

# Accélération du sol exceptionnelle lors du séisme du Teil $M_w=4.9$ , 11 novembre 2019

M. Causse<sup>1</sup>, C. Cornou<sup>1</sup>, E. Maufroy<sup>1</sup>, P. Fahed<sup>1</sup>, J.R. Grasso<sup>1</sup>,  
L. Baillet<sup>1</sup>, E. El Haber<sup>1</sup>

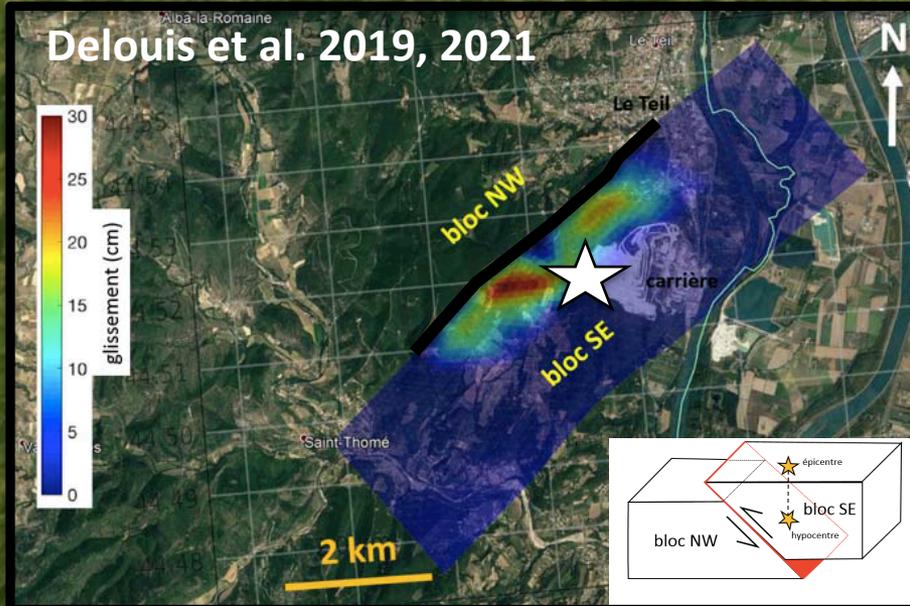
Contributions : S. Hok<sup>2</sup>, C. Gélis<sup>2</sup>, R. Rush<sup>2</sup>, A. Laurendeau<sup>2</sup>, M. Lancieri<sup>2</sup>

1: ISTerre, Grenoble

2: IRSN



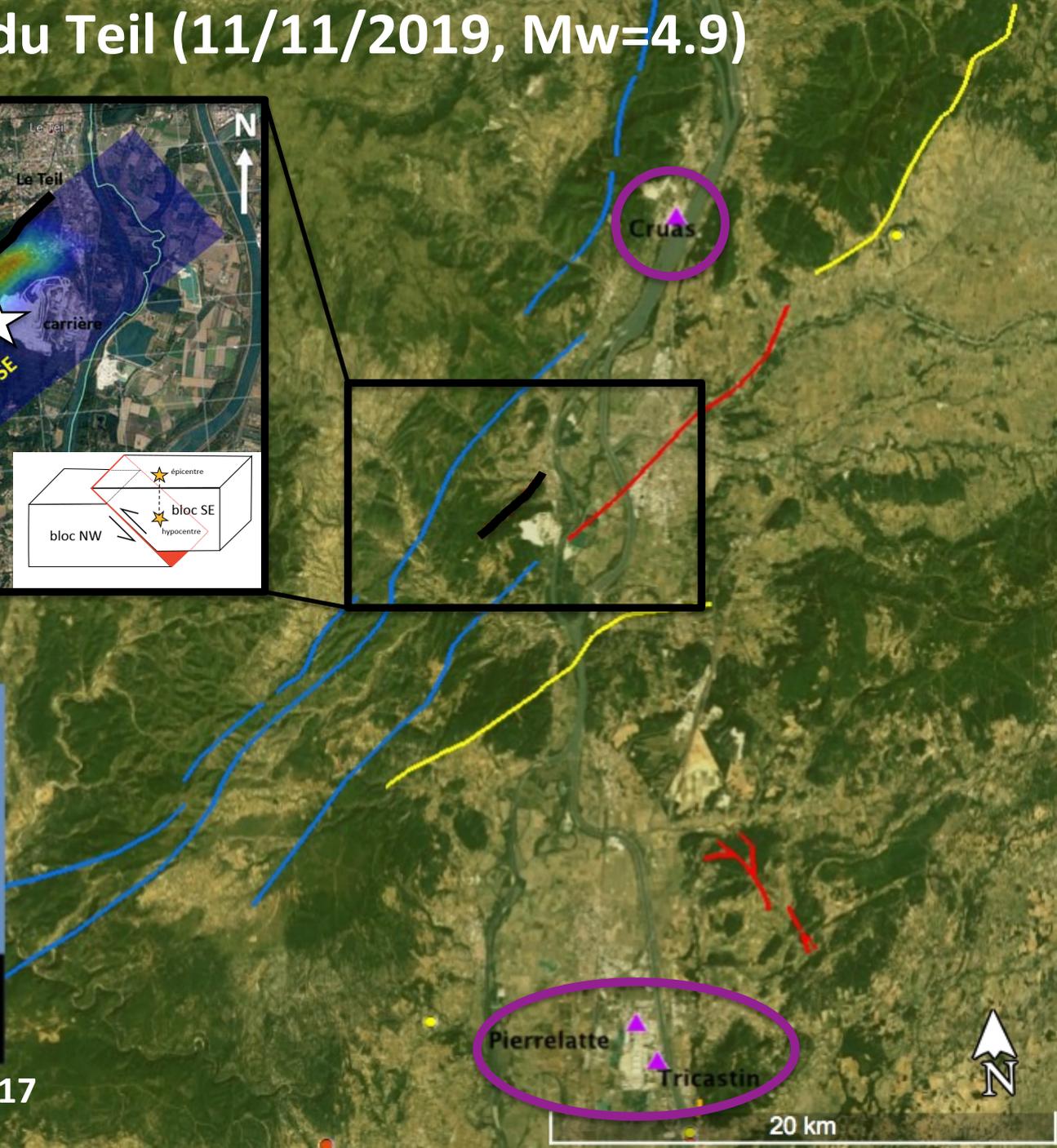
# Séisme du Teil (11/11/2019, Mw=4.9)



