



Faire avancer la sûreté nucléaire

Séismes de Ridgecrest (Californie, USA)

Du 4 et du 6 juillet 2019

Magnitude = 6,4 et 7,1

Version 1

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

- Jeudi 4 et samedi 6 juillet, respectivement à 17:33 TU et 03:19 TU, deux séismes de magnitude Mw 6,4 et Mw 7,1 se sont produits près de la ville de Ridgecrest, en Californie. Leurs épicentres étaient situés à 38,22°N, 122,31°W et à 35.766°N 117.605°W et la profondeur de leurs foyers est estimée à 10 km et à 8 km (United States Geological Survey - [USGS](#)). Le séisme du 6 juillet est le plus important dans la région depuis celui d'Hector Mine survenu en 1999 (magnitude 7,1). Les séismes de Ridgecrest se sont produits sur des failles contiguës et perpendiculaires entre elles.
- À partir des témoignages collectés, l'USGS estime que l'intensité a atteint le niveau VII-VIII pour le premier choc et le niveau IX pour le choc principal (Figure 1). Pour le premier choc, l'accélération du sol la plus forte a été de 0,4 g enregistrée à 19 km au sud de l'épicentre ; pour le second, elle a été de 0,6 g à 23 km au sud de l'épicentre. De nombreuses répliques ont été enregistrées, soulignant remarquablement l'extension des failles. Parmi ces répliques, plus d'une vingtaine présentent une magnitude supérieure à 4,5.
- Aucun décès ni blessé n'a été signalé suite aux séismes. Les secousses ont été largement ressenties par la population, notamment jusqu'à Los Angeles à environ 200 km au sud (Figure 1). Compte tenu du caractère désertique de la région épicertrale, les dommages aux constructions sont relativement circonscrits. Les villes de Ridgecrest et de Trona ont été les plus affectées. La base aéronavale de China Lake a été évacuée. Les dégâts reportés font état d'effondrements de murs et de cheminées, de fissures dans les bâtiments, de quelques incendies, de coupures de routes et de voies ferrées ainsi que de fuites de conduites de gaz ou d'eau. Des mobil-homes ont été déplacés de leurs fondations. Des phénomènes de liquéfaction dus au passage des ondes sismiques ont été rapportés par Ken O'Dell, président de l'Association des Ingénieurs des Structures de Californie du sud. La perte de cohérence des sols qui en résulte peut être localement un facteur aggravant pour la stabilité des ouvrages.

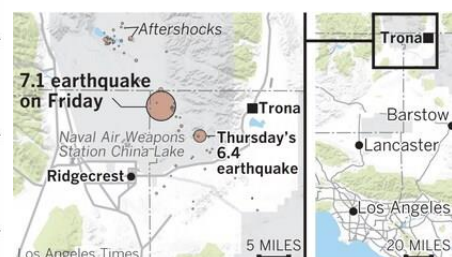
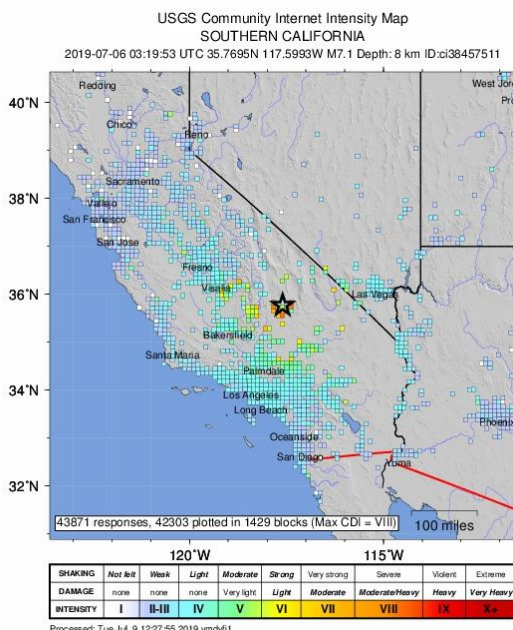


Figure 1 : à gauche, localisation du séisme de magnitude 7,1 et cartographie des effets sur l'échelle d'intensité MMI (Intensité Mercalli Modifié) (USGS). À droite situation des séismes proches des villes de Ridgecrest et Trona.

