

INFORMATION

Séisme de Petrinja (Croatie)

du 29 décembre 2020 (11h19 TU – 12h19 locale)

Magnitude = 6,4 (Mw –USGS)

Version 1 du 21 janvier 2021

Le Bureau d'évaluation des risques sismiques pour la sûreté des installations (BERSSIN) de l'IRSN effectue des recherches et des expertises sur l'aléa sismique en tant que source d'agression externe des installations à risque

Rappel des faits

Le 29 décembre 2020 à 11 h 19 (temps universel), 12 h 19 heure locale, un puissant séisme de magnitude de moment Mw* de 6,4 s'est produit à faible profondeur (10 km) dans le nord de la Croatie, à 45 km au sud-est de Zagreb capitale de la Croatie (Figure 1), selon l'USGS.

Le 30 décembre, la presse dénombrait 7 personnes décédées et des dizaines blessées. L'organisation non gouvernementale International Medical Corps évoque dans un rapport du 8 janvier que des dizaines de milliers de personnes ont été déplacées (https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/IntlMedCorps-CroatiaEarthquake_SitRep02.pdf).

Le séisme a provoqué des dommages très étendus sur les infrastructures et les bâtiments, y compris sur le plus grand hôpital régional. Des centaines de milliers de foyers ont subi des coupures d'électricité, tandis qu'au moins 1500 familles ont perdu leur maison à Petrinja, Sisak et Glina, les trois grands centres urbains en zone épiscopentrale. L'analyse des images acquises par drone montre que les dommages sont très importants à Petrinja et Sisak, mais surtout à Glina avec une grande partie du bâti résidentiel touché (55 bâtiments détruits, 980 endommagés et 136 possiblement endommagés) (<https://emergency.copernicus.eu/mapping/ems/copernicus-emergency-management-service-supports-earthquake-disaster-response-efforts-croatia>). Les transports sont compliqués par des dommages aux routes, ponts et aéroports. Des dégâts légers sont signalés en Slovénie, à plus de 80 km de l'épicentre (http://www.arso.gov.si/potresi/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Petrinja_poro_cilo_koncno2.pdf).

Le séisme a été très largement ressenti dans la région, jusqu'en Hongrie, Italie, Autriche. L'estimation préliminaire de l'intensité épiscopentrale est de VIII à IX sur l'échelle EMS 98 (Figure 1), d'après le Service sismologique de l'Université de Zagreb (https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/potresi_kod_petrinje). Elle est fondée sur les questionnaires 'internet' remplis par les témoins et sur les premières informations recueillies sur le terrain.

Le séisme a été précédé de précurseurs dont deux séismes de magnitude proche de 5 et suivi de centaines de répliques, dont plusieurs significatives ressenties jusqu'à aujourd'hui (dernier en date de magnitude locale MI=4,1 le 15 janvier 2021, source CSEM).

CONTACT :

IRSN/BERSSIN

<http://www.irsu.fr/FR/>

* La magnitude de moment Mw est représentative de l'énergie émise par la source lors d'un séisme.