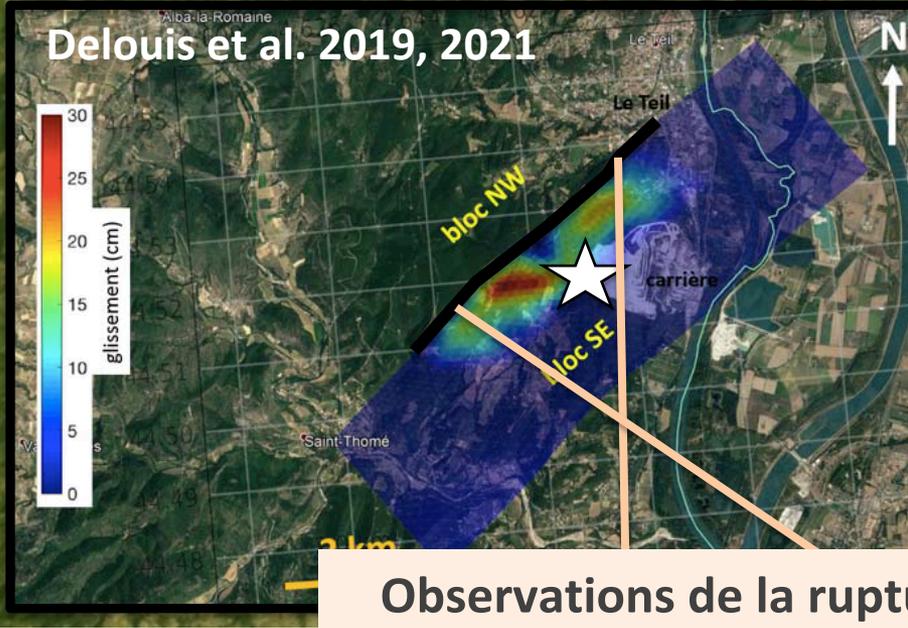
La Rouvière fault



Google Earth Jomard et al. 2017



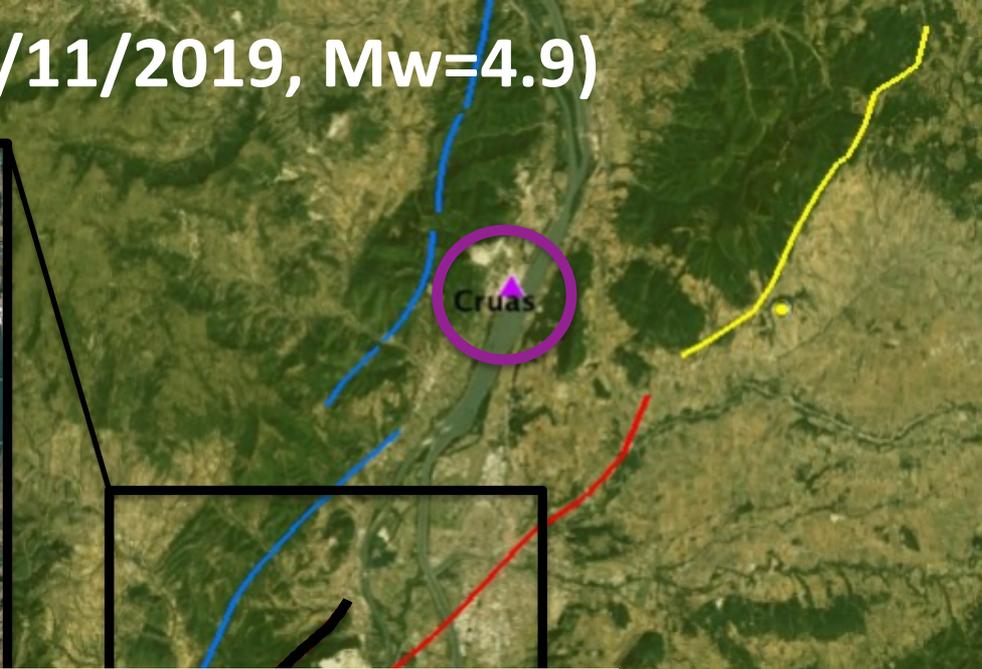
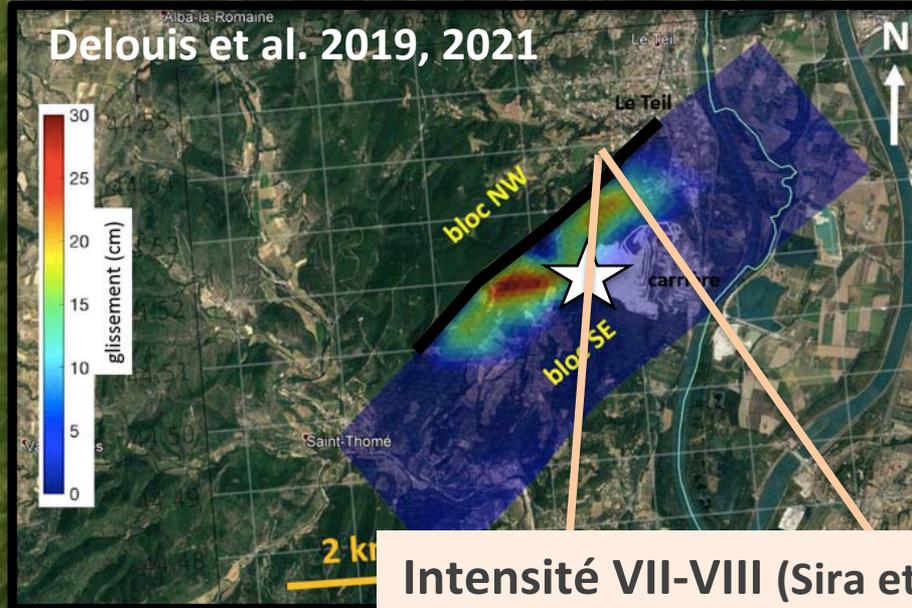
# Séisme du Teil (11/11/2019, Mw=4.9)



## Observations de la rupture en surface (Ritz et al. 2020)



# Séisme du Teil (11/11/2019, Mw=4.9)

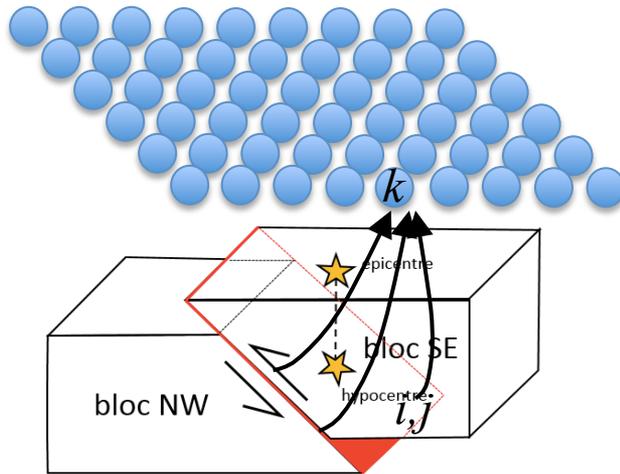


Intensité VII-VIII (Sira et al. 2020; Schlupp et al. 2020)



# Stratégie pour quantifier le mouvement fort

Simulation numérique et observations in-situ



**Mouvement du sol simulé**  
(stations "virtuelles") :

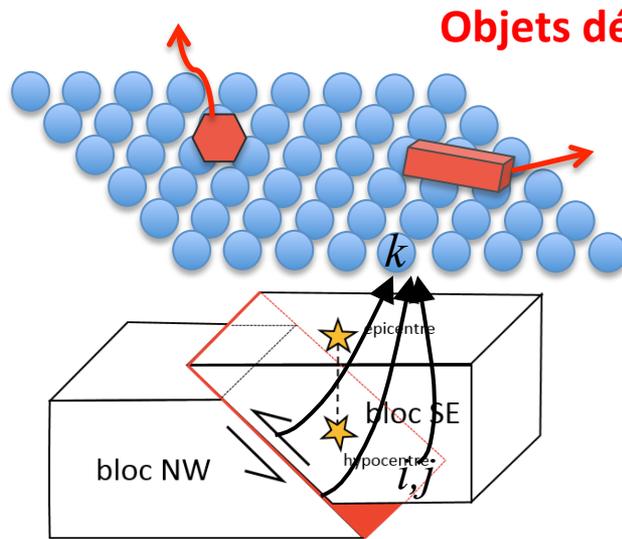
$$u_k(t) = \sum_{ij} s_{ij}(t) * g_{ij,k}(t)$$

