



# 20 ans d'enregistrement des mouvements sismiques causés par les séismes de France métropolitaine:

## apports pour la connaissance de l'aléa et du risque sismique



Avec les contributions de:

Bard P.-Y., Beauval C., Bremaud V., Cornou C., Douste-Bacque I., Drouet S., Duverger C., Gélis C., Grunberg M., Guéguen P., Hollender F., Langlais M., Laurendeau A., Maufroy E., Péquegnat C., Perron V., Régnier J., Shible H., Traversa P., Wolyniec D.





## Analyse et prédiction du mouvement du sol *sous séisme* dans les fréquences intéressant le génie civil (0.2-20 Hz)

→ un des objectifs scientifiques du RAP  
à des fins d'estimation de l'aléa et du risque sismique

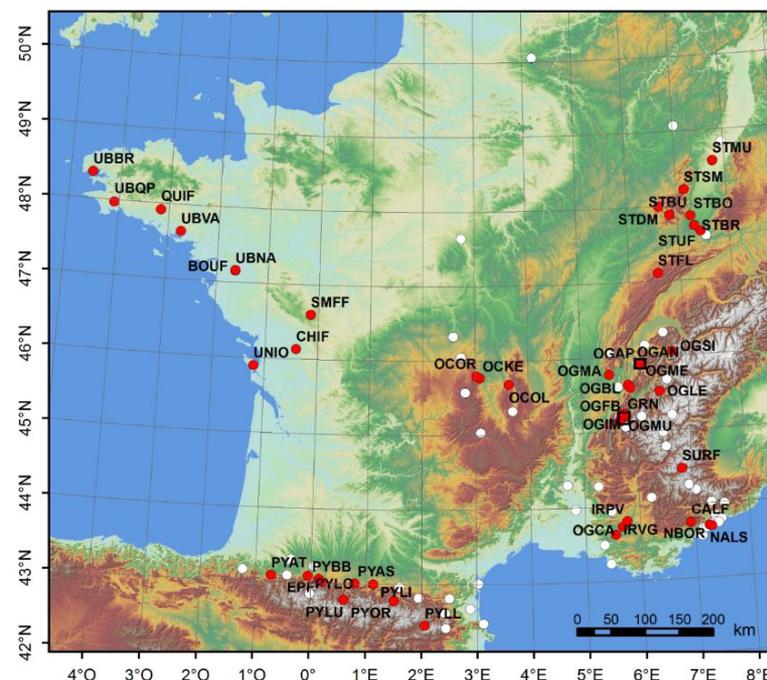
- Compréhension des paramètres physiques qui contrôlent le mouvement du sol en France (effets de source, propagation, site)
- Modélisation (*data-driven* → *physics-based*)

RAP = Accéléromètres pour « *Strong Motion* » (SM)

Implantation:

- zones sismiques les plus actives
- lieux sensibles au risque sismique
  - sites particuliers avec phénomènes d'amplification des ondes
  - zones urbaines à forts enjeux humains, économiques ou environnementaux

