

A. Vallage, L. Bollinger, J. Champenois, C. Duverger, A. Guilhem Trilla, B. Hernandez, A. Le Pichon, C. Listowski, G. Mazet-Roux, M. Ménager, B. Pinel-Puysségur, J. Vergoz
[CEA - DAM, centre DAM Île-de-France]

Portrait-robot d'un séisme français

Dans le cadre de sa mission de surveillance des explosions et essais nucléaires, le CEA - DAM développe différentes technologies de détection. Ces technologies servent également à la surveillance de la sismicité métropolitaine en lien avec la mission d'alerte aux autorités de sécurité civile en cas de forte secousse : leur synergie sert surtout à la caractérisation des séismes, primordiale pour la mission d'expertise du pôle de compétence Aléa sismique, qui intervient après l'alerte des premières minutes. Bien que la France métropolitaine soit située à l'intérieur d'une plaque tectonique, où les forts séismes sont très rares, le séisme du Teil rappelle que le risque est bien présent. À cette occasion et pour la première fois, le CEA - DAM a mis en évidence le bénéfice qu'apporte la synergie de ses moyens de détection [1,2](#), mise en œuvre ici pour un séisme survenu en métropole.

Le séisme du Teil, le plus fort enregistré en France depuis seize ans [1](#), s'est produit le 11 novembre 2019 à 5 km à l'ouest de la ville de Montélimar et a provoqué de nombreux dégâts sur la commune du Teil (900 bâtiments endommagés). Le CEA - DAM a émis une alerte sismique à destination des autorités, puis a analysé en détail cet événement à l'aide de technologies sismique, acoustique et satellitaire. La synergie entre ces trois technologies a mis en évidence une rupture de la surface terrestre effectivement mesurée sur le terrain.

Données sismologiques

Plusieurs centaines de stations sismologiques issues du réseau de surveillance national du CEA - DAM et des réseaux sismologique et géodésique français ont été utilisées afin de localiser cet événement situé sur le réseau de failles des Cévennes ([figure 1](#)). Cette analyse a permis d'estimer la profondeur de la rupture, particulièrement faible, entre un et deux kilomètres, l'énergie dégagée, correspondant à une magnitude locale de 5,4, soit de l'ordre de

10^{12} joules ou l'équivalent de quelques centaines de tonnes d'explosif, ainsi que le type de mouvement (compressif) qui s'est produit sur la faille responsable du séisme. Dans un second temps, ce travail sismologique permet de comparer les enregistrements réels sur tout le territoire métropolitain avec des lois empiriques de prédiction du mouvement du sol couramment utilisées pour l'évaluation de l'aléa sismique (probabilité d'occurrence d'un séisme dans une région donnée).

Données radar satellitaires

L'interférométrie radar satellitaire (InSAR) consiste à analyser les différences entre une image radar acquise avant et une autre acquise après un séisme. Avec cette technique, il est possible de mesurer avec précision le déplacement du sol dans la zone observée par le satellite entre deux passages. Son application à la mesure des séismes, et plus particulièrement à celui du Teil de 2019, permet d'imager l'étendue spatiale des mouvements mesurables en surface et d'identifier précisément la faille responsable de ce séisme ainsi que sa rupture en surface ([figure 2a](#)). De plus, cette technologie rend possible la modélisation du glissement qui s'est produit sur la faille afin de reproduire le plus fidèlement possible les observations de surface. Cette rupture correspond à un déplacement de l'ordre de 10 cm en surface et 30 cm en profondeur le long d'une faille de 5 km de long ([figure 2b](#)). Ces propriétés sont ensuite utilisées pour des simulations numériques dans le cadre de l'évaluation de l'aléa sismique.

Données infrasonores

Les données dites infrasonores proviennent de la vibration du sol générée par le séisme qui donne naissance à une onde acoustique, ou infrason, se propageant dans l'air. À partir d'enregistrements sur des capteurs spécifiques et de la connaissance des conditions météorologiques du jour, il est possible de remonter à la zone du sol ayant tremblé et d'estimer le pic de pression de surface à l'origine des ondes. Cette information, au plus proche de la source, aide à contraindre davantage les lois de prédiction du mouvement du sol.