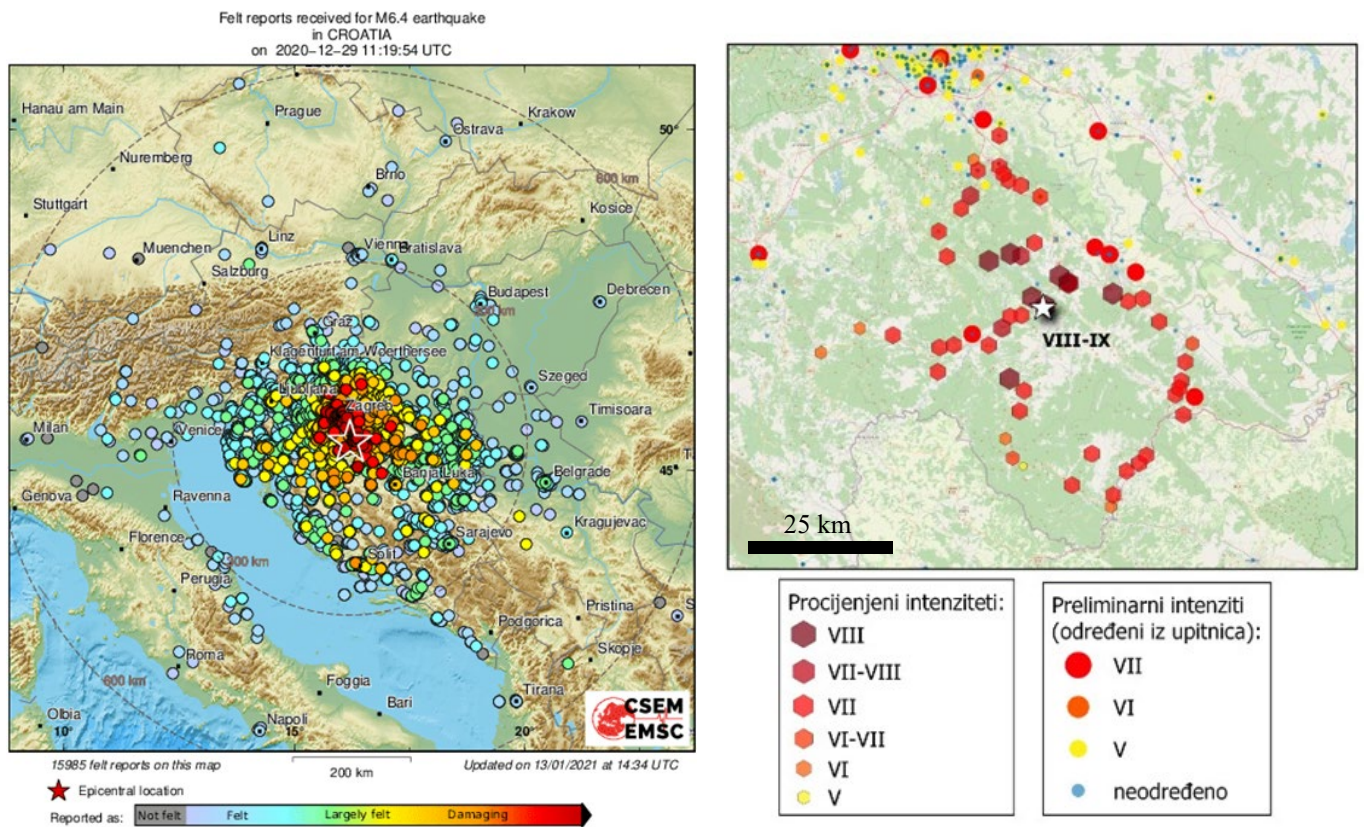


Figure 1. Cartes des effets ressentis lors du séisme du 29/12/2020 (à gauche, source CSEM : <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/264/M6-4-CROATIA-on-December-29th-2020-at-11-19-UTC>) et des premières estimations d'intensité (EMS 98) en zone épiscopentrale sur la base des questionnaires internet et des observations macrosismiques de terrain (à droite, source U. Zagreb).

Contexte géodynamique et sismicité régionale

Le séisme s'est produit dans une zone active d'Europe centrale, sur la faille décrochante de direction NO-SE dite de Petrinja selon la terminologie de la Base de données européenne des failles actives (Basili et al., 2013. doi:10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF). D'autres failles sismogènes, en compression et de direction ENE-WSW, sont également répertoriées, dans la région de Zagreb notamment. La faille de Petrinja appartient à un système tectonique majeur de la région, qui borde la chaîne montagneuse des Dinarides et le bassin pannonien. Cet ensemble de failles a longtemps fonctionné suivant une déformation en extension de la région pendant le Miocène et le Pliocène (avant 5 millions d'années). À partir de cette période, le mouvement de la plaque adriatique vers le continent eurasién a provoqué une compression sur les failles qui bordent le Bassin pannonien. Le mouvement de convergence entre les plaques Adriatique et Eurasie atteint aujourd'hui 5 mm/a (figure 2), et une grande partie (~4 mm/a) de ses effets se concentre dans les Dinarides et la zone du séisme (Métois et al., 2015).

