



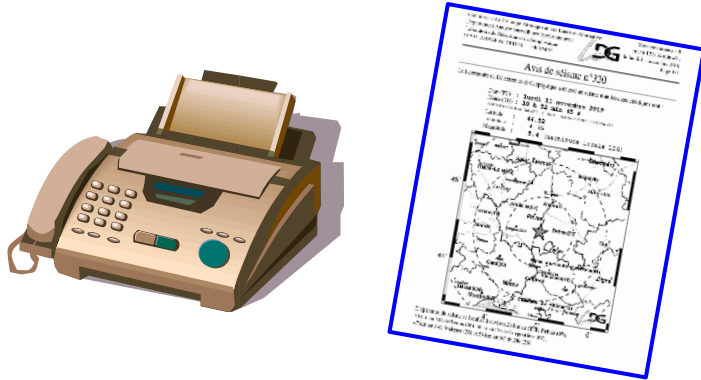
DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

ETUDE MULTITECHNOLOGIES DU SÉISME DU TEIL

A. Vallage, L. Bollinger, J. Champenois, C. Duverger, A. Guilhem Trilla, B. Hernandez,
A. Le Pichon, C. Listowski, G. Mazet-Roux, M. Menager, B. Pinel-Puysségur, J. Vergoz

► Alerte : **Séisme de magnitude locale 5,4 le 11/11/2019 à 11h52**

- détecter rapidement les forts séismes, les localiser, calculer la magnitude et informer les autorités



► Fax et courriels d'alerte

- COGIC, EDF, BCSF, IRSN ...
- Informations sur www-dase.cea.fr

► Ralentissement automatique des TGV

- entre Valence et Marseille, les TGV passent tous les 10 km, devant un accéléromètre déployé par le CEA et la SNCF

Confirmation de l'événement par le CEA

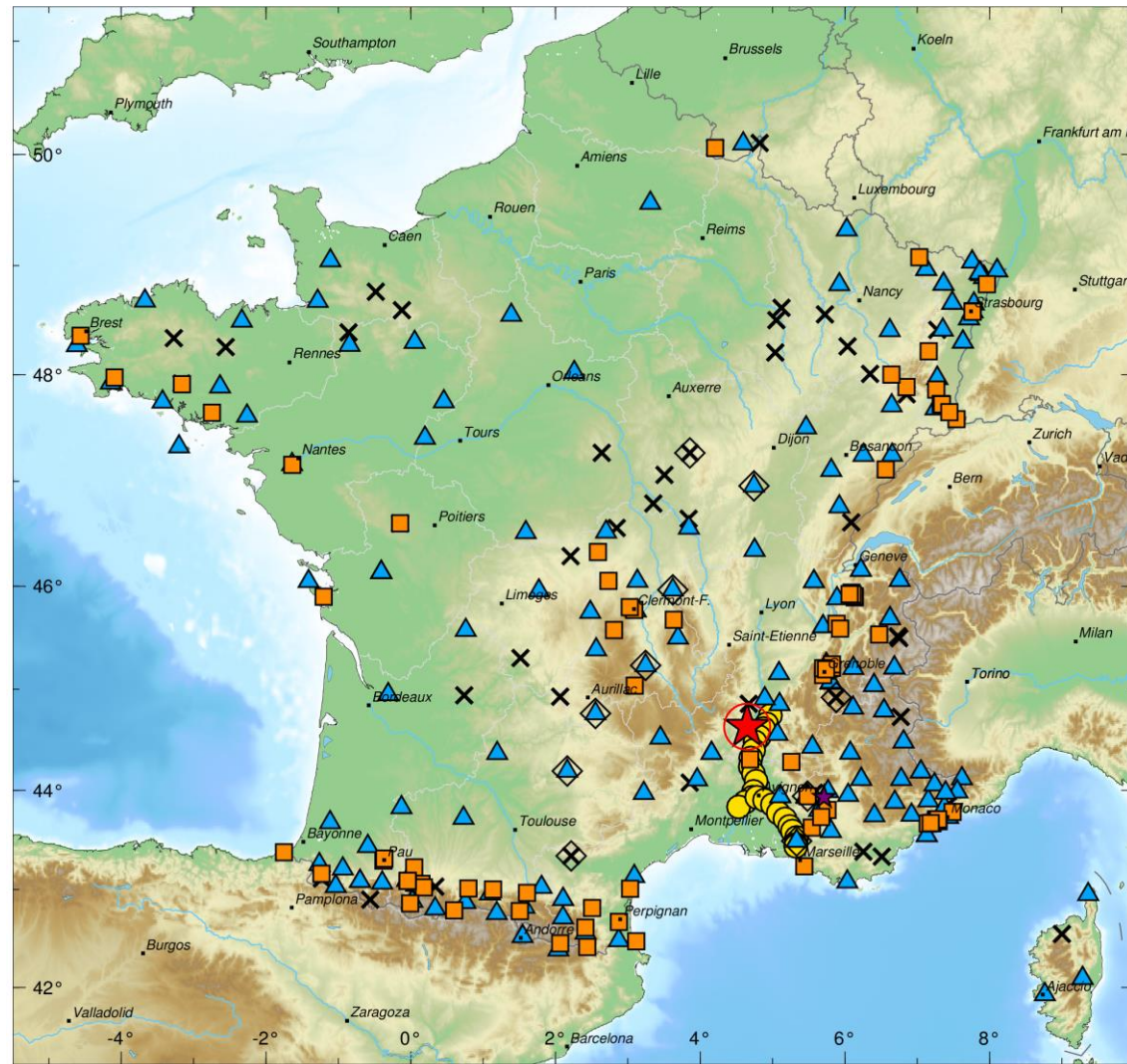


► Le séisme du Teil – 11/11/2019

- 11h52 (UTC+1) Le Teil (Ardèche)
- Localisation épicentrale effectuée à l'aide de 145 stations (CEA et RESIF principalement) – 306 picks
- Magnitude locale : 5,4
- Coordonnées : 44,54°N, 4,65°E

