



DOSSIER

L'interférogramme obtenu à l'aide des données du satellite Sentinel-1 compare une image pré-séisme à une autre post-séisme - © Ritz et al., 2020

UN RISQUE SISMIQUE SOUS-ESTIMÉ EN AUVERGNE RHÔNE ALPES ?

Laurence Audin, ISTERre, Institut de recherche pour le développement (IRD) **Andy Combey**, ISTERre, université Grenoble Alpes (UGA), **Jean François Ritz**, université de Montpellier, **Stéphane Baize**, Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), **Christophe Larroque**, Géoazur, université Côte d'Azur, **Matthieu Ferry**, université de Montpellier.

La moyenne vallée du Rhône était jusqu'ici considérée comme une zone à sismicité modérée. Le séisme du Teil de 2019, à l'origine d'importants dégâts et, chose inédite en France depuis l'avènement des réseaux instrumentaux, d'une rupture en surface, soulève de nombreuses questions et souligne donc le besoin de réévaluer le risque sismique en France métropolitaine.

UN SÉISME MÉTROPOLITAIN

Le 11 novembre 2019, un violent séisme de magnitude 5,4 sur l'échelle de Richter a frappé la vallée du Rhône et affecté la population, faisant quatre blessés. L'épicentre, situé près de la ville du Teil et de Montélimar, correspond à une zone densément peuplée qui présente de nombreuses installations industrielles. Le tremblement de terre a causé des dégâts importants dans les villes de la région, fissurant des habitations et affectant des bâtiments historiques comme la tour-porte de Viviers. Il a par ailleurs causé la chute de tuiles, de

cheminées, allant même jusqu'à provoquer l'effondrement partiel de nombreuses maisons. Au total, dans le seul village du Teil, plus de 700 bâtiments ont été endommagés, entraînant des sinistres chiffrés à plusieurs dizaines de millions d'euros. Par son ampleur, cet événement s'apparente aux plus violents séismes métropolitains du XXe siècle tels que Corrençon en Vercors en 1962 ou Arette en 1967.

Avant ce tremblement de terre, le niveau de sismicité détectée par des sismomètres, sans même qu'elle soit ressentie par les populations, était faible à modérée dans la vallée du Rhône. Ainsi peu de fortes secousses telluriques avaient été documentées ces derniers siècles. En s'appuyant sur cette « courte expérience » sismique de quelques centaines d'années - courte à l'échelle de la vie d'une faille sismique (1000 à 10000 ans) - sous-estime-t-on le risque de tremblements de terre en France métropolitaine ?

UN SÉISME RHODANIEN RÉACTIVANT LE SYSTÈME DE FAILLE DES CÉVENNES ?

L'épicentre du séisme est localisé sur une faille géologique appartenant au système de failles des Cévennes, la faille de la Rouvière, qui s'étend sur environ 10 km de long entre les villages de Saint-Thomé, au sud-ouest, et du Teil, au nord-est (figure 1). Pourtant si le système de failles des Cévennes correspond à une limite structurale majeure, faille géologique ancienne entre le Massif central et le bassin sédimentaire qui borde la chaîne des Alpes, il n'est pas réputé capable de produire des séismes.

Le foyer du tremblement de terre a été estimé à seulement un kilomètre de profondeur, et la géométrie précise de la rupture ainsi que son sens de mouvement montre qu'il s'agit d'un plan de faille avec un glissement purement inverse, différent du sens de la faille géologique préexistante.

UN SÉISME QUI SE PROPAGE JUSQU'À LA SURFACE, RÉACTIVANT LA FAILLE DE LA ROUVIÈRE ?