Selon Basili et al. (2013), la faille de Petrinja est une importante structure sismogène, s'étendant sur plus de 60 km de long, jusque vers 17 km de profondeur et plongeant de 55 à 70° vers le nord-est. Son taux de glissement est modéré, estimé entre 0,08 à 0,2 mm/an. Elle était reconnue capable de causer des séismes de magnitude maximale de 6,5. La rupture durant le séisme de 2020 a concerné une partie de la faille définie par Basili et al. (2013) (figure 3), et la localisation des répliques à l'ouest de sa trace en surface suggère que son pendage est plutôt orienté vers le sud-ouest.

Dans la région proche, plusieurs séismes importants sont répertoriés dans les catalogues. Le plus emblématique est celui du 8 octobre 1909 (dit séisme de Pokupsko), dont l'épicentre est situé à seulement ~20 km au nord-ouest de celui de 2020. L'intensité épiscopentrale était VIII MCS pour une magnitude estimée entre 5,8 et 6,0.

Ce tremblement de terre de 1909 a gravement endommagé des bâtiments en pierre et en maçonnerie, tandis que les maisons traditionnelles en bois ont subi beaucoup moins de dégâts. Lors de l'analyse des sismogrammes de ce séisme, le célèbre sismologue croate Andrija Mohorovičić a mis en évidence la limite entre la croûte terrestre et le manteau, que nous appelons toujours aujourd'hui la discontinuité de Mohorovičić ou Moho. Enfin, très récemment, le 20/03/2020, Zagreb a subi un séisme de magnitude 5,5 causé par une des failles ENE-WSW proche de la capitale, y provoquant des dégâts significatifs, quantifiés au niveau d'intensité VII-VIII MSK (Markušić et al. (2020, doi : 10.3390/geosciences10070252).