► Rupture en surface

- Faille de la Rouvière faisant partie du réseau de failles des Cévennes
- Réactivation en chevauchement d'une ancienne faille normale ayant accommodée de l'extension durant l'Oligocène (23-34 Ma)



A Vallage, L Bollinger, J Champenois, C Duverger, A Guilhem Trilla, B Hernandez, A Le Pichon, C Listowski, G Mazet-Roux, M Menager, B Pinel-Puysségur, J Vergoz, **Multi-technology characterisation of an unusual surface rupturing intraplate earthquake: The ML 5.4 2019 Le Teil event in France**, *Geophysical Journal International*, 2021;, ggab136, <https://doi.org/10.1093/gji/ggab136>

✕ LDG short-period network
 ■ RAP accelerometric network
 ★ Le Teil earthquake epicenter

▲ RESIF broad-band network
 ☆ Infrasound station
 ● SNCF accelerometric network

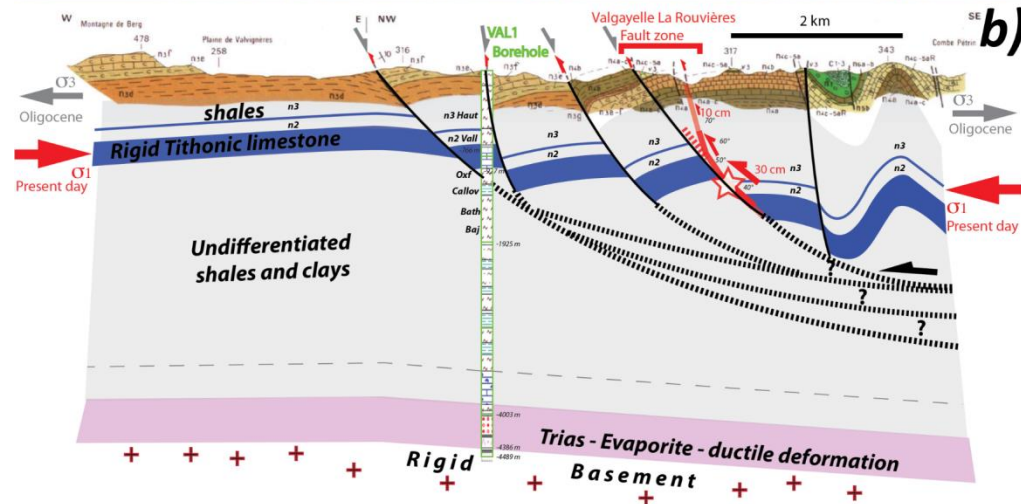
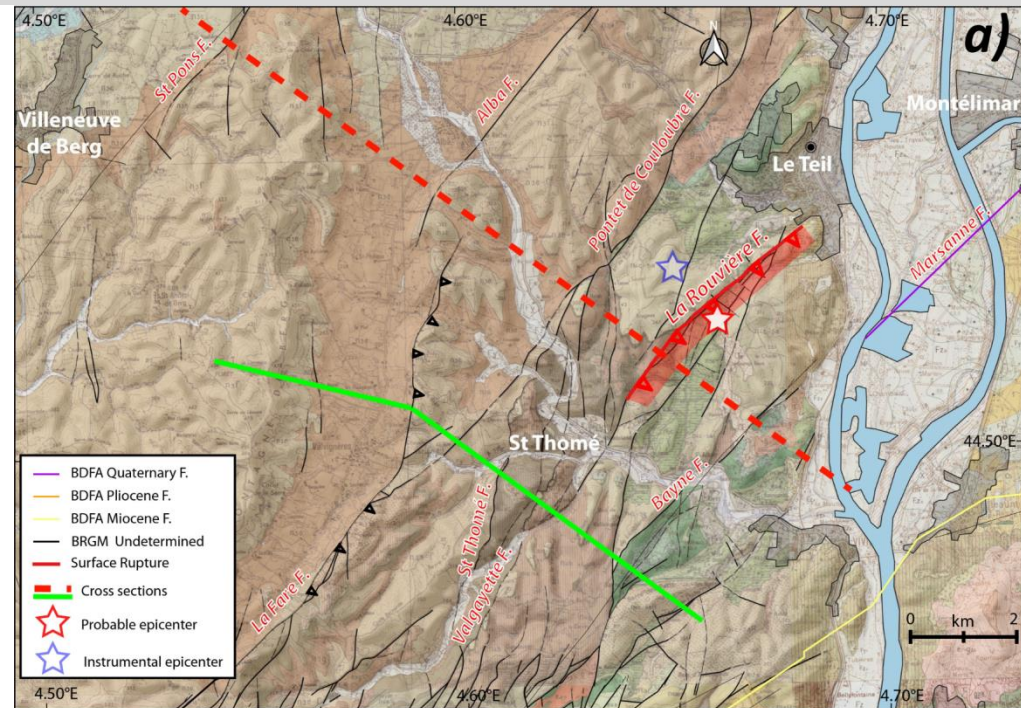
◇ Stations used for MT inversion

► Le séisme du Teil – 11/11/2019

- Séisme produit à 11h52 (UTC+1)
- Localisation épiscopentrale effectuée à l'aide de 145 stations (CEA et RESIF principalement) – 306 picks
- Magnitude locale : 5,4
- Coordonnées : 44,54°N, 4,65°E