**Propagation de la rupture**  
(vitesse de glissement)

**Propagation des ondes**  
(réponse impulsionnelle)

# Stratégie pour quantifier le mouvement fort

Simulation numérique et observations in-situ



Objets déplacés par le séisme

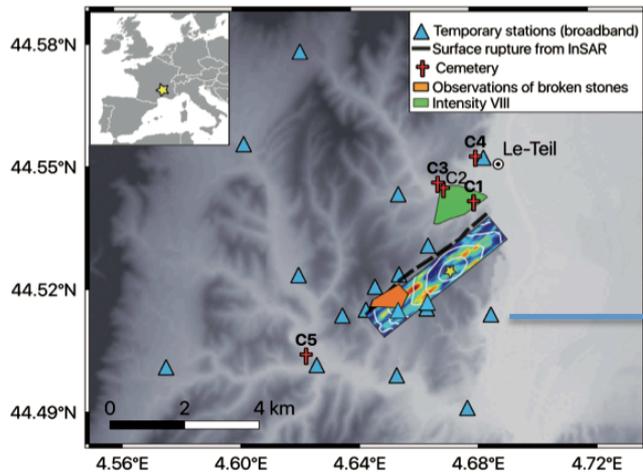
Mouvement du sol simulé  
(stations "virtuelles") :

$$u_k(t) = \sum_{ij} s_{ij}(t) * g_{ij,k}(t)$$

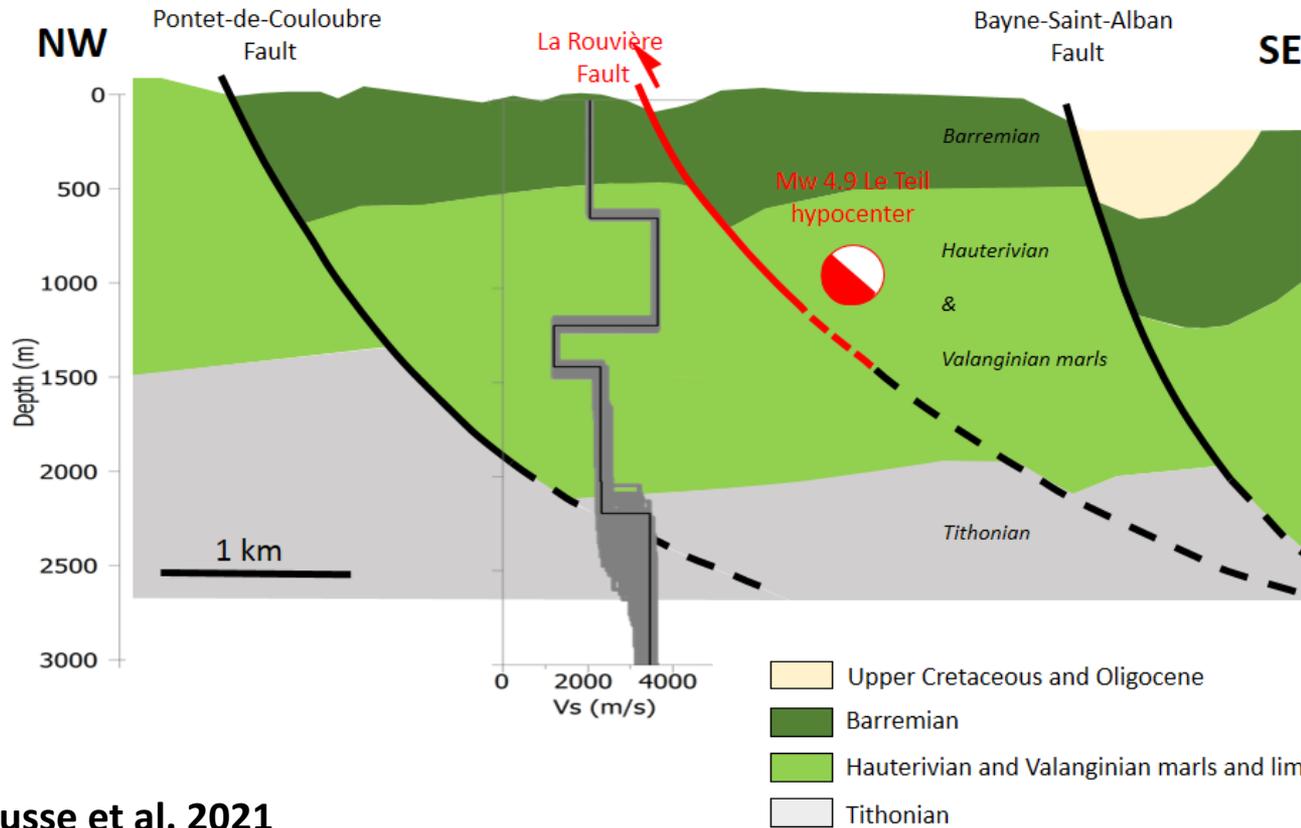
Propagation de  
la rupture  
(vitesse de  
glissement)

Propagation des  
ondes  
(réponse  
impulsionnelle)

# Modèle de vitesse 1D local



stations large-bande  
temporaires  
(Cornou et al. 2021)



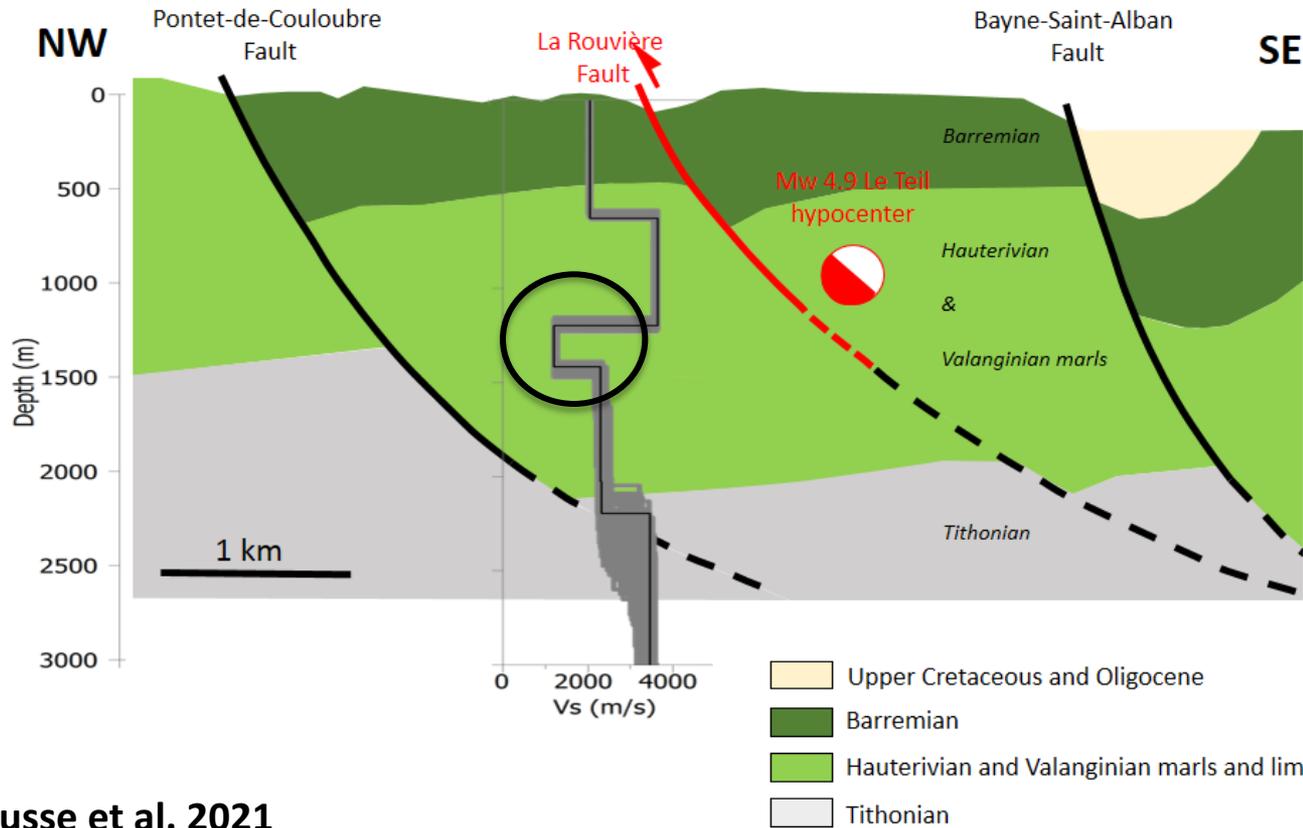
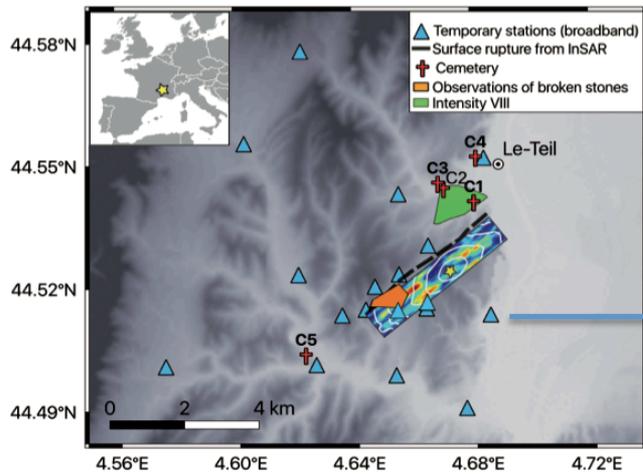
Outcropping Hauterivian formation