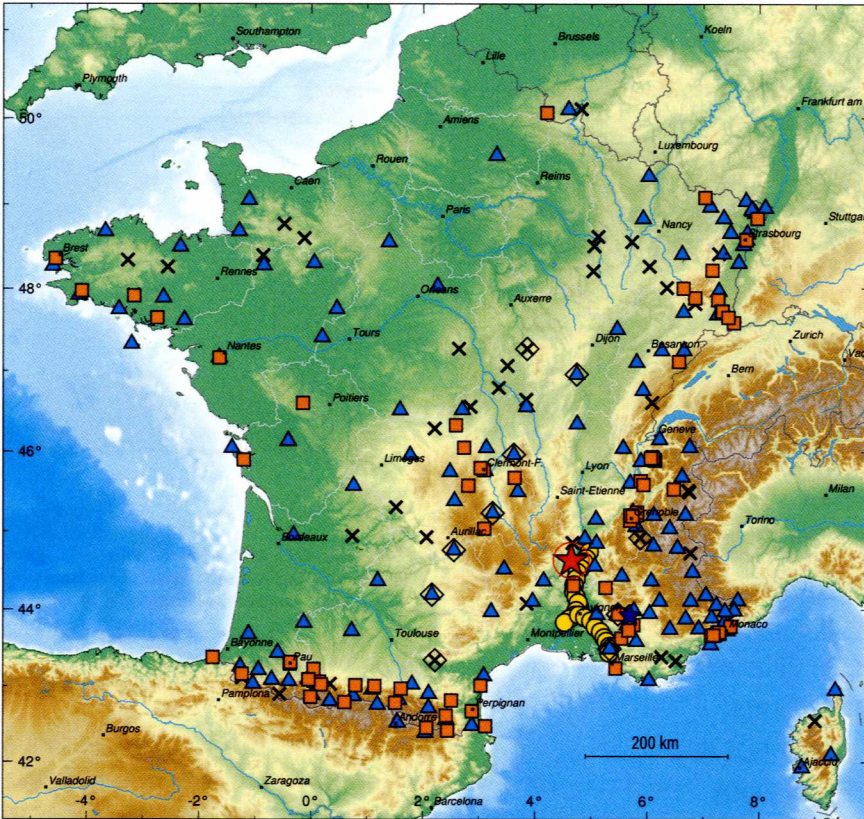


figure 1

Réseaux de mesures utilisés afin de caractériser le séisme du Teil (localisé par l'étoile rouge). Outre les stations du CEA - DAM (croix noires) et du réseau sismologique français Resif regroupant stations vélocimétriques (triangles bleus) et accélérométriques (carrés orange) qui ont permis de localiser l'événement, une station infrasonore (étoile violette) près de Manosque et les stations SNCF (points jaunes, participant à l'alerte pour la ligne à grande vitesse sud-est) ont été utilisées afin de suivre la propagation des ondes dans la croûte terrestre. Les stations entourées d'un losange ont plus particulièrement participé à mesurer la profondeur et la magnitude du séisme.

Synergie multi-technologies

L'analyse proposée dans **1** a montré la très forte cohérence et la grande complémentarité des résultats obtenus indépendamment par chacune des technologies employées. La faille identifiée comme la source de ce séisme s'appelle la faille de la Rouvière (pointillés sur la **figure 2a**), aussi observée et mesurée sur le terrain **3**, fait remarquable en France

métropolitaine. Cette ancienne faille a été réactivée afin d'accommoder un mouvement compressif entre un bloc sud-est et un bloc nord-ouest, mesurable en surface et depuis l'espace. La compréhension affinée de ce séisme permet de l'inclure dans les données régionales **4** pour les futures études d'aléa sismique (localisation, magnitude et type de mouvement), base de travail du génie parasismique.