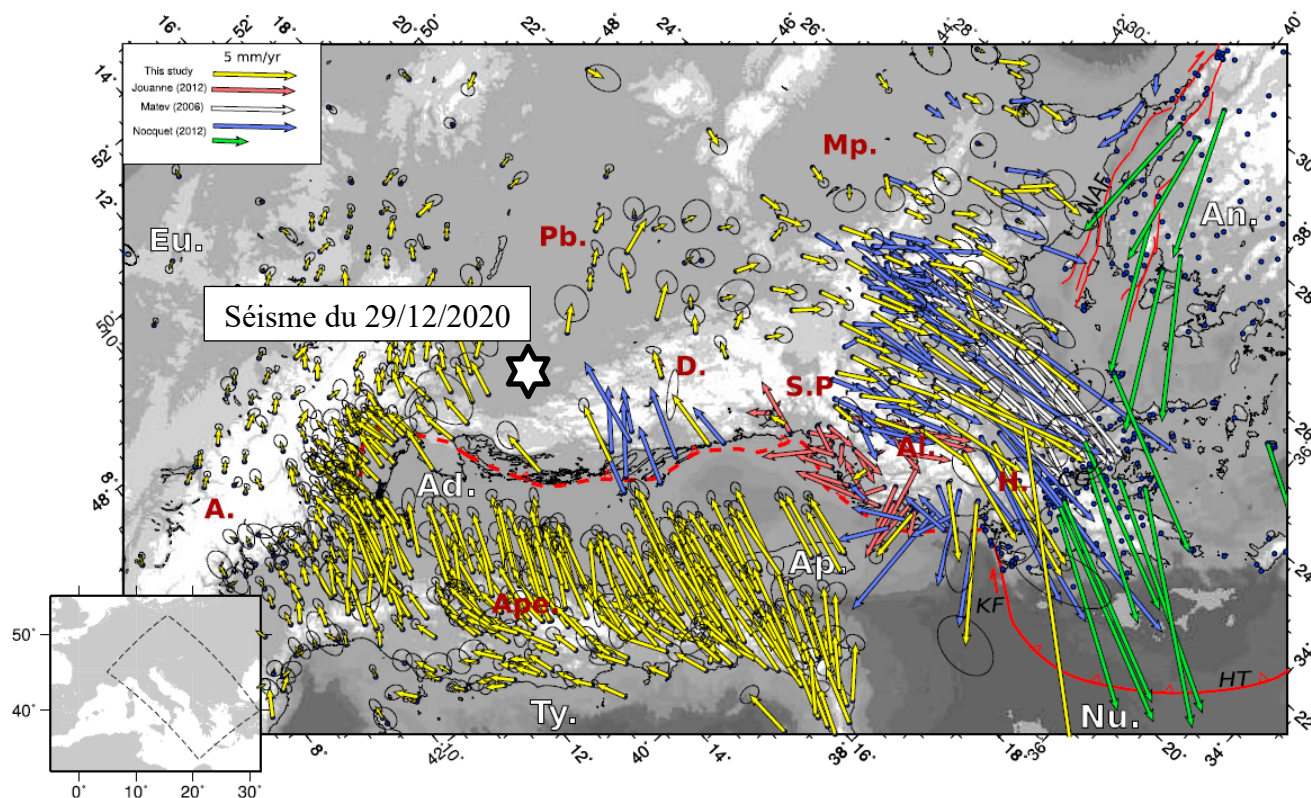


Figure 2 : Carte régionale illustrant les déplacements de stations GPS des blocs tectoniques Adriatiques (Ad.), Dinarides (D.) et Pannoniens (Pb.) par rapport à l'Eurasie (Eu.) considérée stable (d'après Métois et al., 2015).

Caractéristiques sismologiques et mouvements forts enregistrés

Le choc principal a été précédé par deux précurseurs de magnitudes significatives (autour de 5), et d'un nombre très important de répliques. Parmi les plus importantes répliques, du 28/12/2020 au 10/01/2021, le Service sismologique de l'USGS recense, dans un rayon de 15 km autour de l'épicentre, 8 séismes de magnitude 4 à 5 et 4 séismes de magnitude 3 à 4. Les enregistrements sismologiques des séismes de cette séquence montrent des mécanismes de déformation cohérents, favorisant l'hypothèse d'activation de failles orientées NO-SE selon un coulissage dextre, c'est-à-dire un compartiment au NE de la faille se déplaçant vers le SE et un compartiment au SW se déplaçant vers le NO (figure 3).

Dans un rapport préliminaire, le Service sismologique de l'Université de Zagreb présente une analyse des enregistrements d'un des précurseurs ($M \sim 5$) et du choc principal ($M=6,4$) par 6 accéléromètres installés entre 45 et 60 km de l'épicentre près de Zagreb. Pour le séisme principal, la majorité des stations a enregistré des accélérations maximales du sol inférieures à 0,1 g (g étant l'accélération de la pesanteur égale à $9,81 \text{ m/s}^2$ à la surface de la Terre), tandis qu'une d'entre elles a elle enregistré des accélérations deux fois plus grandes en raison d'effets d'amplifications dues à la géologie locale (effets de site)

(https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/potrosi_kod_petrinje_2020).

Effets géologiques de surface

La déformation en surface associée au séisme de Petrinja est bien imagée par interférométrie-radar (figure 4). Les interférogrammes dits co-sismiques (dont les dates encadrent l'occurrence du séisme) montrent que la faille pourrait avoir rompu la surface sur une longueur de 20 km. Un interférogramme dit post-sismique (concernant des images postérieures au séisme) montre également que des mouvements centimétriques se sont poursuivis après le séisme sur la trace en surface de la faille de Petrinja.

D'après ces informations géodésiques et sismologiques, ainsi que les premiers levés géologiques, le Service géologique de Croatie confirme que la source du séisme s'exprime en surface le long de la faille géologique cartographiée (Figure 3).