Outcropping Valanginian formation



# Modèle de vitesse 1D local



Outcropping Hauterivian formation

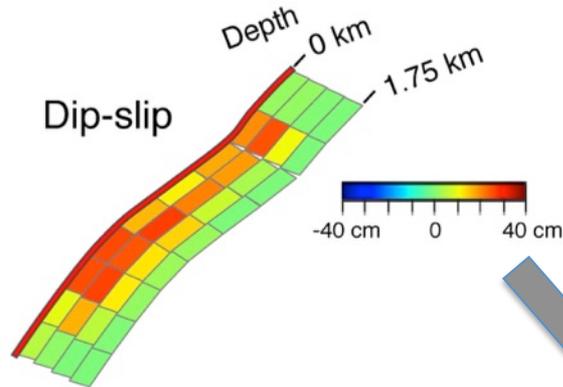


Outcropping Valanginian formation

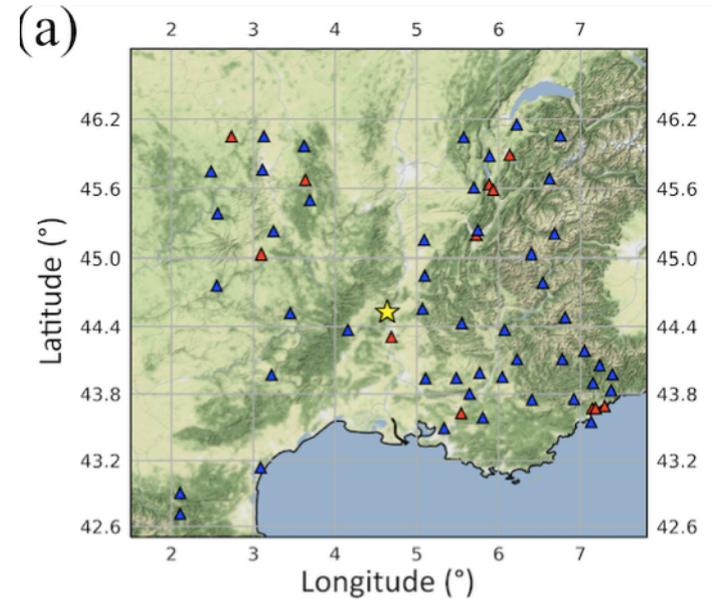


# Modélisation de la rupture

Glissement (données InSAR)  
Cornou et al. 2021

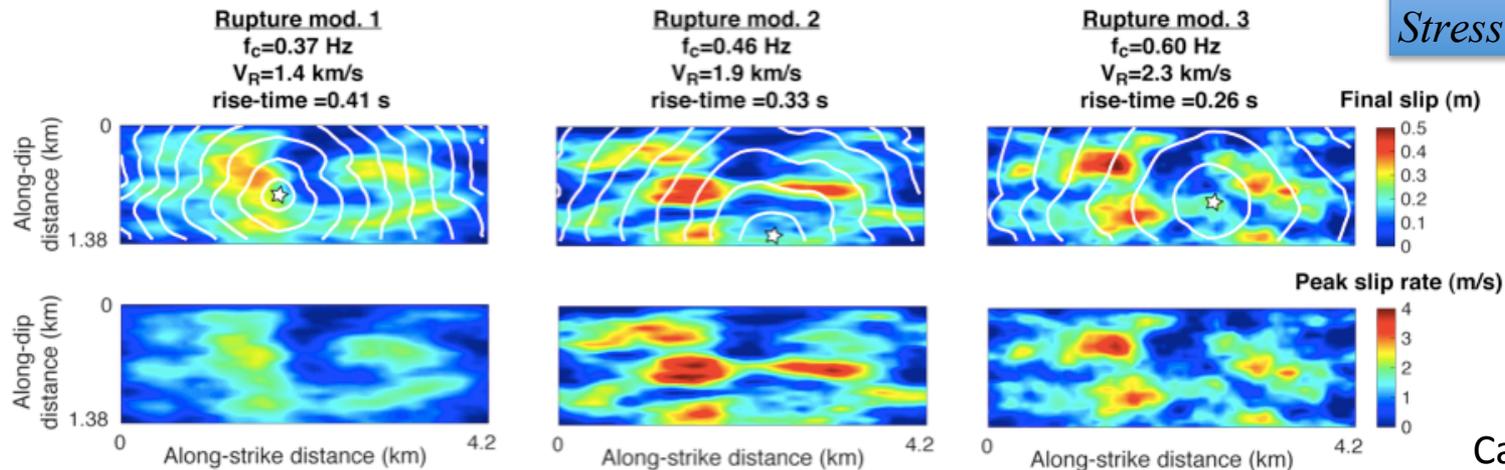


## Seismological recordings (RESIF)



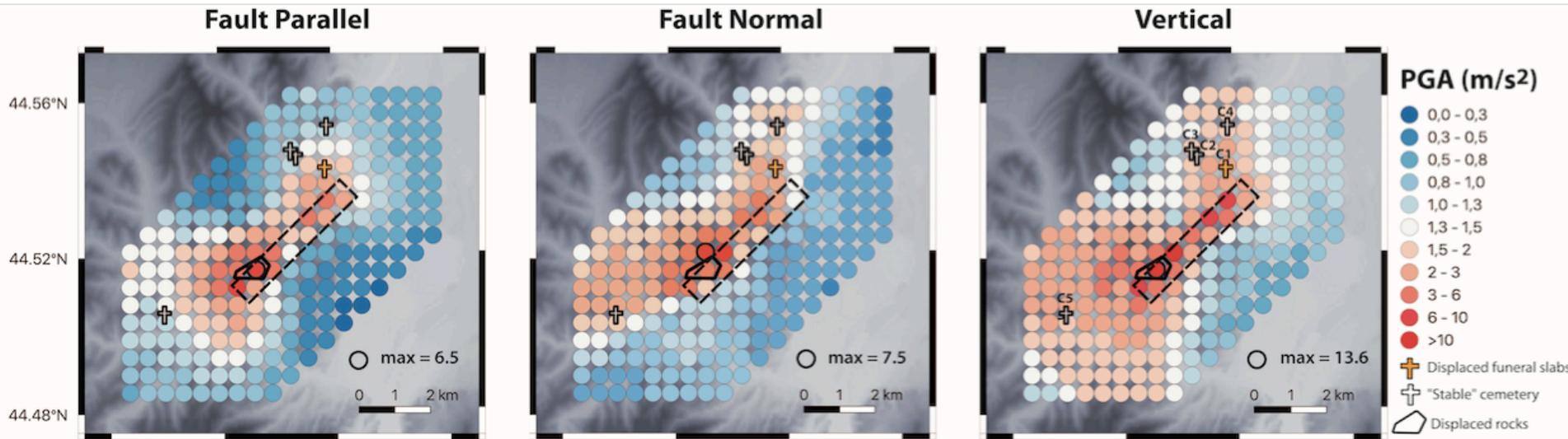
