ km, largeur $W=5$ km centrée au point C ($43.30^\circ E/11.84^\circ N$). Les 2 triangles blancs sur la carte représentent, les stations sismologiques permanentes les plus proches des épicentres.

- **Du 16 au 22 janvier 2010 :** activation de la partie centrale de 2 groupes de séismes alignés le long du profil NW-SE du 13 au 15 janvier qui, avant le 13 était dépourvu de sismicité. En particulier, le groupe qui accompagne les 2 chocs de magnitude 3.8 est localisé sur la zone contenant le sommet de la structure qui jusque là était pratiquement inactif. Par ailleurs, la partie de la fosse en contre-bas vers le côté sud-ouest de la structure, ainsi que la partie nord-est au pied de la structure, sont affectées par quelques séismes (voir fig. 9).

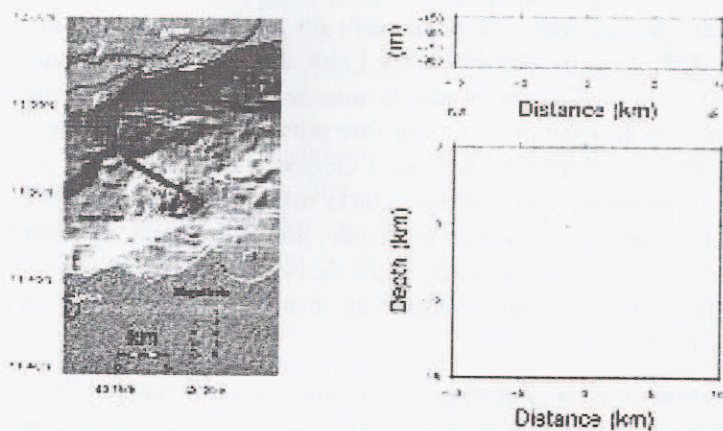


Fig. 9 : Distribution de la sismicité du 16 au 22 janvier à 23h39 après relocalisation.

- Du 23 au 30 janvier 2010 : confirmation du léger déplacement de la sismicité vers le sommet de la structure déjà constaté du 16 au 22 janvier et leur alignement selon la direction N120°E parallèlement au profil NW-SE (voir fig. 10).

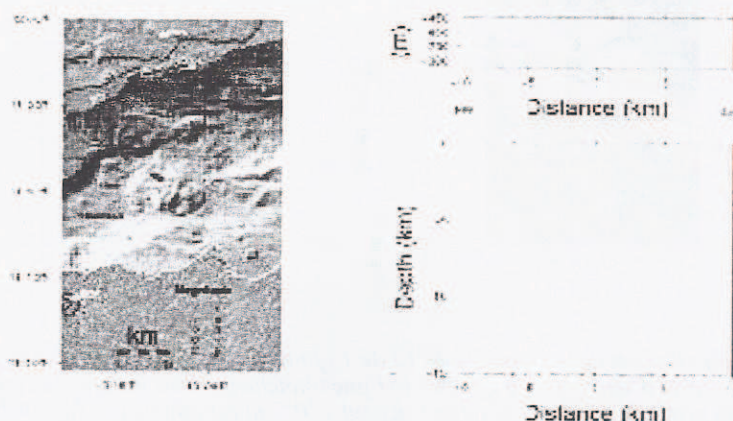


Fig. 10 : Distribution de la sismicité du 23 au 30 janvier 2010 après relocalisation

Discussion

La séquence sismique initiée le 12 janvier 2010 dans la fosse d'Obock à 16 km de la ville d'Obock et 32 km de Djibouti ville, s'est déroulée en plusieurs phases dans le temps et dans l'espace sur une structure se trouvant sur le bord NE de la fosse en contrebas. L'analyse de ces phases espace-temps montre un déplacement global de la sismicité le long de la structure dans le sens NE vers le SW par une succession d'activations progressives et de retour au calme des zones affectées. Ce déplacement de la sismicité pourrait par ailleurs aussi être perçu sous l'angle de vue de la montée ou de l'ascension de la sismicité vers le sommet de la structure en comparant ses positions occupées au fil du temps sur le fond bathymétrique (voir les fig. 7, 8, 9 et 10). Par ailleurs, à l'aide du profil topographique le long de la structure (voir la fig. 7b) qui montre la montée sous forme de marches d'escalier vers le sommet de la structure, il semble être plus facile d'imaginer le déplacement de la ride du Golfe d'Aden vers la fosse d'Obock de cette façon. Le parallèle entre la montée de la sismicité vers le sommet de la structure au fil du temps et la montée sous forme des marches en escalier de la ride, donne un appui significatif à la possibilité de pouvoir imaginer la structuration de cette dernière dans le temps à partir de mécanisme de type plusieurs séquences sismiques décalées dans le temps, du moins localement.

L'observation de la migration de la sismicité du NE vers le SW, évoquée plus haut, n'est pas nouvelle car déjà en mars 1997 lors d'une séquence sismique beaucoup plus soutenue dans la fosse d'Obock, elle a été observée par Kassim (2009).