Grâce à des analyses radar (InSAR), les premières traces en surface du séisme ont pu être mises en évidence puis découvertes sur le terrain 48 heures après le tremblement de terre (figure 2). Compte tenu de la densité de végétation qui couvre une grande partie de la région autour de l'épicentre, ces recherches se sont concentrées sur les routes et les chemins traversant la faille de La Rouvière. Rapidement, pour évaluer la continuité de la rupture sous le couvert forestier, un levé topographique LIDAR aéroporté a complété les investigations sur le terrain. Les traces repérées correspondent principalement à des fissures ouvertes ayant une orientation nord-est/sud-ouest. Au total, une vingtaine d'indices ponctuels ont été observés sur près de 4,5 km, le long de l'escarpement qui marque la faille de La Rouvière. Ils confirmaient que la rupture sismique associée au séisme du Teil s'était bien produite le long de cette faille ancienne. Les indices les plus clairs ont été mesurés avec un scanner laser terrestre, révélant un soulèvement du sol compris entre 2,5 et 13 cm. Compte tenu de l'inclinaison de la faille, les mesures précédentes correspondent en fait à un déplacement total en surface le long de la faille compris entre 5 et 25 cm.

La déformation de surface associée au séisme du Teil a été mesurée grâce aux données du satellite Sentinel-1, fournies par le programme européen Copernicus (figure 2). La comparaison (on parle d'interférogramme) entre deux images prises à six jours d'intervalle, avant et après le séisme, a confirmé l'existence d'une rupture sismique en surface sur une longueur de 4,5 km, orientée nord-est/sud-ouest. Qui plus est, cette déformation concorde avec l'expression en surface de la partie nord de la faille de La Rouvière, faille normale géologique. L'interférogramme a également confirmé le mouvement inverse, inédit au regard des mouvements précédents connus pour cette faille de la Rouvière.

À QUEL POINT LE SÉISME DU TEIL EST-IL INHABITUEL DANS LA SISMICITÉ RÉGIONALE ?