CONTACT :

IRSN / BERSSIN
Stéphane Baize
01 58 35 93 50
stephane.baize@irsn.fr

Situation tectonique

Les séismes de Ridgecrest se sont produits sur le système de failles de la zone cisailante est-californienne (*East California Shear Zone - ECSZ*) qui absorbe une partie du mouvement relatif entre la plaque du Pacifique (qui se déplace vers le Nord) et la plaque Nord Américaine (qui se déplace vers le Sud). Cette région est de ce fait une zone de forte concentration de contraintes (cf. la carte de « stress rate » Figure 2). Comme la faille de San Andreas, qui constitue la limite de plaques la plus importante avec une vitesse de glissement supérieure à 3 cm/an, les failles de la ECSZ sont pour l'essentiel des failles décrochantes avec des déplacements dextres (voir flèches sur la Figure 2).

Si les séismes se sont bien produits dans une zone connue comme active, la localisation des failles qui ont rompu, leurs continuités et extensions superficielles n'étaient pas connues. Avant ces séismes, la [carte des failles actives de l'USGS](#) présentait des segments courts, distribués et regroupés au sein de la *Little Lake Fault Zone* et de l'*Airport Lake Fault Zone*, certains d'entre eux étant qualifiés d'actifs pendant l'Holocène (il y a environ 15 000 ans). Avec ces deux séismes et les répliques associées, se dessinent aujourd'hui deux failles longues de 12 et 50 km (Figure 2, insert à droite).

Ces séismes témoignent du fait que, comme dans l'ensemble de la région californienne, une partie seulement de la déformation tectonique se répartit entre les failles reconnues comme les plus sismiques et dont les vitesses de glissement sont les plus rapides. Dans la zone affectée par les séismes de Ridgecrest, ces failles sont celles d'Owens Valley (taux de glissement de 3 mm/an) au nord et celle de Garlock au sud (3 à 7 mm/an) (Figure 2).

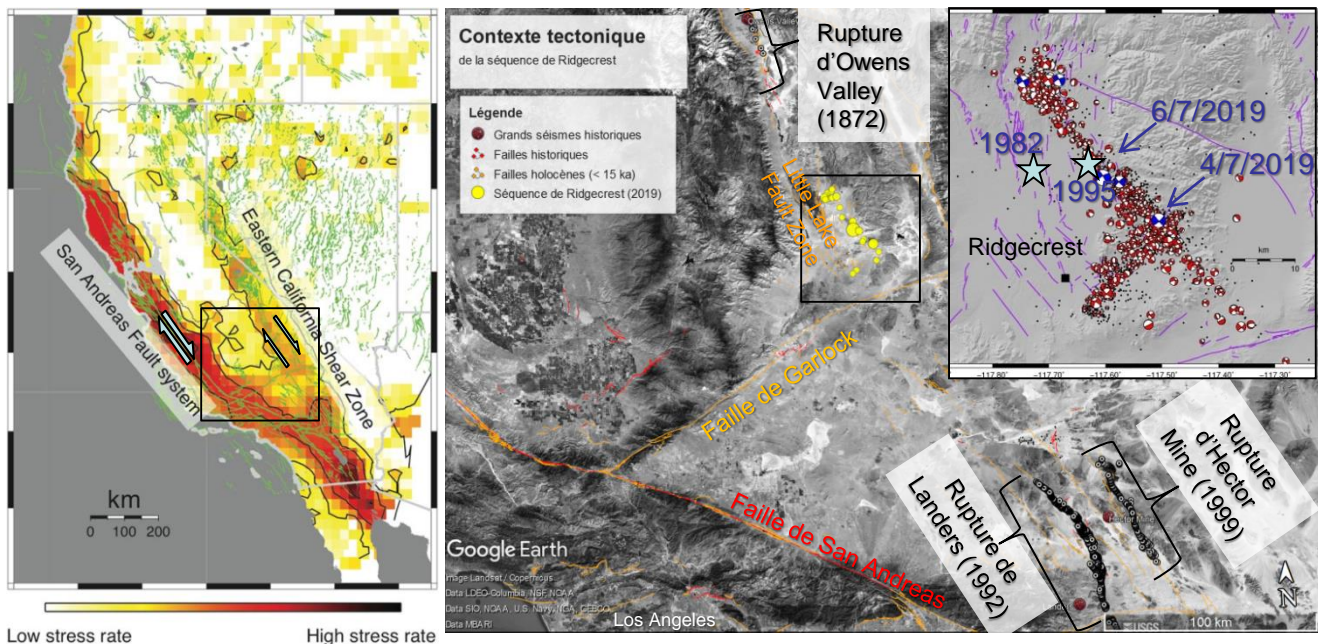


Figure 2 : A gauche, carte du taux de contrainte tectonique en Californie. À droite, les épicentres des séismes les plus forts de la séquence en cours (en jaune) sont représentés sur la carte de failles actives de l'USGS (orange : failles holocènes ; rouge : failles avec ruptures de surface pendant la période historique). Les points gris représentent les ruptures de surface laissées par les séismes de 1872, 1992 et 1999. En haut à droite, carte des mécanismes de déformation calculés aux foyers des séismes de la séquence (source : Zachary Ross, California Institute of Technology) et épicentres des séismes historiques locaux.