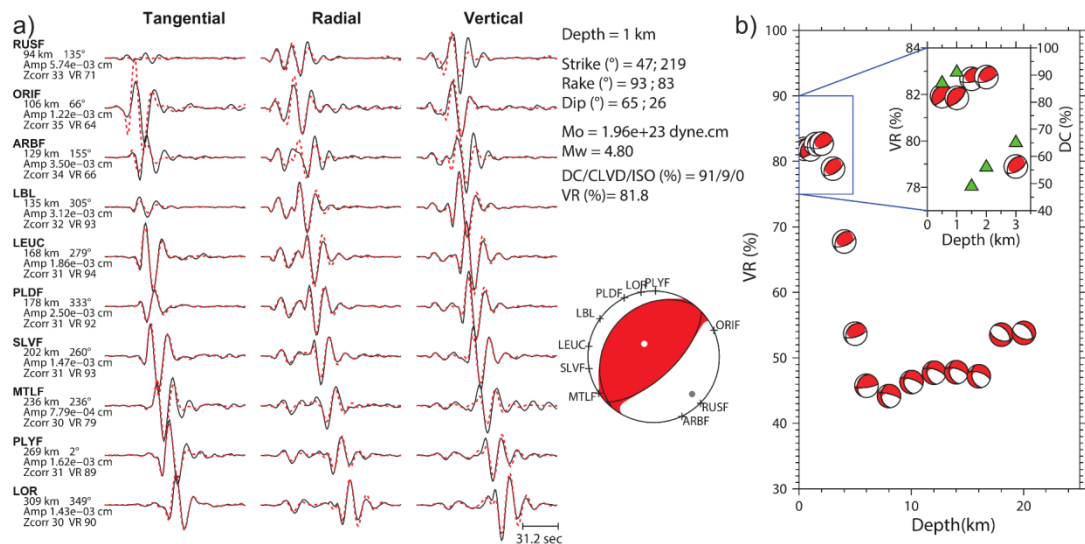
► Rupture en surface

- Faille de la Rouvière faisant partie du réseau de failles des Cévennes
- Réactivation en chevauchement d'une ancienne faille normale ayant accommodée de l'extension durant l'Oligocène (23-34 Ma)



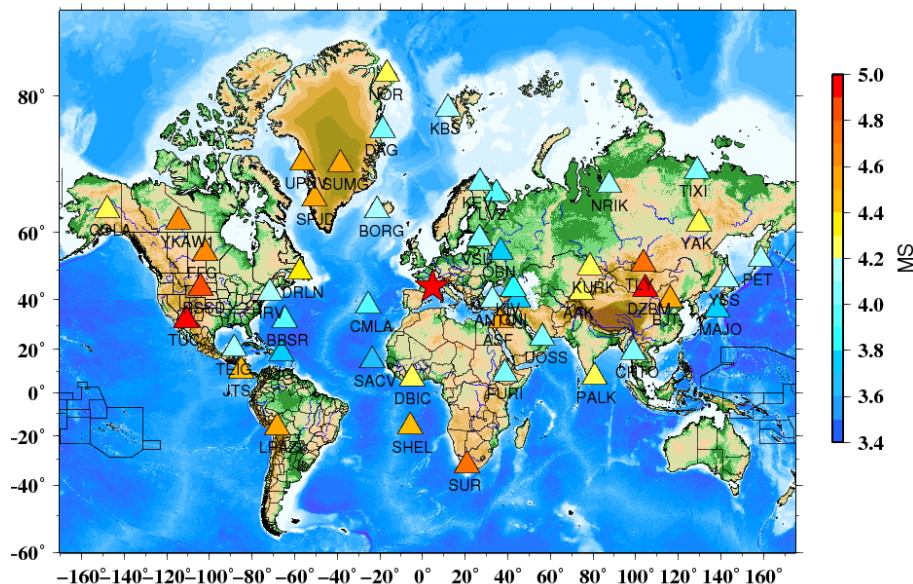
► Full waveform inversion : 10 stations large bande 3-C CEA & RESIF

- Réduction maximale de la variance à une profondeur de 1 km
- Mécanisme au foyer principalement chevauchant
- Azimut : $N47^\circ$ (en accord avec la faille de la Rouvière)
- Pendage : $65^\circ E$
- Magnitude de moment : 4.8
 - $MS : 4.07 \pm 0.17$ (Scordilis et al., 2006)