- ★ Le Teil event 11/11/2019
- ▲ Strong-motion stations RESIF-RAP
- ▲ Broadband stations RESIF-RLBP

## Exemple de modèles de rupture



$V_{rupture} \approx 1.8$  km / s  
 $Stress\ drop \approx 1$  MPa

# Accélération du sol simulée

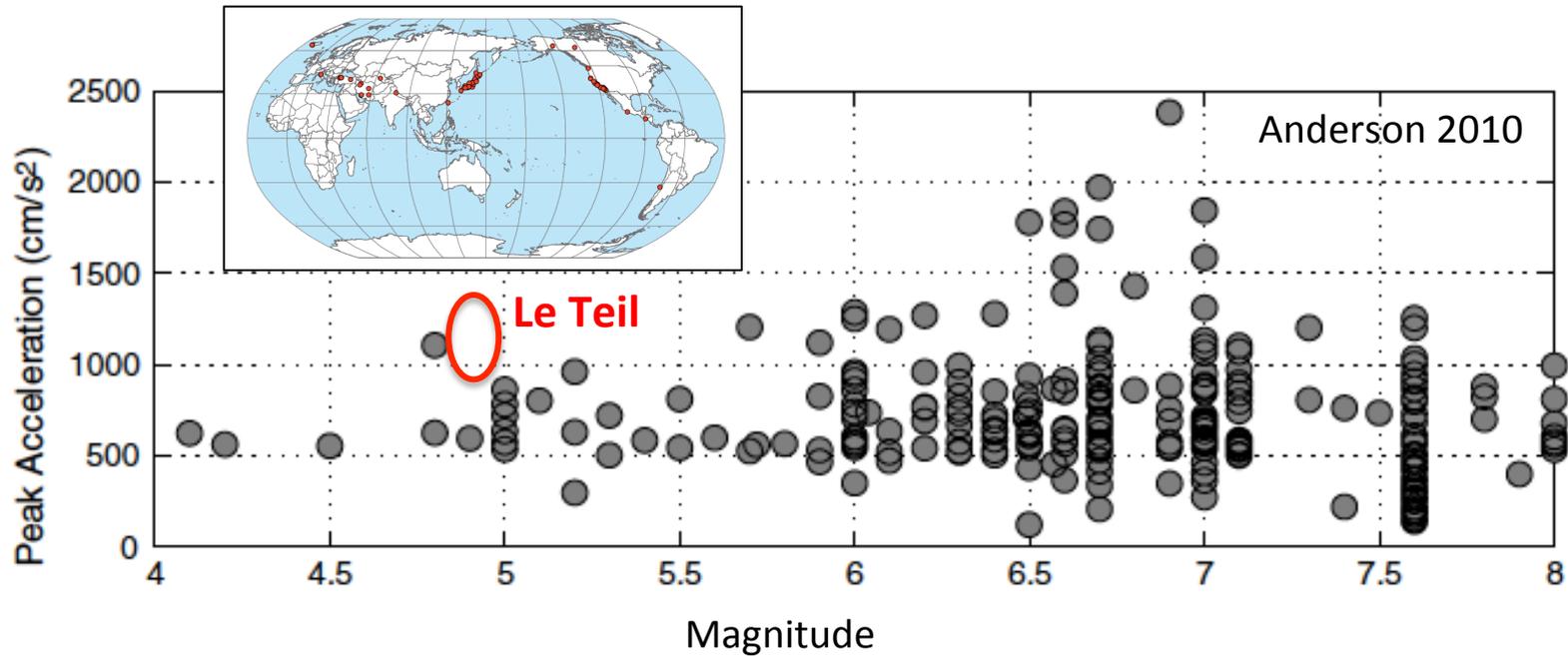


Causse et al. 2021

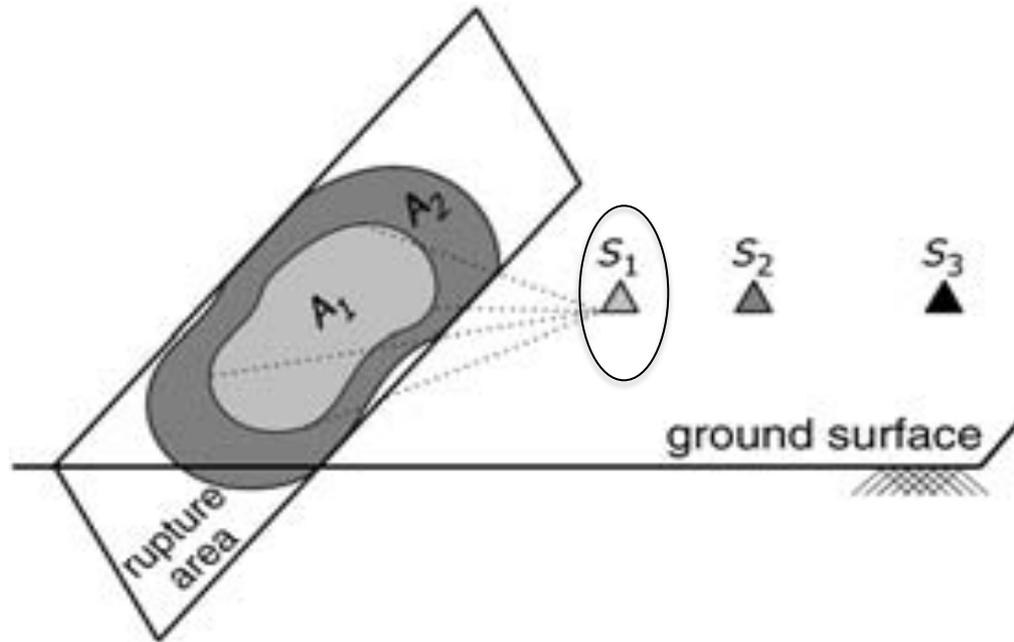
Niveaux localement extrêmement forts (>1 g)...

Est-ce réaliste pour un séisme modéré?