Sismicité historique de la région

Les derniers séismes destructeurs qui ont eu lieu dans l'ECSZ, représentés sur la Figure 2, sont :

- en 1872, le séisme de magnitude =7,8 localisé sur la faille d'Owens Valley à environ 60 km au nord de Ridgecrest,
- en 1992, le séisme de magnitude 7,2 de Landers, qui a rompu une faille à environ 120 km au sud,
- en 1999, le séisme de magnitude 7,1 d'Hector Mine, localisé à seulement à 25 km à l'est de la faille de Landers.

Dans la zone proche des séismes de Ridgecrest, on note :

- en 1982, le séisme de magnitude 5,2, au Nord de Ridgecrest,
- en 1995, un doublet de séismes de magnitude 5,8 et 5,4, au Nord de Ridgecrest.

Selon Hauksson et al. (1995), les séismes de 1982 et 1995 auraient provoqué des mouvements centimétriques du sol concentrés le long de segments de faille longs de 2-3 km.

Enseignements pour l'aléa sismique

La région épiscopale des séismes de Ridgecrest apparaît sur les cartes d'aléa sismique nationale de l'USGS comme une zone d'aléa relativement fort. Ces cartes sont fondées sur un calcul probabiliste de l'aléa sismique utilisant un modèle de sources sismiques (appelé UCERF3 : <https://pubs.usgs.gov/of/2013/1165/>) intégrant des failles-sources et des zones de sismicité diffuse (distribuée entre ces failles). D'ampleur forte (magnitudes 6,4 à 7,1), les séismes de Ridgecrest se sont produits le long de failles auparavant mal caractérisées et non modélisées dans UCERF3. Toutefois, dans le secteur, le modèle de failles inclut une source d'orientation NW-SE nommée « Little Lake », placée à plus de 10 km à l'ouest de la faille qui a rompu le 6 juillet, et une autre orientée N-S nommée « Airport Lake » (Figure 3). Ces sources ont été tracées parallèlement à la série de courts segments de failles cartographiés dans la zone et en recouvrant une partie des ruptures de surface observées suite aux séismes de 1982 et 1995. En complément des failles-sources, le modèle UCERF3 prend en compte une sismicité diffuse pouvant atteindre de fortes magnitudes ($M=7,6$). Partout dans la région, ce modèle intègre donc explicitement des séismes de magnitudes fortes au-delà des failles-sources.

Les géologues californiens cartographient actuellement sur le terrain les ruptures que les séismes ont provoqué à la surface. À ce jour, la trace cartographiée (SW-NE) mesure près de 10 km de long pour le séisme du 4 juillet ($M=6,4$), avec des déplacements pluridécimétriques senestres ; la rupture du séisme du 6 juillet ($M=7,1$) de direction NW-SE, mesure près de 50 km, avec des déplacements plurimétriques dextres et localement des rejets verticaux importants (Figure 4).

La rupture de surface est un aléa pris en compte aux États-Unis par une réglementation qui définit des zones d'exclusion pour la construction de bâtiments sur les failles actives de surface (*Alquist Priolo Act*). L'AIEA développe des recommandations pour prendre en compte cet aléa pour la sûreté des installations nucléaires. Dans ce contexte, il est reconnu important d'améliorer les catalogues de données sur les ruptures de surface. L'IRSN participe à cet effort en contribuant au programme de développement d'une base de données mondiale et unifiée, rassemblant les données historiques et récentes au travers de collaborations internationales dont la première version est en cours d'évaluation (Baize et al., 2019).

Figure 3 : carte des tracés des failles-sources prises en compte dans le modèle UCERF3 (traits étendus de couleur verte à jaune), des failles actives de la base de données USGS (traits courts oranges à rouge) et des failles qui ont rompu lors de la séquence de 2019 (traits noirs). La légende en haut à gauche est associée au modèle UCERF3 et décrit la probabilité d'occurrence d'un séisme de magnitude supérieure ou égale à 6,7.