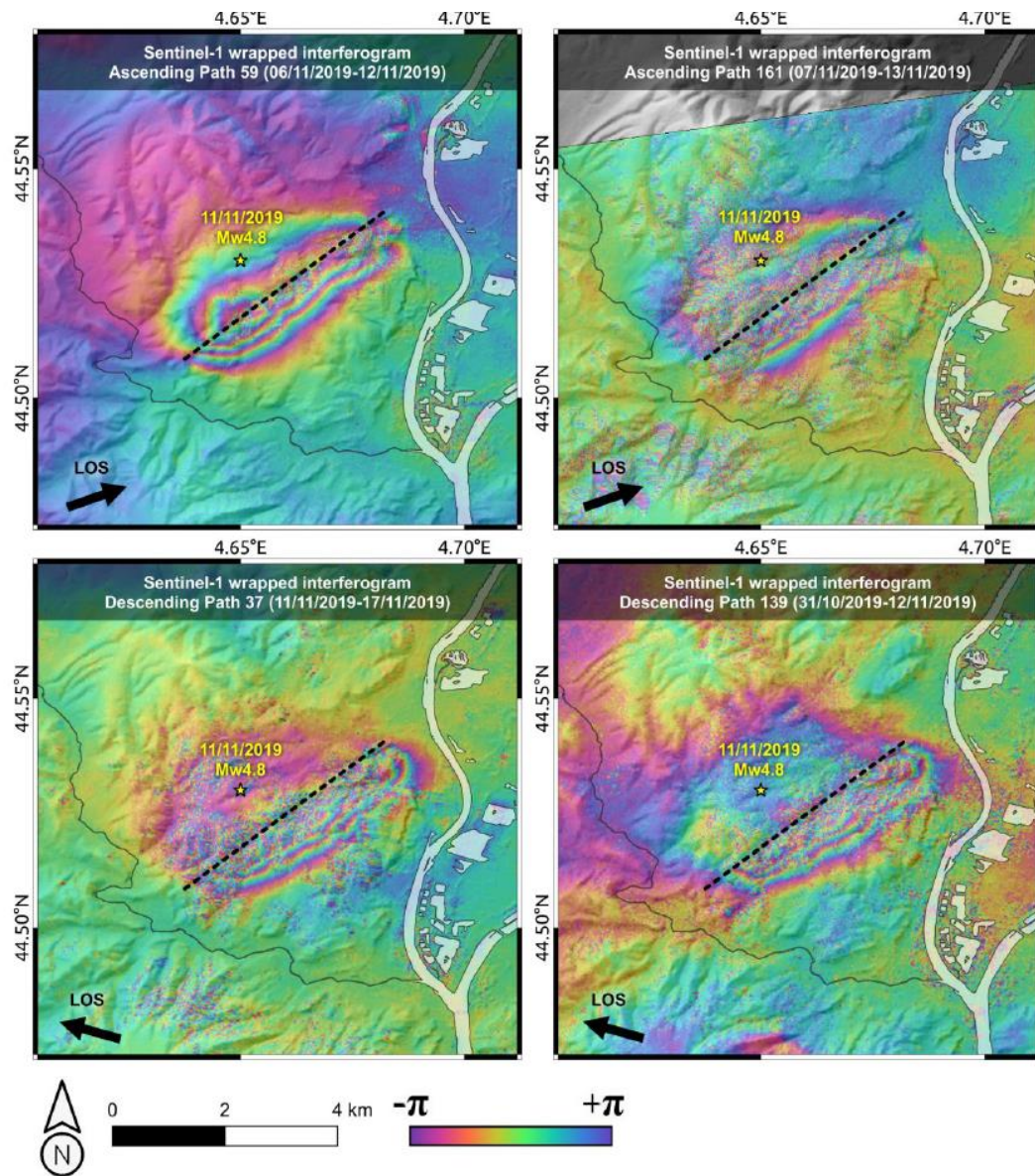
► Magnitude des ondes de surface

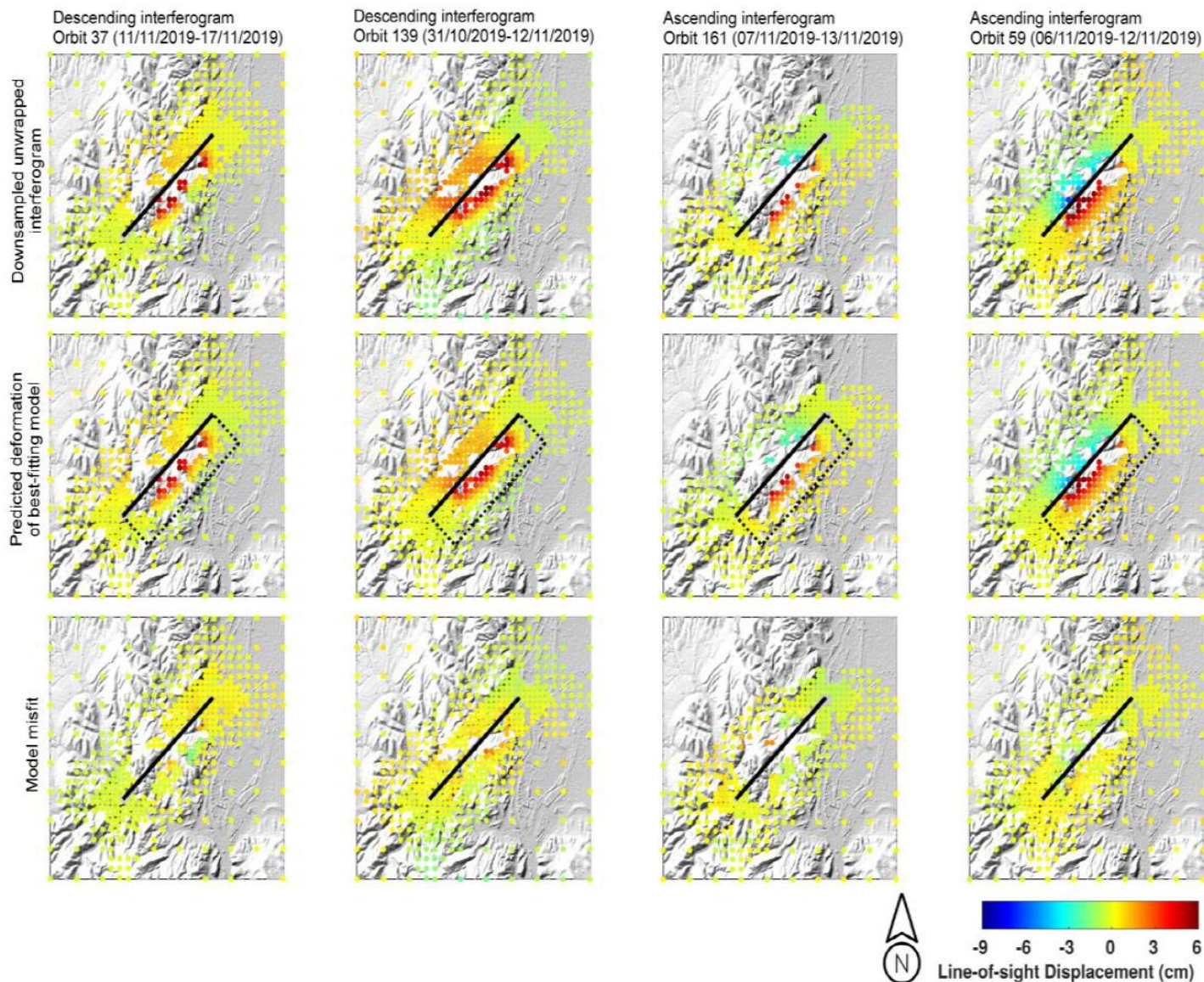
- Magnitude utile à l'aléa sismique au sens de la RFS2001-01
- Formule de Vanek et al., 1962
- Filtre 20-s sur les signaux enregistrés à 48 stations situées entre 20° et 90° de l'épicentre
- $MS = 4.2 \pm 0.3$