# Dépendance des mouvements forts à la magnitude



# Dépendance des mouvements forts à la magnitude

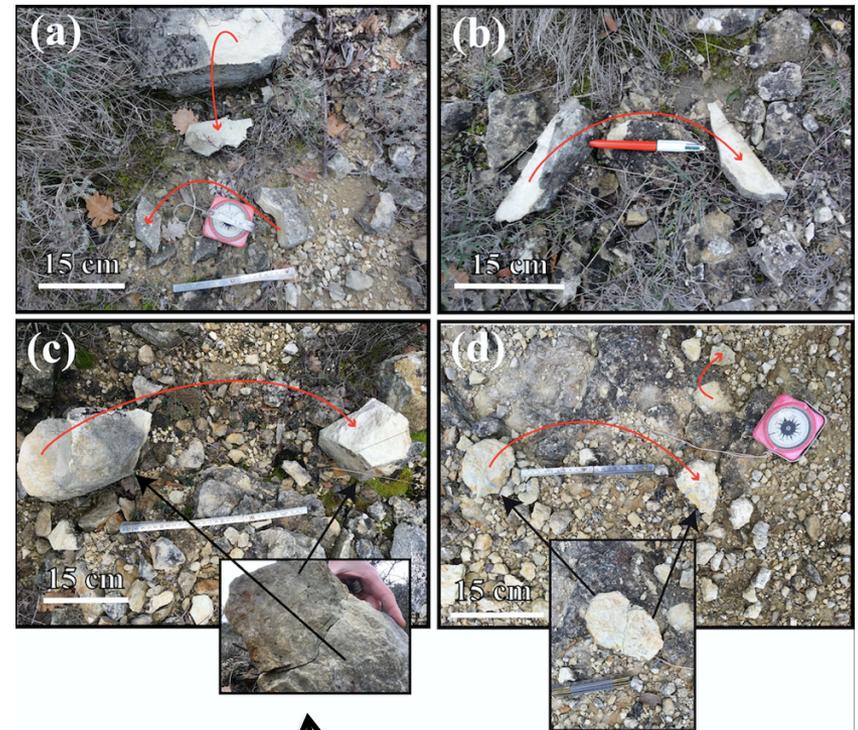


Yenier & Atkinson 2015

**L'accélération du sol à proximité d'une faille est contrôlée par des processus locaux (rupture locale) qui ne dépendent pas ou peu de la taille des séismes**

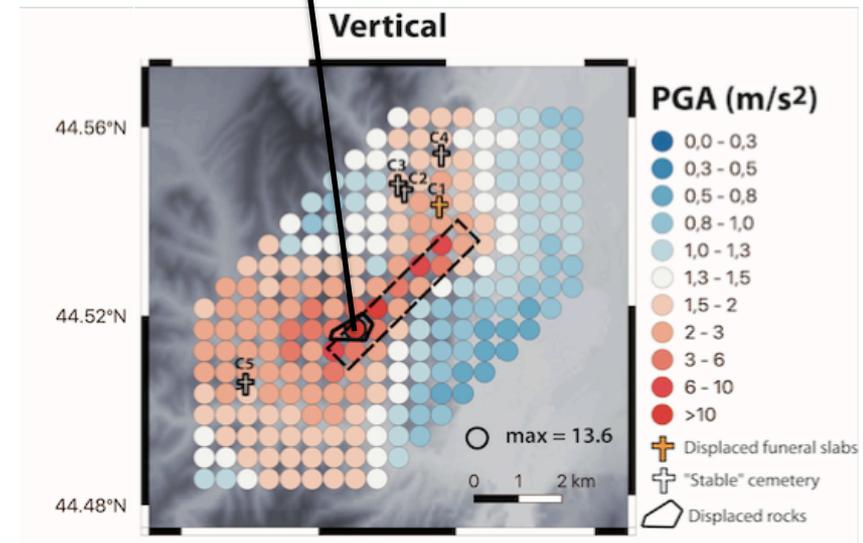
# Que nous apprennent les objets déplacés?

Fragments de cailloux (projetés en l'air et brisés à l'impact sur le sol) impliquant une **accélération verticale > 1g**



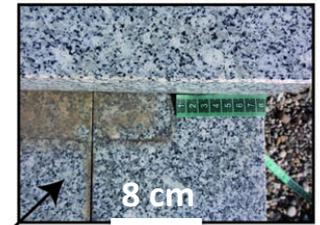
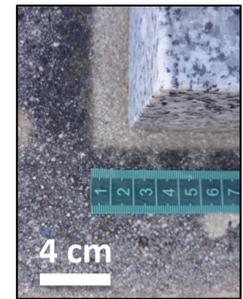
Simulations  $\rightarrow$   $PGA_V \approx 1.3$  g

Observations  $\rightarrow$   $PGA_V > 1$  g



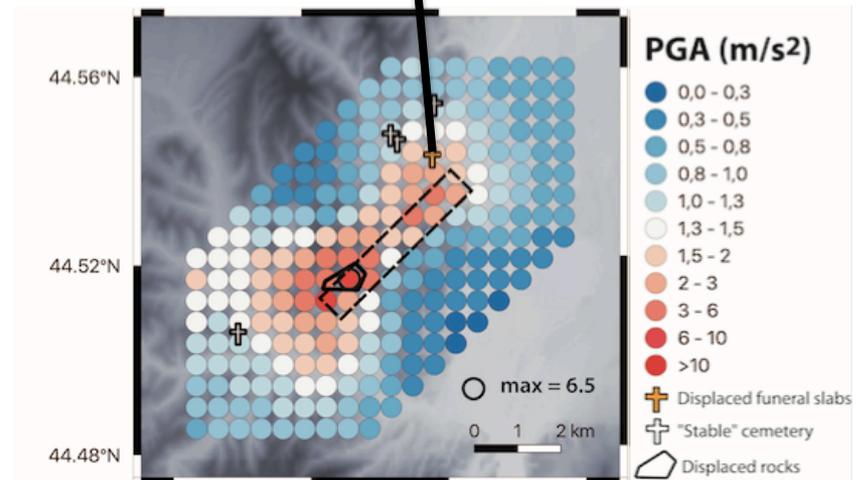
# Que nous apprennent les objets déplacés?