Du point de vue de la sismicité dite « instrumentale », le Réseau

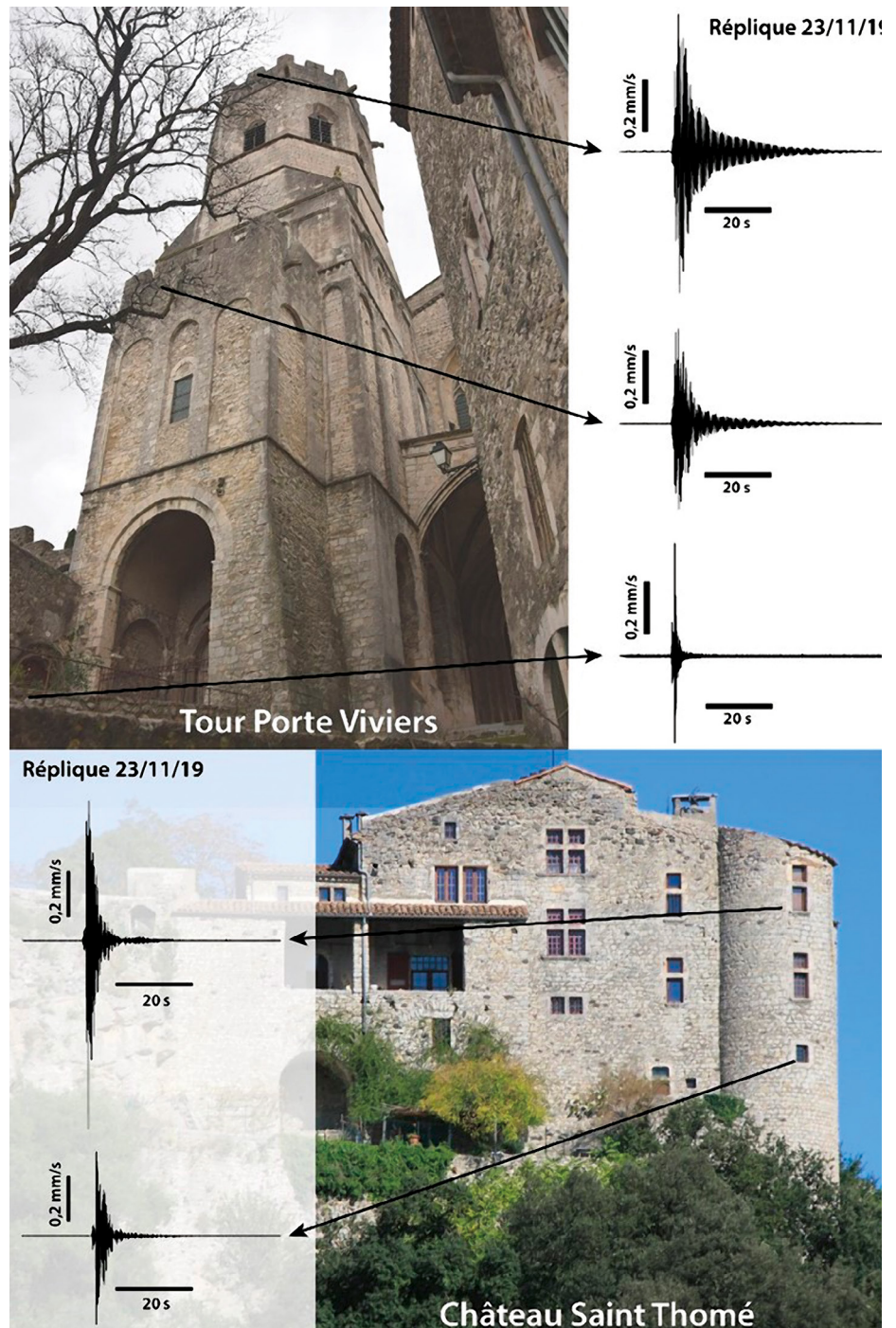


Figure 3 : Vitesses enregistrées par des capteurs sismologiques dans la composante N/S en divers endroits de la tour-porte de Viviers et du château de Saint-Thomé lors de la plus forte réplique de la séquence post-sismique du Teil. On notera des comportements différents des deux édifices historiques : un phénomène d'amplification du signal en temps au sommet de la Tour de Viviers et d'amplification en vitesse en haut du château. Des propriétés structurales et des contextes géologiques distincts expliquent ces différences de réponse.

national de surveillance sismique (RéNaSS) et le Laboratoire de détection et de géophysique (LDG) du Commissariat à l'énergie atomique (CEA) ont enregistré 39 secousses entre 1962 et 2018 dans un rayon de 20 km autour du village du Teil, tous de faible magnitude et donc le plus souvent non ressentis par les populations. Les profondeurs de ces évènements sont estimées entre 5 et 25 km. Pourtant, la distribution des épicentres ne montrait aucun schéma particulier qui aurait indiqué l'activité d'une faille donnée. Historiquement, avant l'avènement des réseaux instrumentaux, quelques

crises sismiques plus violentes ont été ressenties au sud du Teil en 1773, en 1873 et en 1934. Le principal évènement historique régional s'est produit le 19 juillet 1873, près de Châteauneuf-du-Rhône. Son intensité avait, elle aussi, à l'époque produit de sévères dommages, avec notamment de larges lézardes dans les édifices et la chute de cheminées. On a depuis estimé sa magnitude Mw autour de 4. Pourtant, à la différence des précédents, le séisme du Teil en 2019 est lui caractérisé par cette rupture sismique qui s'est propagée jusqu'en surface, phénomène rare en France métropolitaine.