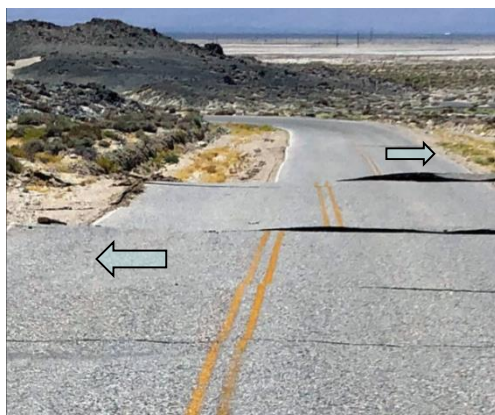
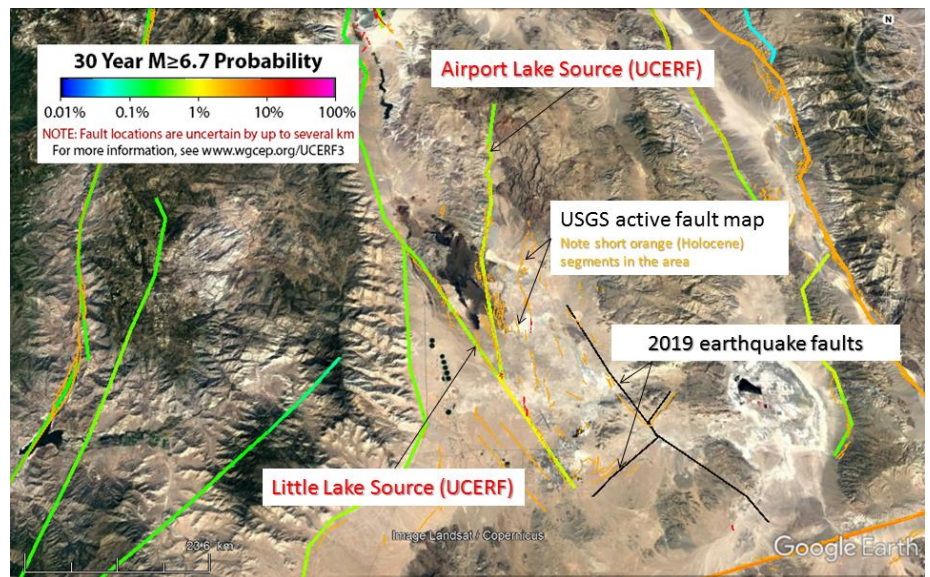


Figure 4 : ruptures cosismiques observées par les géologues.
 - À gauche, décrochement senestre observé sur Randsburg Wash Road (sud de la route 178) par Brian Olson (@mrbrianolson), suite au séisme du 4 juillet. Le glissement avoisine 0,5 m.
 - À droite en haut, rupture dextre observée sur l'emprise de la base militaire par Brian Olson (@mrbrianolson), et associée au séisme du 6 juillet. Le glissement total sur les deux failles avoisine 2,5 m.
 - À droite en bas, escarpement montrant un rejet vertical de 2,8m et 4,7 m apparu pendant le séisme du 6 juillet (magnitude 7,1) (source USGS)

Impact sur les installations nucléaires

Quatre centrales nucléaires sont localisées dans un périmètre de 500 km autour des failles à l'origine des séismes de Ridgecrest : San Onofre (250 km, en démantèlement), Diablo Canyon (280 km, en activité), Rancho Seco (350 km, démantelée) et Palo Verde (470 km, en activité). Les capteurs sismiques installés à proximité de la centrale de Diablo Canyon ont mesuré une accélération maximale très faible de 0,015 g (source USGS). Le site de Yucca Mountain sur lequel est envisagé l'implantation d'un stockage géologique de déchets radioactifs est situé à environ 150 km au Nord-Est de la région épicentrale. À 45 km au Nord-Est de Yucca Mountain, le site d'essai du Nevada sert d'entrepôt pour les déchets générés par les installations du département de l'Énergie et notamment ceux en attente de transfert vers les installations de stockage du WIPP (Waste Isolation Pilot Plant, au Nouveau Mexique). Compte tenu des distances épicentrales supérieures à 150 km, les accélérations attendues au niveau des installations précitées sont faibles et très vraisemblablement sans conséquence sur la sûreté des installations, et la Nuclear Regulatory Commission (NRC) n'a pas signalé de conséquence sur la sûreté des installations.