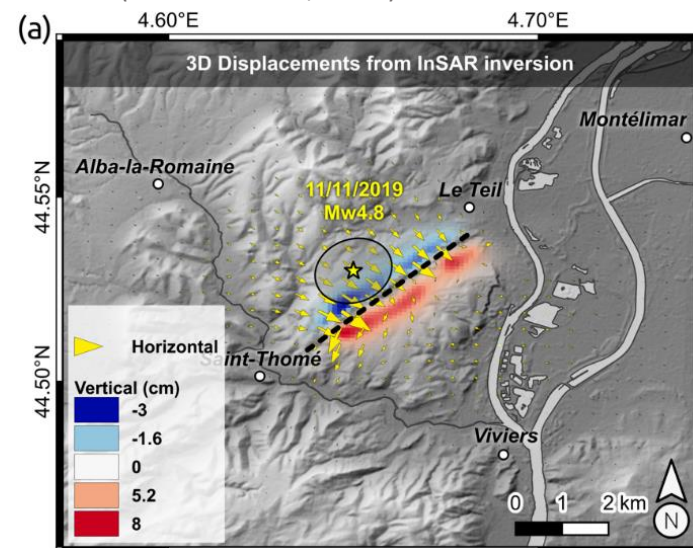
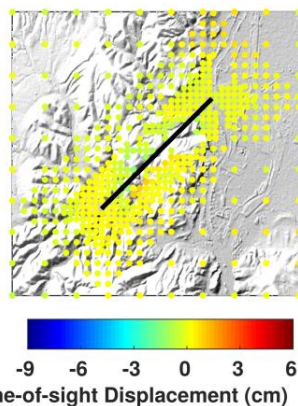
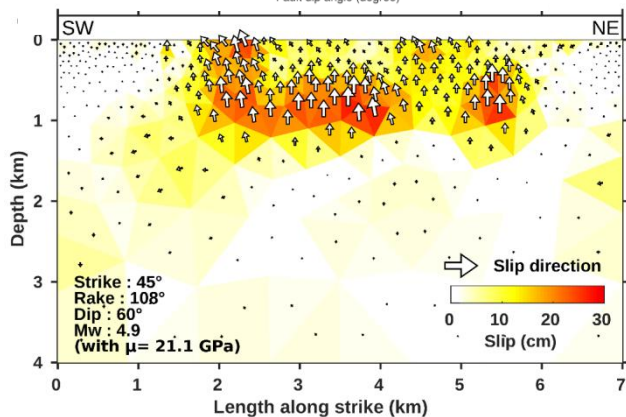
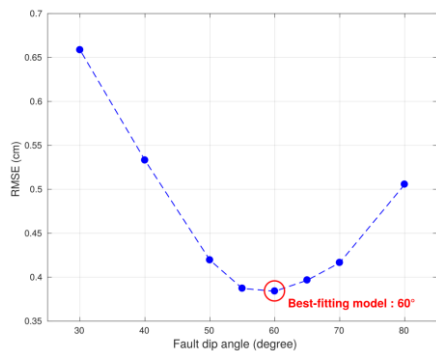
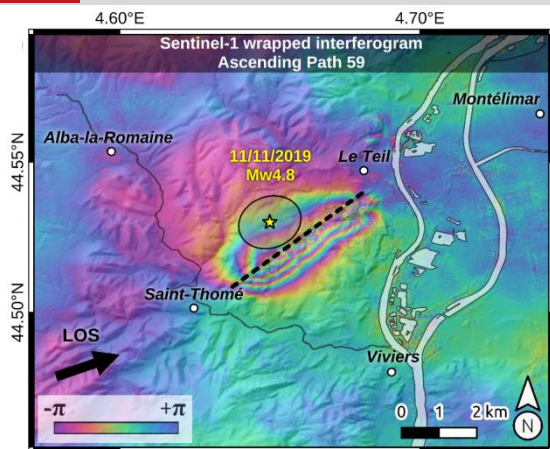


► 4 Interférogrammes

- 4 orbites Sentinel-1
- cosismiques (6 jours)
- Fréquence = 5.405 GHz
- Longueur d'onde ~ 5.54657 cm