RÉFÉRENCES

- 1** A. Vallage, L. Bollinger, J. Champenois, C. Duverger, A. Guilhem Trilla, B. Hernandez, A. Le Pichon, C. Listowski, G. Mazet-Roux, M. Ménager, B. Pinel-Puysegur, J. Vergoz, « Multitechnology characterization of an unusual surface rupturing intraplate earthquake: The ML 5.4 2019 Le Teil event in France », *Geophysical Journal International*, **226**, p. 803-813 (2021).
- 2** Collectif du CEA - DAM, *Détection des essais nucléaires - À l'écoute du globe, revue chocs*, **50**, 112 p. (2020).
- 3** J.-F. Ritz, S. Baize, M. Ferry, C. Larroque, L. Audin, B. Delouis, E. Mathot, « Surface rupture and shallow fault reactivation during the 2019 Mw 4.9 Le Teil earthquake, France », *Nature communications Earth & Environment*, **1**, 10 (2020).
- 4** L. Bollinger, K. Le Dortz, C. Duverger, A. Vallage, S. Marin, Y. M. Leroy, « Seismic swarms in Tricastin, lower Rhône Valley (France): Review of historical and instrumental seismicity and models », *Comptes rendus de l'Académie des sciences, Géoscience - Sciences de la planète*, **353**, p. 585-606, <https://doi.org/10.5802/crgeos.93> (2021).

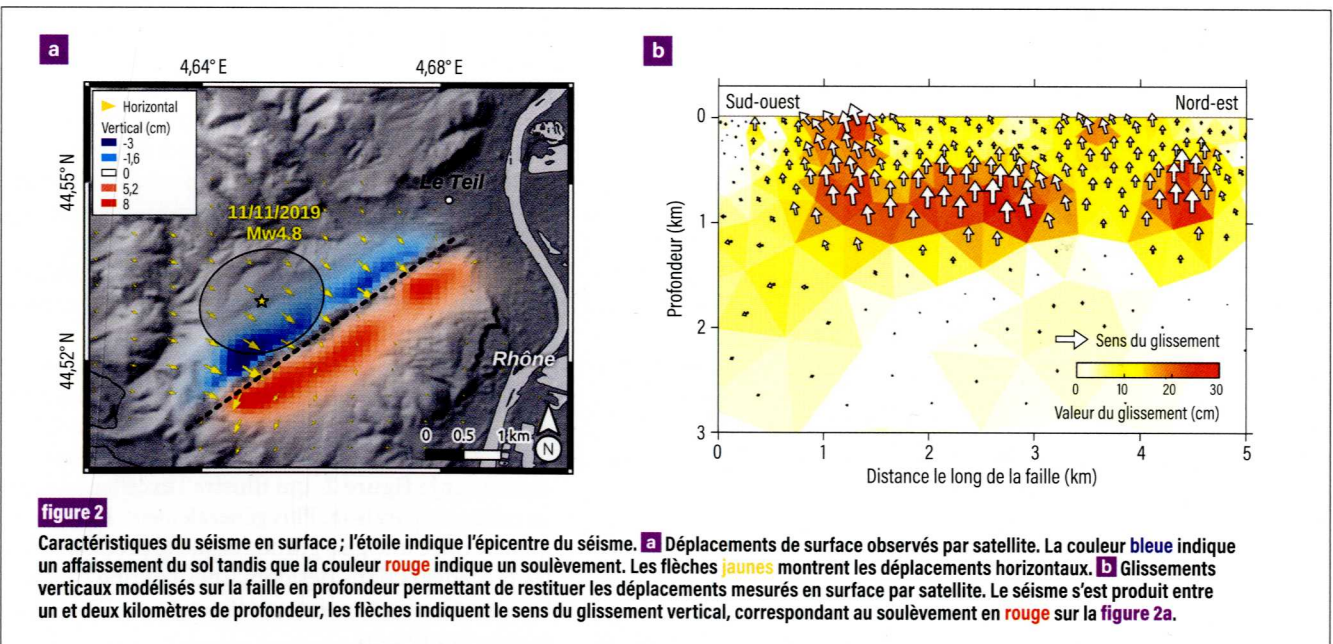


figure 2

Caractéristiques du séisme en surface ; étoile indique l'épicentre du séisme. **a** Déplacements de surface observés par satellite. La couleur bleue indique un affaissement du sol tandis que la couleur rouge indique un soulèvement. Les flèches jaunes montrent les déplacements horizontaux. **b** Glissements verticaux modélisés sur la faille en profondeur permettant de restituer les déplacements mesurés en surface par satellite. Le séisme s'est produit entre un et deux kilomètres de profondeur, les flèches indiquent le sens du glissement vertical, correspondant au soulèvement en rouge sur la **figure 2a**.