

RÉSUMÉ

Depuis les séismes dévastateurs de 1999 d'Izmit et de Duzce, à l'est d'Istanbul, la partie immergée de la Faille Nord Anatolienne (FNA) en Mer de Marmara a fait l'objet d'une surveillance intense et de nombreuses campagnes océanographiques. Malgré cela, la micro-sismicité demeure mal connue. Par ailleurs, alors que la connexion avec le système pétrolier du Bassin de Thrace est désormais établie, le rôle du gaz sur la sismicité n'a toujours pas été véritablement identifié. Dans ce travail, nous avons analysé des données d'OBS acquises lors de 2 déploiements dans la partie ouest de la Mer de Marmara (d'avril à juillet 2011 et de septembre à novembre 2014). Nos résultats de localisation établis à partir d'un modèle 3D de vitesses et les méthodes non-linéaires (NonLinLoc, NonDiffLoc) de Lomax montrent que :

1. Si nous confirmons l'existence de microséismes en décrochement, se produisant à grande profondeur, notamment dans la zone (à ~ 15 km) où des « répéteurs » ont été identifiés, nous observons que les séismes ne se produisent pas tous à des profondeurs crustales, le long de la faille de Marmara (ou Main Marmara Fault - MMF).
2. *A contrario*, une grande partie de la micro-sismicité se produit dans les bassins à faible profondeur (< 6 à 8 km) : i) le long de failles secondaires, obliques ou parallèles à la MMF, héritées de l'histoire tectonique complexe de la FNA. Les mécanismes au foyer « composites », quand ils ont pu être calculés, sont généralement en faille normale, parfois en chevauchement ; ou ii) dans des couches de sédiments superficiels (à des profondeurs inférieures à quelques centaines de mètres), caractérisées par la présence de poches de gaz libre. Une partie de cette sismicité pourrait être déclenchée par les séismes profonds, de magnitude intermédiaire ($M_l > 4.5$) qui se produisent régulièrement le long de la MMF.

Par ailleurs, nous distinguons 2 familles de signaux transitoires de courte durée (< 1 s):

1. La famille (1) des SDE se produisant de manière permanente mais discontinue (« background SDE activity »), à raison de quelques dizaines de SDE par jour. Les causes de ces SDE sont vraisemblablement locales (i.e. proches de l'OBS). Entre autres : la bioturbation (abondante en Mer de Marmara) ; l'activité biologique (i. e. poissons heurtant les capteurs) ; le micro-bullage de fond de mer ; le transfert de fluides à l'interface eau/sédiment ; les micro-mouvements de sédiments ; etc.
2. La famille (2) des SDE se produisant par séquences s'étalant sur quelques heures ; chaque séquence étant constituée de « paquets » ou « d'essaims » (« swarmed SDEs ») d'environ 20 à 30 minutes, suivis d'une période de calme relatif d'environ une dizaine de minutes. On distingue deux sous-familles : la famille 2a des SDE enregistrés uniquement sur les 3 composantes du sismomètre ; et la famille 2b des SDE enregistrés sur les 4 composantes, dont l'hydrophone. A l'échelle individuelle, les SDE de cette dernière famille (2b) apparaissent de manière périodique (toutes les 1.6 s à 2 s environ). Les « paquets » étant plus ou moins corrélés d'un OBS à l'autre, les causes ne sont pas locales, au niveau d'un OBS particulier. On citera, entre autres : la présence de mammifères marins ; l'activité anthropogénique (sous-marins) ; l'effondrement de cavités riches en gaz ; mais aussi l'existence de « tremors » le long de la faille ; etc. Enfin, l'hypothèse d'une relation de causalité avec la sismicité (locale ou lointaine) ne peut pas être exclue.

Ces travaux en appellent à l'implantation d'observatoires de fond mer et ouvrent la voie à des perspectives prometteuses de modélisation numérique.

Mots-clés: micro-seismicité, localisation, sismomètres de fond de mer, sismicité induite par le gaz.

ABSTRACT

Since the devastating earthquakes of Izmit and Duzce, in 1999, east of Istanbul, the submerged section of the North Anatolian Fault (NAF), in the Sea of Marmara (SoM) has been the subject of an intense monitoring (mainly using land stations) and the target of numerous marine surveys. Still, the micro-seismicity remains poorly understood, mainly due to the difficulties of studying low-magnitude earthquakes in such submarine environments. In addition, although the connection of the SoM with the hydrocarbon gas system from the Thrace Basin is now well established, along with the presence of widespread gas within the sedimentary layers, the role of gas on seismicity is still not recognized. Here, we have used Ocean Bottom Seismometer (OBS) data from two submarine networks, from April 15th to July 31st, 2011 and from September 19th to November 15th, 2014.

Based on a high-resolution, 3D-velocity model, and on non-linear locations methods (NonLinLoc and NonDifLoc), our results show that:

1. We confirm the existence of strike-slip, micro-seismicity at great depths, particularly in the area where « repeaters » have been identified (at a depth of ~ 15 km), but we observe that not all micro-earthquakes are produced at crustal depths along the Main Marmara Fault.
2. In contrast, a large part of the micro-seismicity is produced in the basins, e.g. at shallow depths (< 6 à 8 km) : i) along secondary faults, oblique or parallel to the MMF and inherited from the complex, tectonic history of the North-Anatolian shear zone. Composite focal mechanisms, when available, indicate normal faulting in général but also reverse faulting at some places ; or ii) within the uppermost (< 1 km) sediment layers, containing gas pockets. Part of this ultra-shallow seismicity could well be triggered by the deep, strike-slip earthquakes of intermediate magnitude ($M_l > 4.5$) that frequently occur along the western segments of the MMF.

In addition, at least two families of short duration events (SDEs) were detected. Namely:

1. the family (1) of “background SDEs” occurring on permanent, but irregular basis, at a rate of a few tens SDEs per day, resulting from many possible, local causes (i. e. near any individual OBS), e. g.: natural degassing from the seafloor, biological activity near the seabed, bioturbation (known to be very active at the Marmara seafloor).
2. the family (2) of “swarmed SDEs”, occurring by sequences of a few hours, recorded more or less at the same time (e. g. within one hour) at distant OBSs. Each sequence is characterized by “swarms” of SDEs, lasting during ~ 20 to 30 minutes, separated by phases of relative quietness of ~ 10 minutes. This family includes two sub-families: (i) the first includes events recorded only by the geophone and (ii) the second includes SDEs recorded by both the geophone and the hydrophone, and characterized by a periodicity of ~ 1.6 to 2 seconds. Several causes could generate these kind of periodic signals like: anthropogenic causes (e. g. submarines), marine mammals, gas emissions, etc, but also tremors from the fault. The hypothesis that these signals could be causatively related to earthquakes (local or remote) cannot be precluded.

These results strongly advocate for the implementation of dense arrays of seafloor observatories in the SoM and raise the need for further research in terms of numerical modeling.

Keywords: *micro-seismicity, earthquake location, ocean bottom seismometers, gas-related seismicity*