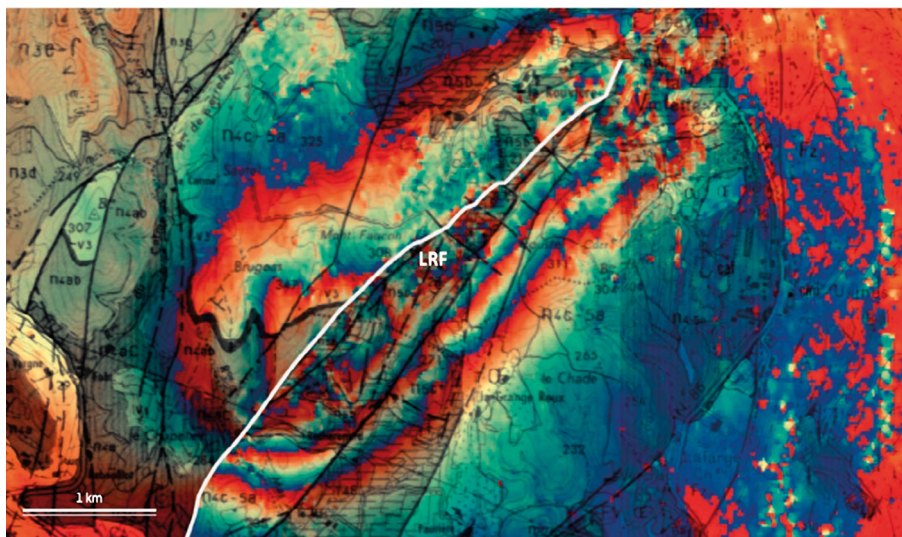


Figure 2 : L'interférogramme obtenu à l'aide des données du satellite Sentinel-1 compare une image pré-séisme à une autre post-séisme. Les lignes noires correspondent à des failles, et la ligne blanche définit la section nord de la faille géologique de La Rouvière (LRF). Les franges d'interférence apparaissent là où un mouvement vertical a été détecté par le satellite à raison d'une frange (du bleu au rouge) par déplacement de trois centimètres le long de la rupture de surface. Ainsi, le bloc sud-est s'est soulevé d'environ 12 centimètres (4 franges) et le bloc nord-ouest s'est affaissé de 6 centimètres (2 franges dans l'autre sens) - © Ritz et al., 2020.

UN PATRIMOINE HISTORIQUE VULNÉRABLE ET EXPOSÉ ?

En affectant durement des monuments tels que l'église de Mélas ou le château de Saint-Thomé, la secousse du 11 novembre 2019 a mis en lumière la très forte vulnérabilité du bâti traditionnel régional (caractérisé par une absence de normes antisismiques et des techniques constructives de moindre qualité).

À l'instar des cordes de musique ayant chacune des fréquences de résonance et des modes de vibration spécifiques, tout bâtiment se caractérise par un comportement vibratoire qui lui est propre. Ce sont ces caractéristiques vibratoires intrinsèques (type de matériau, géométrie et masse de la structure) et extrinsèques (interactions entre le sol et la structure) qui détermineront le comportement du bâtiment face à une sollicitation. Enregistrer le bruit de fond (vibrations de faible amplitude générées par des phénomènes tels que le vent, la pluie ou encore les activités humaines) dans des édifices historiques constitue une méthode efficace permettant d'appréhender leur comportement dynamique et d'apprécier leur vulnérabilité sismique. Trois bâtiments historiques ont ainsi été instrumentés à l'aide de capteurs sismologiques aux lendemains du séisme, dont notamment la tour-porte de Viviers et le château de Saint-Thomé. Les signaux enregistrés correspondent à l'amplitude des vibrations ressenties par les édifices en réponse aux vibrations du sol, qui constitue en quelque sorte un bruit de fond face aux différents

répliques du séisme, qui constituent des événements de vibration plus importants et ponctuels dans ce bruit de fond (figure 3). L'analyse de ces signaux permet de mettre en évidence l'influence d'effets de site dans l'apparition des dommages et d'évaluer le degré d'endommagement des édifices à la suite du séisme.

Une meilleure connaissance des propriétés dynamiques doit

permettre, à terme, de modéliser numériquement ce genre d'édifices complexes et pluri-centenaires et donc de mieux les protéger. Le projet conduit durant la phase post-sismique du Teil représente en cela une des premières initiatives d'instrumentation de bâtiments historiques en France, dans un contexte où la dangerosité de l'aléa sismique, pour le patrimoine notamment, demeure mal connue.