Observations de pierres tombales déplacées à proximité de la faille

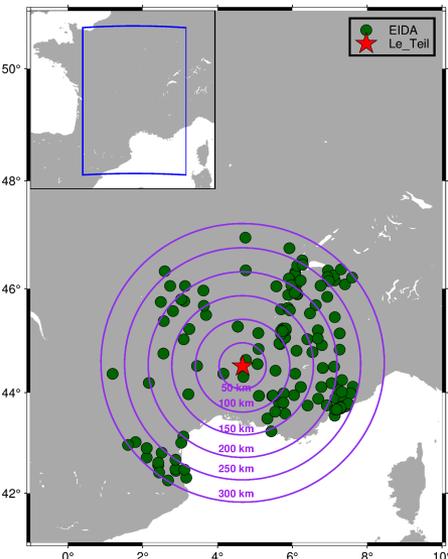


Simulations  $\rightarrow$   $PGA_H \approx 0.3$  g

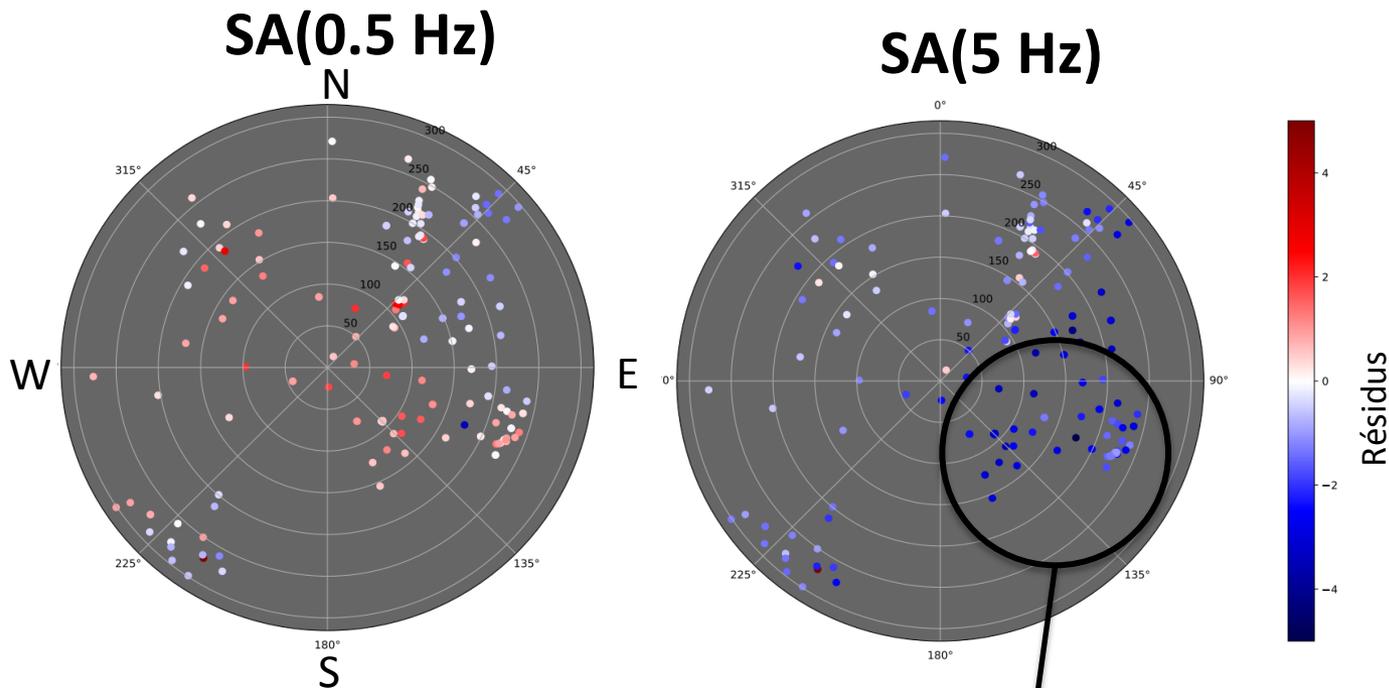
Observations  $\rightarrow$   $PGA_H \approx 0.4$  g



# Observations du mouvement fort en champ lointain

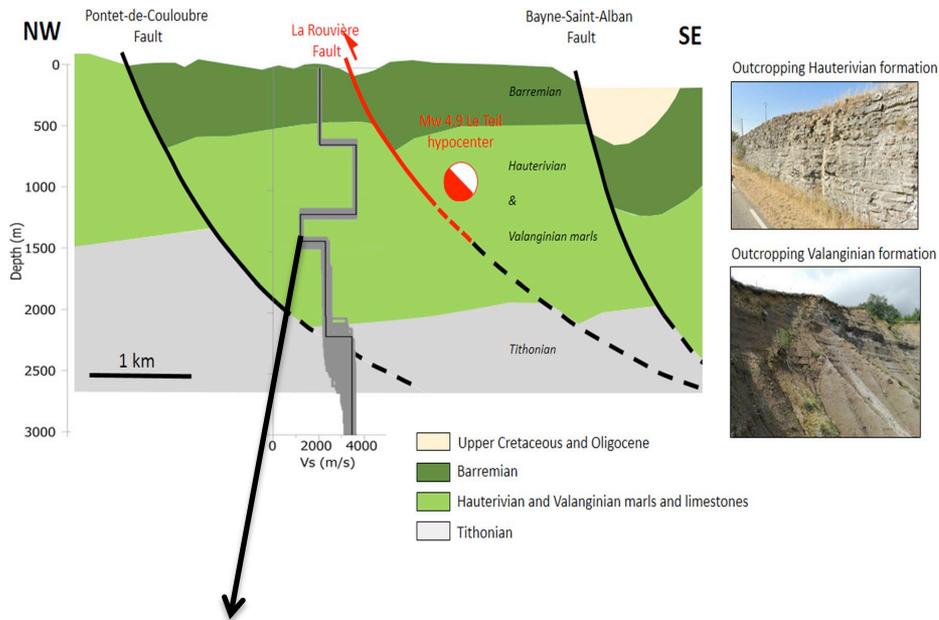


Comparaison entre observations et prédictions par un modèle empirique (Bindi et al. 2014)

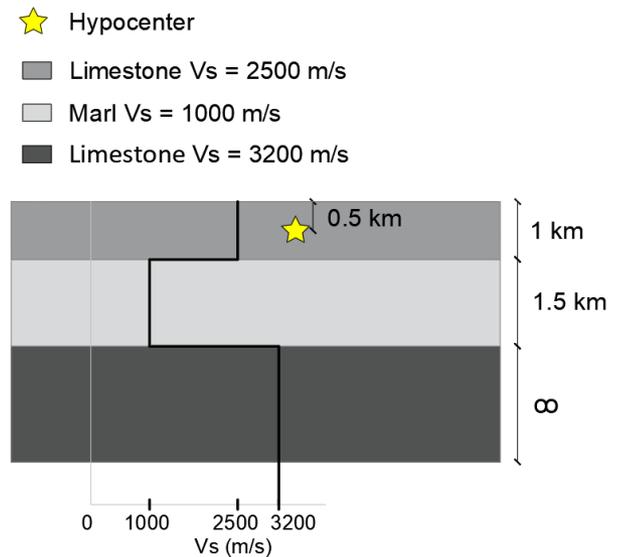


Forte décroissance du mouvement sismique dans le **sud-est**, et à **haute-fréquence**