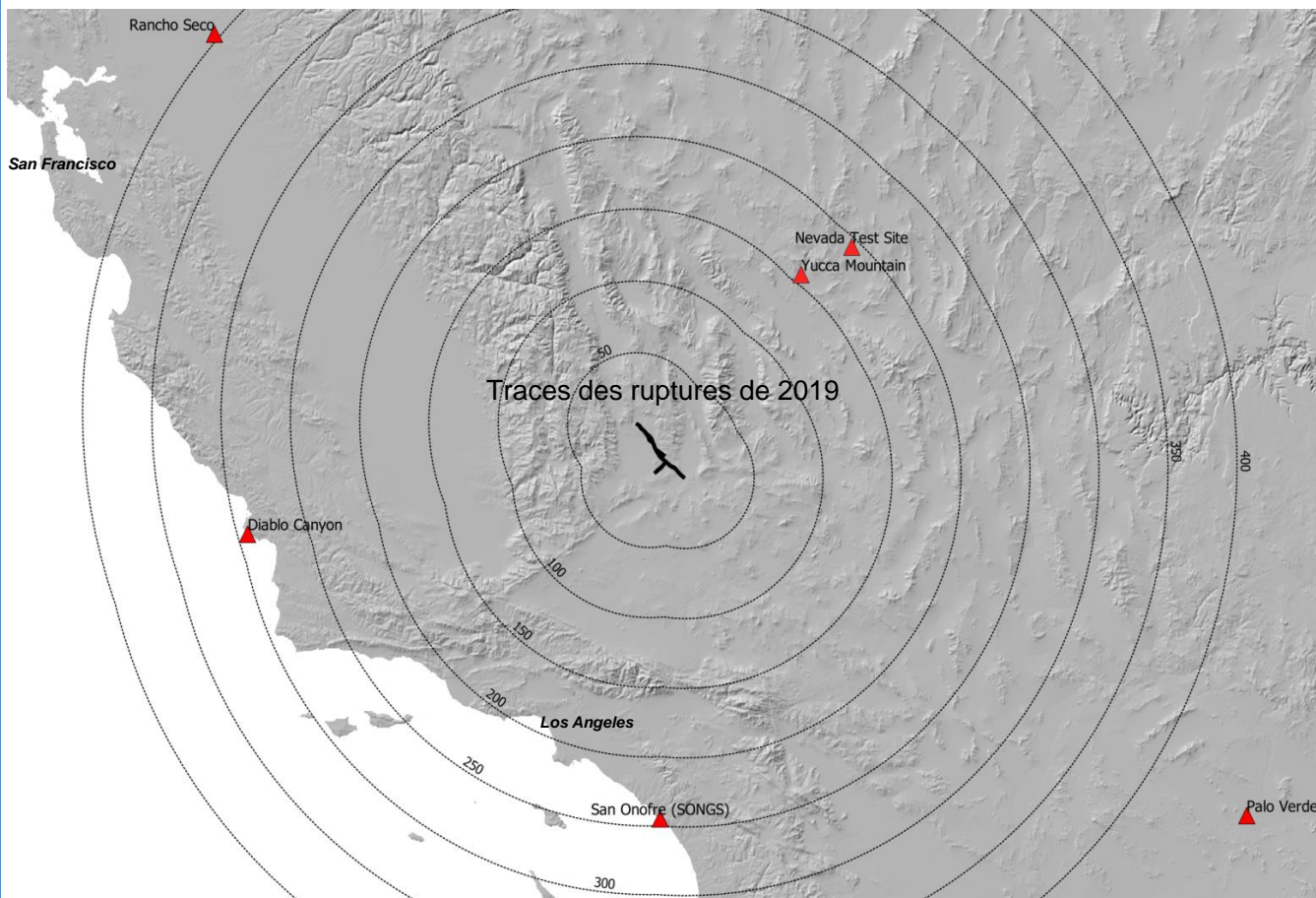


Figure 4 : Carte localisant les installations nucléaires de l'ouest des États-Unis et les failles responsables des séismes du 4 juillet (magnitude 6,4) et du 6 juillet (magnitude 7,1) 2019.

Adresse postale

Institut de radioprotection
et de sûreté nucléaire
B.P. 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex

Siège social

31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Tél. +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre B 440 546 0180

Références

- Baize, S., Nurminen, F., Sarmiento A., Dawson, T., Takao, M., Scotti, O., Azuma, T., Boncio, P., Champenois, J., Cinti, F., Civico, R., Costa, C., Guerrieri, L., Marti, E., McCalpin, J., Okumura, K., Villamor, P. (2019). A Worldwide and Unified Database of Surface Ruptures (SURE) for Fault Displacement Hazard Analyses. Poster and abstract presented to the 4th Fault2SHA workshop, Barcelona, June 3-5 2019. Available at DOI: 10.5281/zenodo.3336300, https://zenodo.org/record/3336300#XS1_nUMzbuo
- Hauksson, E., Hutton, K., Kanamori, H., Jones, L., Mori, J., Hough, S., Roquemore, G., 1995. Preliminary Report on the 1995 Ridgecrest Earthquake Sequence in Eastern California. *Seismol. Res. Lett.* 66, 54–60. <https://doi.org/10.1785/gssrl.66.6.54>