REVOIR LA DÉTERMINATION DE L'ALÉA SISMIQUE

La France métropolitaine ainsi que ses pays voisins en Europe correspondent à des régions continentales stables, où les taux de déformations sont très faibles. Cependant, le risque de rupture en surface, même pour des magnitudes modérées (<6) est une menace importante pour les infrastructures dont la tolérance aux instabilités du sol est très faible. Ainsi seule l'acquisition de plus de connaissance sur la dizaine de failles actives sur le territoire métropolitain permettra d'être précis dans la détermination de l'aléa sismique et de déterminer si à l'instar de la faille de La Rouvière, il existe en France, par exemple dans le Massif armoricain, les Alpes, les Pyrénées, les Vosges..., d'autres failles capables de produire des ruptures sismiques en surface.

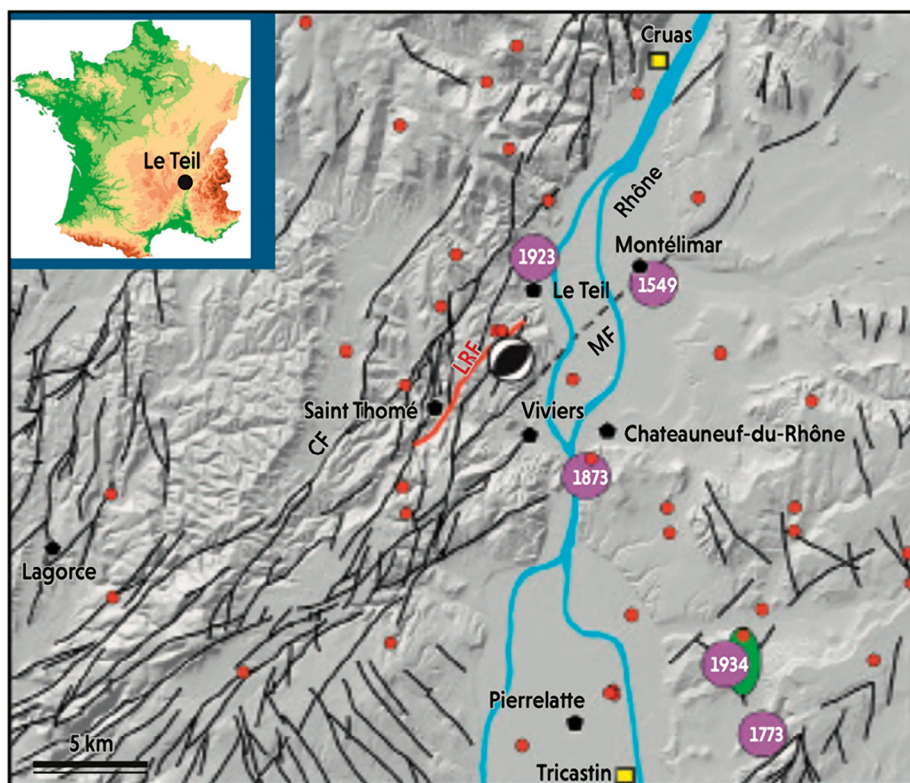


Figure 1 : La carte sismotectonique de la vallée du Rhône, entre Massif Central et Alpes, où s'est produit le séisme du 11 novembre 2019 (le rond noir et blanc). Les points rouges indiquent des séismes mineurs, non ressentis, mais détectés par des instruments. Les points violets correspondent aux séismes historiques. Les lignes noires indiquent les failles géologiques cartographiées avec notamment la faille de la Rouvière (LRF, en rouge), la faille des Cévennes (CF). On distingue également les centrales nucléaires (carrés jaunes) - © Ritz et al., 2020.