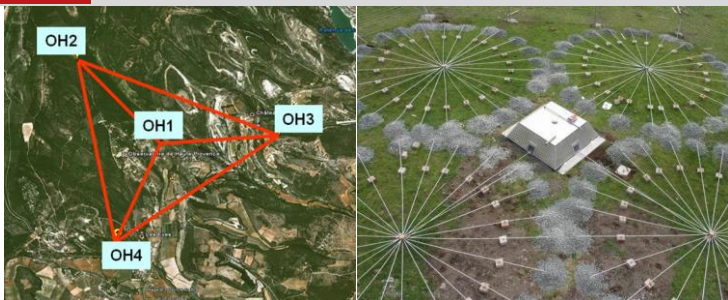




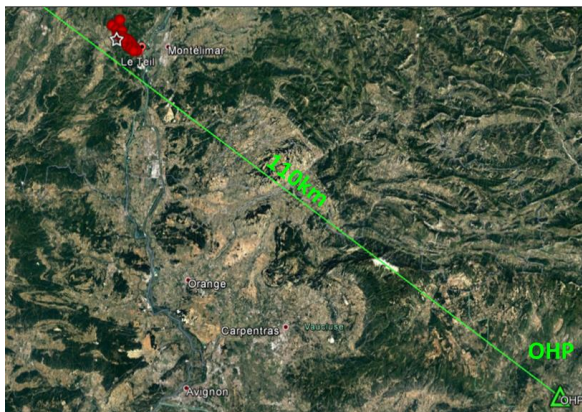


► InSAR

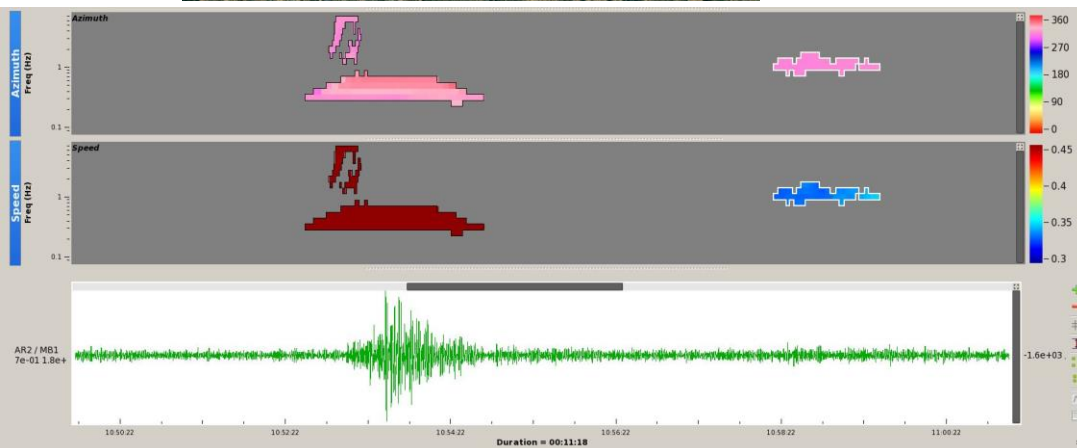
- Interferogramme co-sismique (4 traces Sentinel-1)
- Discontinuité de phase pouvant être suivie sur 5 km – en accord avec la présence de ruptures de surface
- Inversion du déplacement sur le plan de faille en profondeur
 - Pendage : 60°
 - Déplacement maximal de ~30 cm à 1 km de profondeur
 - 10 cm de glissement jusqu'à la surface
 - Mécanisme au foyer chevauchant en accord avec la sismologie
 - Magnitude de moment : 4.9
 - MS : 4.22 ± 0.17 (Scordilis et al., 2006)