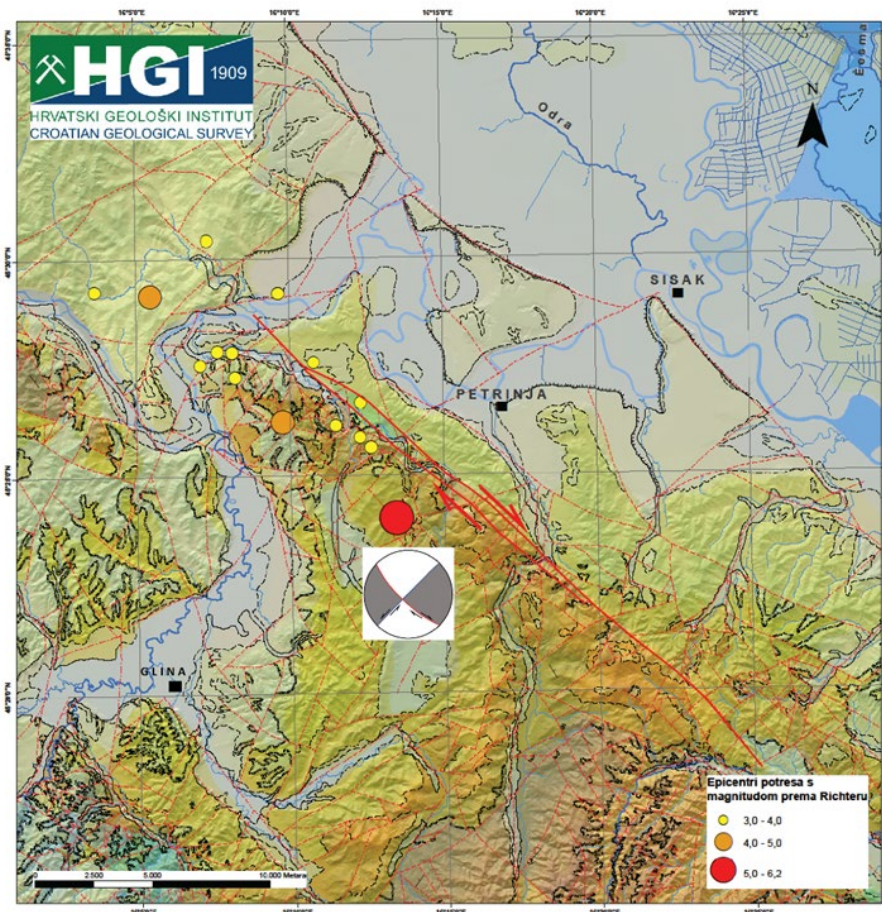


Figure 3 : Carte géologique de Sisak, modifiée par le Service géologique de Croatie, soulignant la section potentiellement activée en surface lors du séisme (trace rouge) et le mouvement dextre associée à cette faille. Les précurseurs et répliques sont en orange et jaune. Source : <https://www.hgi-cgs.hr/potres-u-petrinji-preliminarno-izvjesce/> .

Le mécanisme au foyer du séisme (« ballon de plage ») est extrait et modifié du site de l'USGS : il illustre le plan focal en rouge mobilisé lors du séisme, tel qu'il peut être interprété des enregistrements sismologiques. Il est complètement cohérent avec la direction connue de la faille de Petrinja.

Quelques observations ponctuelles de terrain tendent à confirmer que la faille principale a effectivement rompu la surface, avec des fractures franches déplaçant des marqueurs anthropiques ou naturels suivant un mécanisme décrochant dextre (Figure 4), en cohérence avec le mécanisme au foyer du séisme (cf Figure 3). Pour les scientifiques il est maintenant important de recueillir des mesures de rupture de surface sur le terrain, d'autant que les interférogrammes disponibles sont très bruités dans la zone de faille.

Par ailleurs, selon les premières observations effectuées sur le terrain par les géologues croates et slovènes, la plaine alluviale environnant les villes de Petrinja et Sisak a été le siège de très nombreuses liquéfactions (cf. https://www.irsn.fr/FR/connais-sances/Installations_nucleaires/La_surete_Nucleaire/risque_sismique_installations_nucleaires/Pages/3-Quels_sont_les_effets_des_seismes.aspx#.YAVKVNhKhPY).