# Quel est l'effet d'une couche de marne enfouie sur la décroissance du mouvement sismique?

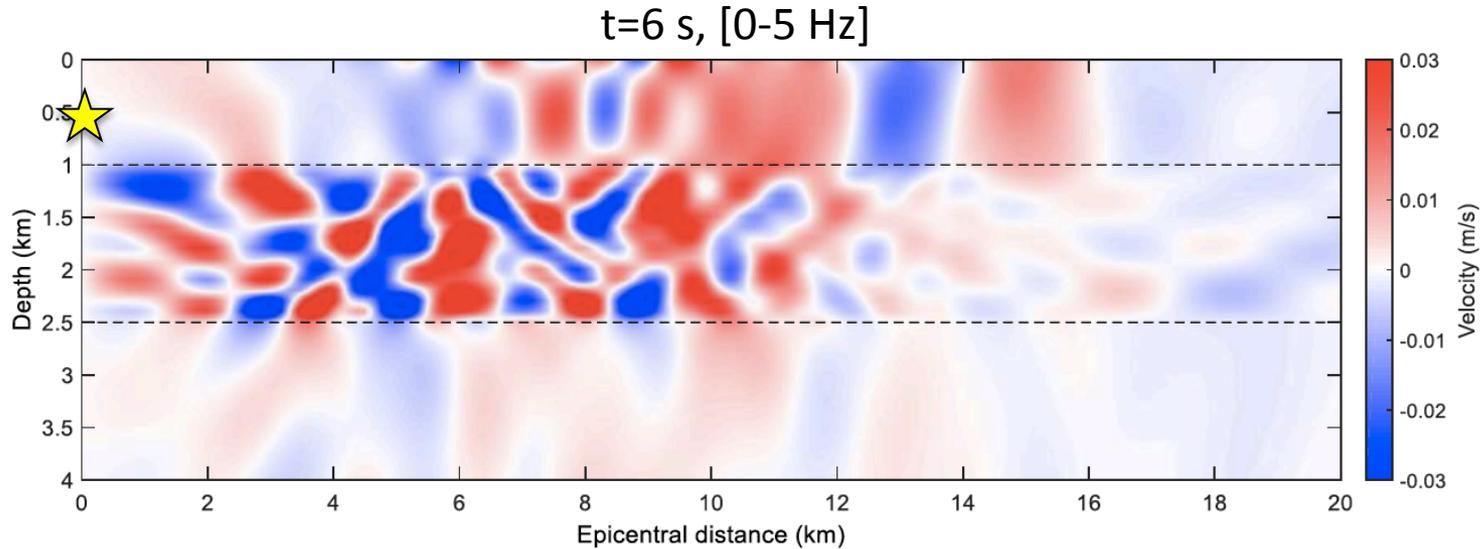


formations marneuses (inversion de vitesse) s'étendant à l'ensemble du sud-est de la France

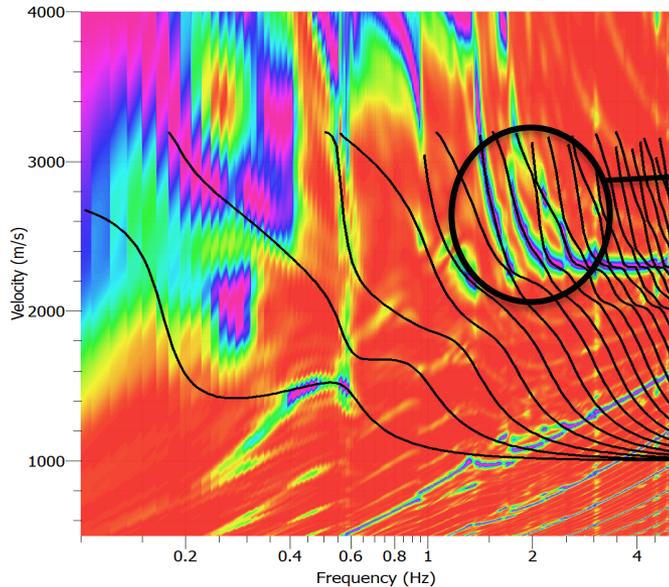


**Modèle simplifié**

# Quel est l'effet d'une couche de marne enfouie sur la décroissance du mouvement sismique?



Dispersion curve (Rayleigh wave)

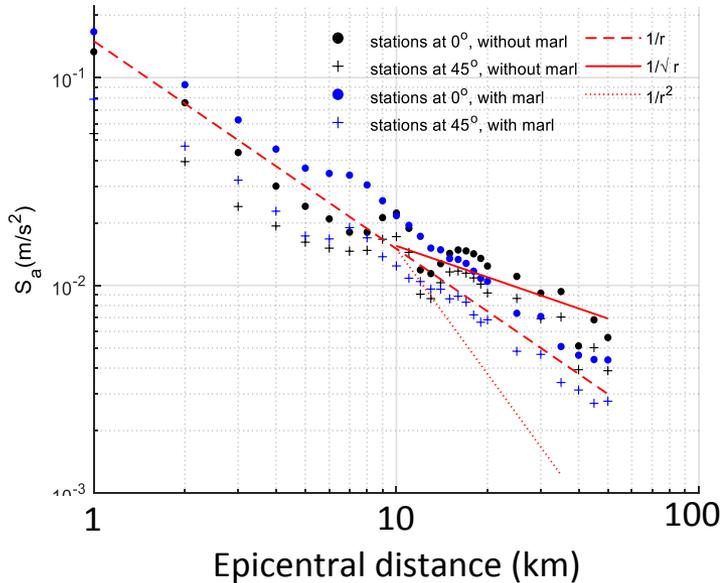


Excitation modes supérieurs (>2 Hz)

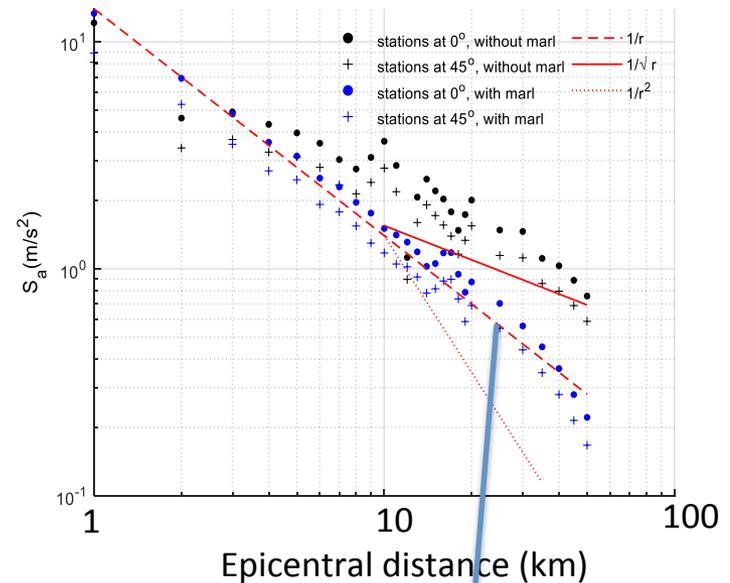
Onde guidée dans la couche lente

# Quel est l'effet d'une couche de marne enfouie sur la décroissance du mouvement sismique?

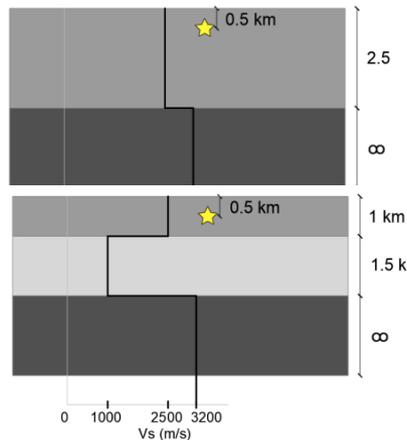
## Spectral Acceleration @0.2Hz



## Spectral Acceleration @3Hz



**SANS** couche lente – milieu élastique



**AVEC** couche lente – milieu élastique

- ★ Hypocenter
- Limestone Vs = 2500 m/s
- Marl Vs = 1000 m/s
- Limestone Vs = 3200 m/s

**Décroissance du mouvement sismique plus forte à haute-fréquence en présence d'une couche lente**

# Conclusions

- Des séismes modérés peuvent se produire à très faible profondeur ( $< 1\text{km}$ ), avec des propriétés de rupture similaires aux plus gros séismes plus profonds
- La génération d'énergie sismique juste sous la surface a induit une accélération du sol exceptionnelle ( $\text{acc}_z > 1\text{ g}$ )
- La modélisation d'objets déplacés fournit des estimations de l'accélération compatibles avec les prédictions numériques
- La structure géologique particulière (marnes, inversion de vitesse) s'étendant au sud-est conduit à une forte décroissance du mouvement sismique haute-fréquence avec la distance (onde guidée  $\rightarrow$  mécanisme non lié à l'atténuation intrinsèque )
  - $\rightarrow$  sous estimation de l'aléa sismique (magnitude séismes historiques)??