Le Pichon et al., 2006, 2015; Hernandez et al., 2018

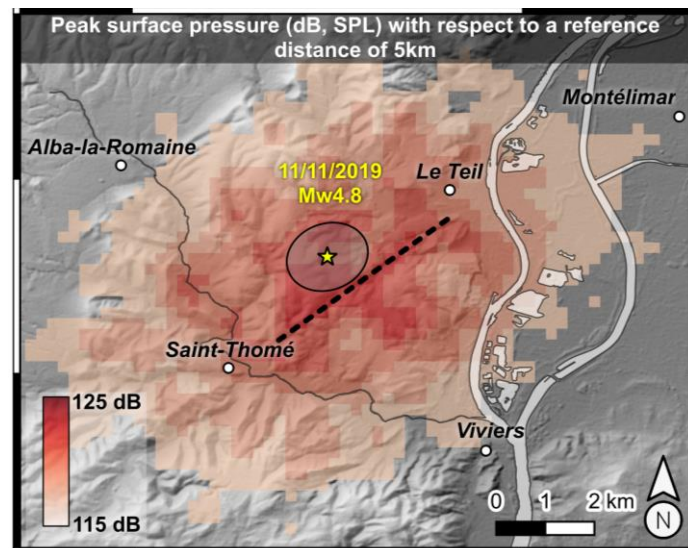


PMCC method, Cansi, 1995

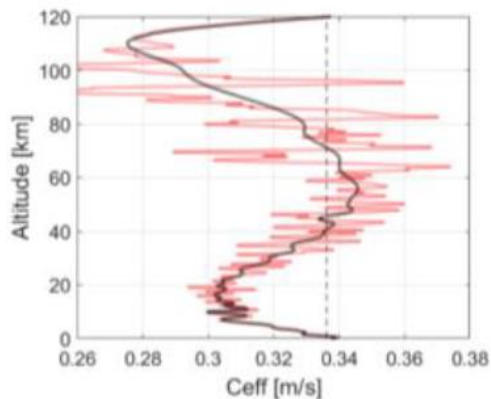


► Infrasons

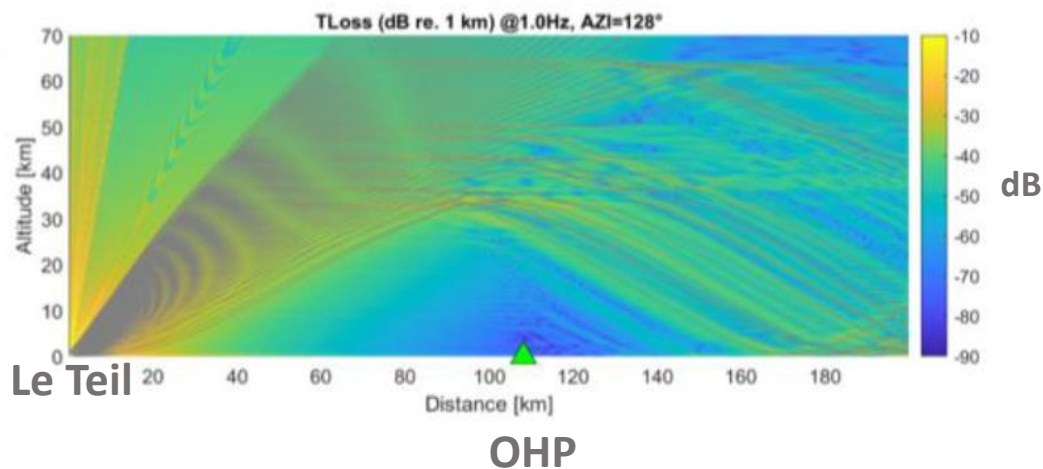
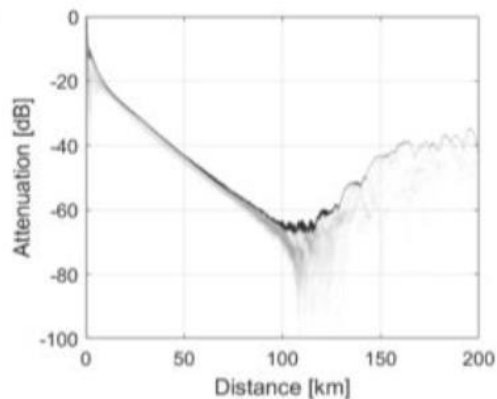
- Temps d'arrivée, back-azimut et pic de pression de 0,035 Pa à une fréquence de 1 Hz mesurés à l'observatoire de Haute-Provence (OHP)
- Modélisation de la propagation des infrasons basée sur la réflexion partielle du signal dans la stratosphère
- Rétro-propagation : la zone du pic de pression en surface correspond à la zone épicyclique
- L'amplitude du signal infrason, corrigée des effets de propagation, semble gouvernée par la combinaison magnitude/profondeur de l'évènement



► Vitesse du son (effectif)

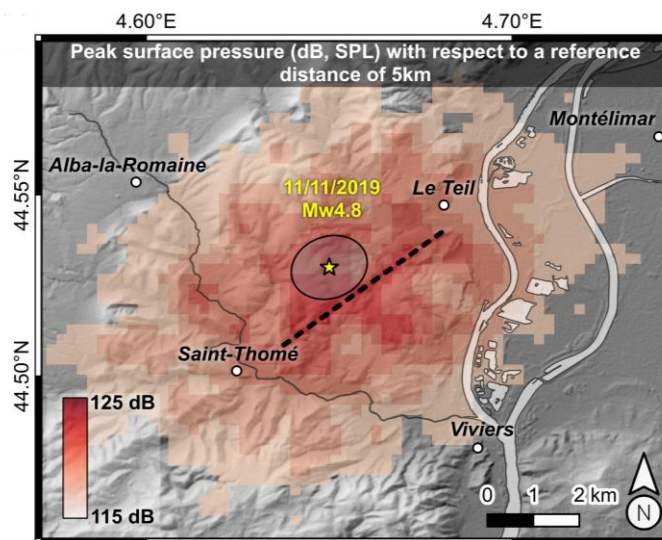
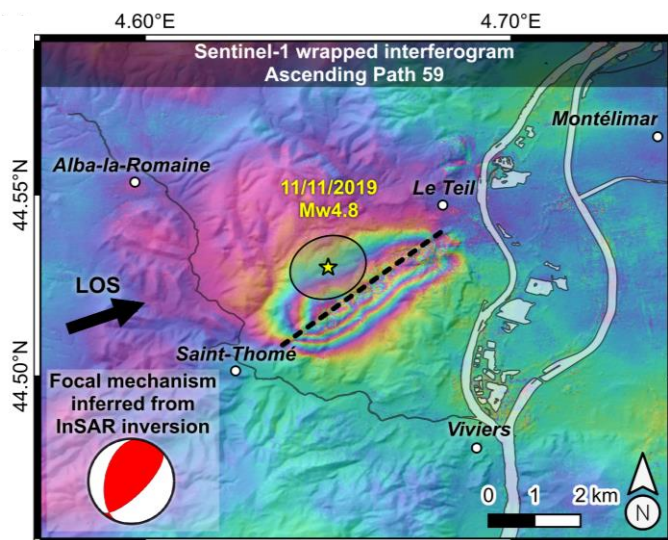


► Atténuation de l'énergie acoustique en fonction de la distance à la source

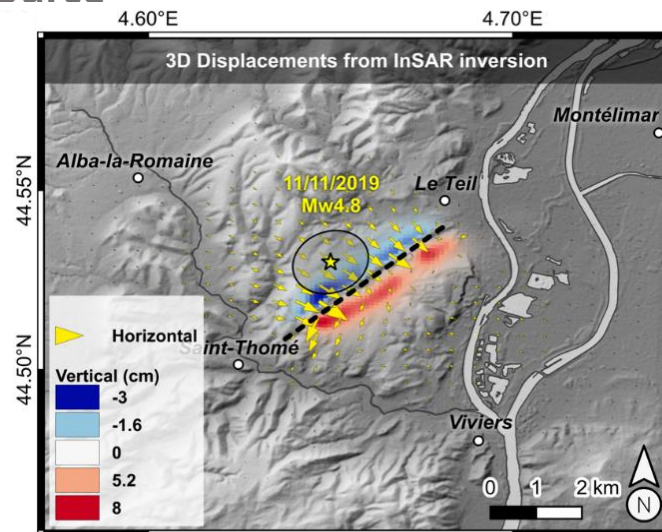
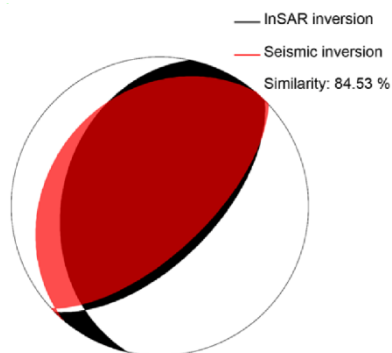