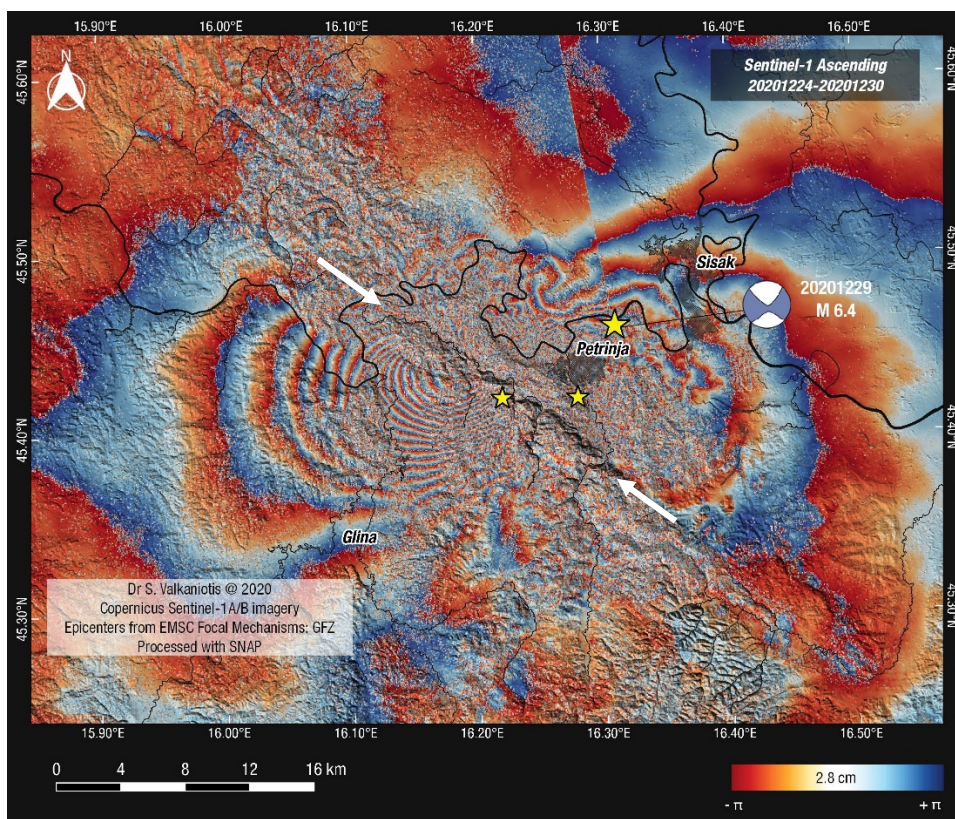


Figure 4 : Interférogramme (images radars de Sentinel 1 ; Source : Sotiris Valkaniotis), montrant le déphasage des deux images prises avant et après le séisme. Les franges, qui matérialisent ce déphasage, sont interrompues le long d'une ligne NO-SE au sud de Petrinja le long du tracé de la faille de Petrinja (flèches blanches). Les étoiles sont les localisations préliminaires des premiers séismes.



Figure 5. Deux photographies mises à disposition par le Service géologique de Slovénie, illustrant les déplacements coulissant le long de la faille de Petrinja (<https://www.facebook.com/GeoloskizavodSlovenije>), avec dans chacun des cas un déplacement relatif vers la droite des compartiments au-delà de la faille.

Conséquences sur les installations nucléaires

Le tremblement de terre, qui s'est produit à près de 80 km de la ville de Krško en Slovénie, a causé une accélération horizontale maximale du sol de 0,07 g sur le site de la centrale nucléaire qui se trouve sur cette commune (<https://www.gov.si/en/news/2020-12-30-krsko-npp-performed-inspection-after-the-29-12-2020-earthquake/>), déclenchant l'arrêt automatique de la centrale en opération.

Le personnel de l'installation a alors immédiatement appliqué les procédures de vérification. Les inspections des systèmes et de l'équipement de la centrale ont ensuite confirmé qu'il n'y avait eu aucun impact sur la centrale, selon l'administration slovène responsable de la sûreté nucléaire.

Après ces vérifications, il a été conclu que les conditions nécessaires au démarrage de la centrale de Krško étaient remplies ; ce redémarrage du réacteur a eu lieu le 30 décembre 2020 à 15 h 30, 27 heures après le séisme.