Le choix d'utilisation de la technique de doubles différences, connue sous le nom de HYPODD, de Walhauser and Ellsworth (2000), s'est imposé dans notre analyse dès le début, en grande partie à cause de la faible densité de stations, et de leur éloignement, vis-à-vis de l'étendue du domaine affecté par la sismicité couvrant la majeure partie de la structure dès le 12 janvier. Cette technique de localisation relative des séismes présente l'avantage de " corriger " les erreurs de positions des hypocentres introduites par les localisations individuelles faites en routine avec HYPO71 (Lee and Lahr, 1972) à l'observatoire, en atténuant les effets de propagation dans des milieux hétérogènes sur de longues distances entre stations et foyer. En regroupant les séismes proches en famille, on peut s'affranchir, en première approximation, pour une localisation relative des éléments de ce groupe, de l'hétérogénéité du milieu extérieur à la zone active. On notera comme facteur défavorable à la précision de localisation que les stations permanentes les plus proches (OBO) et (MCA) sont mono composantes et se trouvent toutes les deux à une quinzaine de kilomètres des épïcêtres et que, de plus, la station MCA n'a pu détecter que le choc principal et les 2 chocs de magnitudes 3.8 à cause de son fonctionnement intermittent.

En dépit d'une certaine " amélioration " apportée dans la définition des foyers par cette technique de relocalisation, les profondeurs des séismes lors de cette séquence souffrent toujours d'une grande incertitude par rapport à leur positionnement dans le plan longitude-latitude, et cela est d'autant plus vrai que l'incertitude sur les pointés des ondes S est grande. En effet, l'existence d'une seule station du réseau permanent de l'observatoire sur laquelle les ondes S puissent être pointées avec certitude (Arta-ATD), qui se trouve à 66 km de la zone active lors de cette séquence, et la très grande proportion de " petits " séismes, qui produisent des signaux de faible rapport signal/bruit pendant cette séquence, conduisent à une plus grande dispersion en profondeur des séismes localisés, surtout à partir du 13 janvier.

Les directions de failles activées lors de cette séquence qui semblent se dégager d'après les alignements de la sismicité, sont en accord avec la distribution en azimuth des failles actives mise en évidence par les études bathymétriques antérieures par Manighetti et al., 1997, Dauteuil et al., 2001, dans cette partie du golfe de Tadjoura.

Cependant, rien dans la signature de l'activité sismique ni spatiale, ni temporelle, ne permet d'exclure de manière formelle que cette séquence, localisée sur ou à proximité d'un volcan d'un dizaine de kilomètres de diamètre, n'est pas liée à un épisode volcanique, pour lequel on assisterait à la migration d'un dyke, débouchant éventuellement, pour produire une éruption sous-marine. Seules des stations 3-composantes à OBO et MCA, ou mieux une station sous-marine (OBS), permettraient d'améliorer la précision sur la profondeur et peut-être d'observer une migration sub-verticale, et/ou d'enregistrer des signaux caractéristiques du volcanisme éruptif, comme des trémors volcaniques.

Conclusion

La séquence sismique de janvier 2010 est assez riche en enseignements, particulièrement par l'observation de la migration de la sismicité observée le long de la structure dans le sens NE vers le SW par une succession d'activations progressives et de retour au calme des zones affectées par les séismes. Cette observation pourra aider à mieux comprendre les mécanismes qui gouvernent ou participent à l'avancée de la ride du Golfe d'Aden dans le golfe de Tadjoura du moins dans la zone de la fosse d'Obock. Quel est le moteur de cette migration? A grande échelle l'ouverture du golfe d'Aden, et sa propagation vers l'ouest au travers du golfe de Tadjoura. A l'échelle locale, on recherchera le transfert de contraintes par la propagation d'un fluide : eau et/ou magma.

Remerciement

Nous tenons à remercier sincèrement Mr. Jean-Claude Lépine, d'abord pour son aide technique apporté sous forme des conseils régulièrement à l'observatoire dans le soucis du maintien de bon fonctionnement du réseau des stations sismologique, et ensuite pour ses nombreuses remarques et commentaires au moment de la lecture de cet article.

Bibliographie

- Audin, L. (1999), Pénétration de la dorsale d'Aden dans la dépression Afar entre 20 et 4 Ma, Thèse de doctorat de l'Université Paris 7.
- Dauteuil, O., P. Huchon, F. Quemeneur, T. Souriot, Propagation of an oblique spreading centre: the western Gulf of Aden, *Tectonophysics*, 332 (2001) 423-442.
- Kassim, M. K. (2009), Fonctionnement sismique du golfe de Tadjoura : Approche statistique (1973-2007) et déterministe (cas de la séquence 2004), Thèse de doctorat de l'Institut de Physique du Globe de Paris.
- Lee, W. H. K., and J. C. Lahr (1972). HYPO71: A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes, Open File Report, U. S. Geological Survey, 100 pp.
- Manighetti, I., P. Tapponnier, V. Courtillot, S. Gruszow, and P.-Y. Gillot, Propagation of rifting along the Arabia-Somalia plate boundary: The Gulf of Aden and Tadjoura, *J. of Geophys. Res.*, 102, 2681-2710, 1997.
- Waldhauser, Felix, and Ellsworth, W.L., 2000, A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault: *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 90, 1353-1368.