► Atténuation de l'énergie acoustique et rais acoustiques

► Cohérence de la caractérisation spatiale de la source



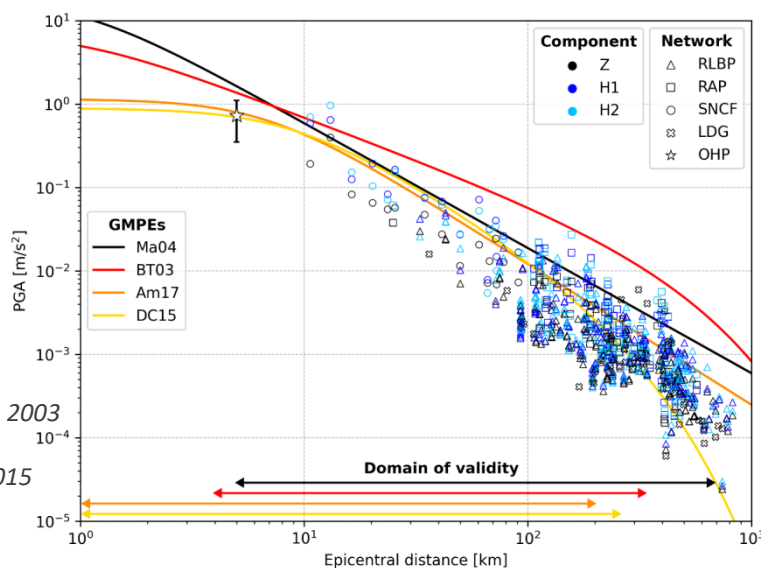
► Cohérence de la caractérisation de la source



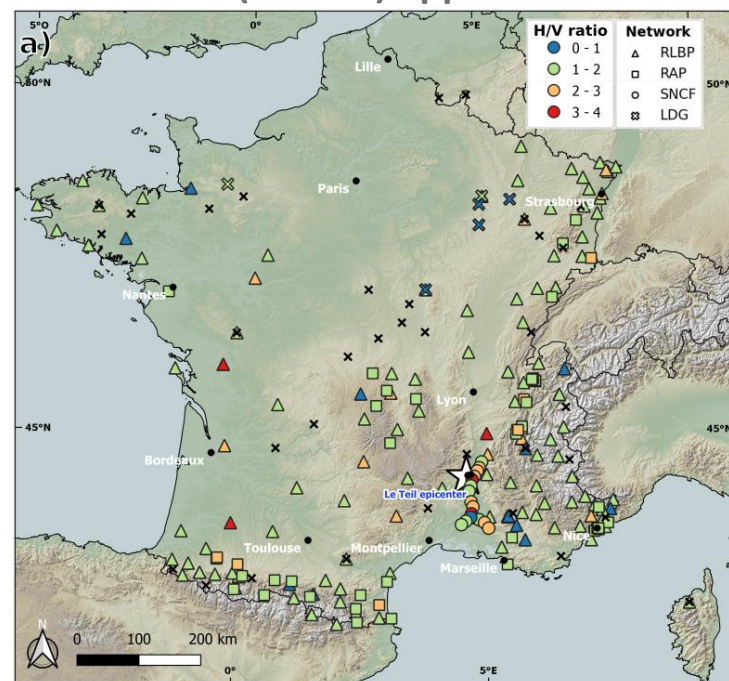
► Utilisation de différents réseaux pour un total de 851 enregistrements sur 307 stations dans un rayon de 1000 km autour de l'épicentre :

- RESIF-RLBP : réseau vélocimétrique national large bande, 3 composantes converties en accélération
- RESIF-RAP : réseau accélérométrique national, 3 composantes
- CEA/DAM : réseau CPz vélocimétrique courte période 1 composante, et large bande 3 composantes, converties en accélération
- *Rétro-propagation du signal infrason : mesure du PGA vertical à une distance de 5 km de l'épicentre*
- *SNCF : réseau d'alerte sismique pour la LGV sud-est, accéléromètres 3 composantes*

► Confrontation aux lois de propagation du mouvement du sol (GMPEs) applicables en France métropolitaine



Marin et al., 2004
Berge-Thierry et al., 2003
Amery et al., 2017
Drouet & Cotton, 2015



- ▶ Le séisme du Teil : 11 novembre 2019 à 11h52 (UTC+1)
- ▶ Plus fort séisme en France métropolitaine depuis 16 ans (séisme de Rambervillers en 2003)
- ▶ **Magnitudes :**
 - M_L : 5.4
 - M_W : 4.8-4.9
 - M_S : 4.2 ± 0.3
- ▶ **Données variées**
 - Sismologie (vélocimètres, accéléromètres),
 - Géodésie (DInSAR),
 - Acoustique (Microbaromètres)



A. Vallage, L. Bollinger, J. Champenois, C. Duverger, A. Guilhem Trilla, B. Hernandez, A. Le Pichon, C. Listowski, G. Mazet-Roux, M. Menager, B. Pinel-Puysségur, J. Vergoz, **Multi-technology characterisation of an unusual surface rupturing intraplate earthquake: The ML 5.4 2019 Le Teil event in France**, *Geophysical Journal International*, 2021, ggab136, <https://doi.org/10.1093/gji/ggab136>



Merci de votre attention

15 novembre 2021

A. Vallage, L. Bollinger, J. Champenois, C. Duverger, A. Guilhem Trilla, B. Hernandez, A. Le Pichon, C. Listowski, G. Mazet-Roux, M. Menager, B. Pinel-Puysségur, J. Vergoz, Multi-technology characterisation of an unusual surface rupturing intraplate earthquake: The ML 5.4 2019 Le Teil event in France, *Geophysical Journal International*, 2021;, ggab136, <https://doi.org/10.1093/gji/ggab136>