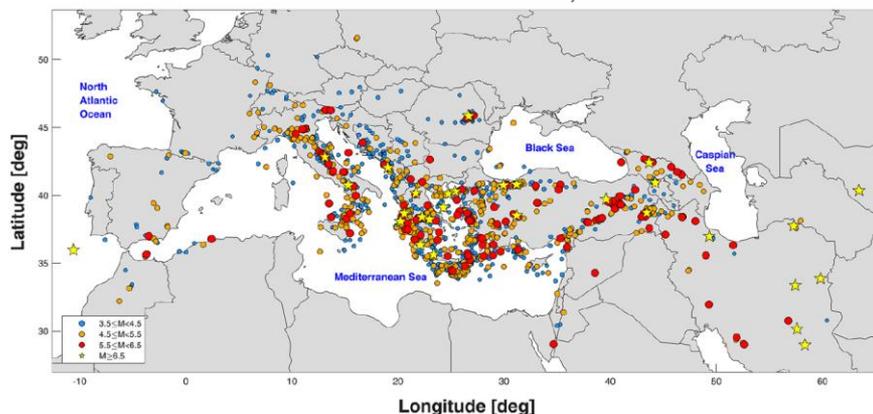
## Stations RAP de métropole



# Introduction



Dataset ESM-EPOS, Lanzano *et al.* 2019



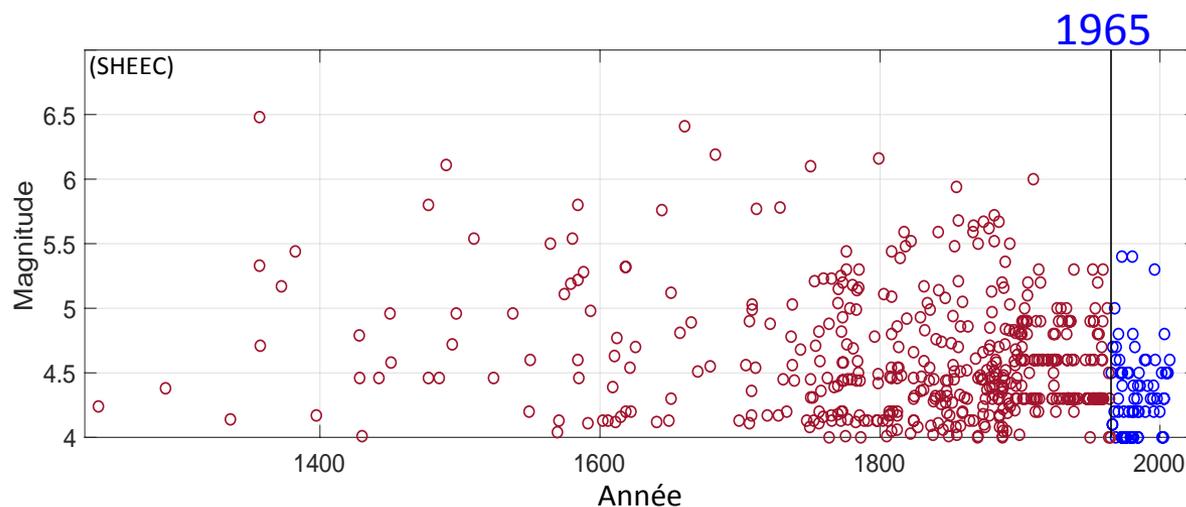
## Focus sur métropole

En pratique:  
Modèles tirés sur données italiennes-grecques-turques, voir globales, faute d'avoir un modèle local (France  $\approx$  1% des données)

## Sismicité faible à modérée

Observation depuis 1965:  
Période calme?  
Dommages faibles au max

Dans le passé:  
mouvements destructeurs



Durée d'observation longue nécessaire, pour des modèles + pertinents.  
On vient d'atteindre **20 ans: bilan** sur la contribution des données de mouvement du sol en France métropolitaine pour la MAJ des estimations de l'aléa sismique.

# Collecte des mouvements du sol sous séisme 1996-2016

- 20 ans de sismicité en France métropolitaine
- Données accessibles par webservices sur portail RESIF

[seismology.resif.fr](http://seismology.resif.fr)

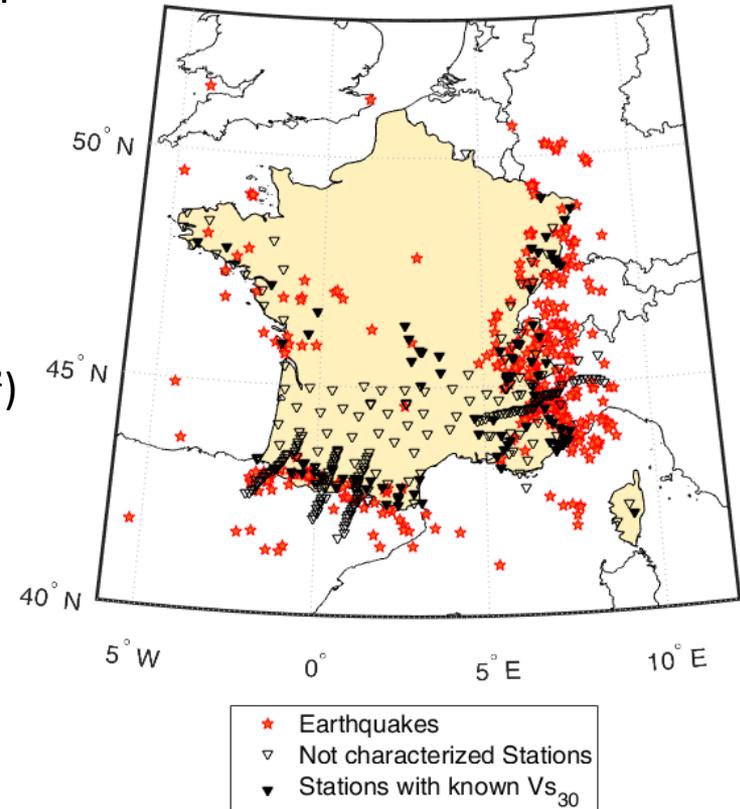
Stations SM et BB:

**RAP + RLBP**  
**+X7 (Pyrope)**  
**+YP (Cifalps)**



+ métadonnées publiées

- Dataset exprimé en accélération (BB convertis en  $m/s^2$ )
- Traitements manuels de validation (visuel & pointés)
- Formes d'onde + **fréquences excitées (SNR>3)**
- Paramètres du mouvement (valeurs-pics, durées, paramètres fréquentiels dans un **flatfile** = inputs pour modélisation, **600 000 champs renseignés**)
- **Contrôle-qualité par analyse des résidus** (par ex. identification des problèmes de gain)
- Dataset versionné (figé et daté): calculs reproductibles
- **Produit RESIF à applications spécifiques (aléa)**



Source: RESIF RAP & RLBP dataset of EGM  
Traversa et al. submitted

# Collecte des mouvements du sol sous séisme 1996-2016

- 20 ans de sismicité en France métropolitaine
- Données accessibles par webservices sur portail RESIF

[seismology.resif.fr](http://seismology.resif.fr)

Stations SM et BB:

**RAP + RLBP**  
**+X7 (Pyrope)**  
**+YP (Cifalps)**

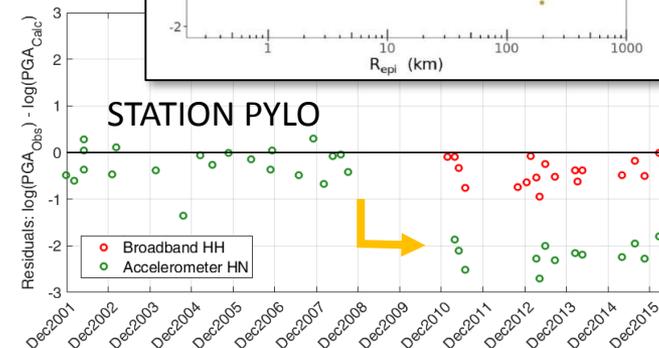
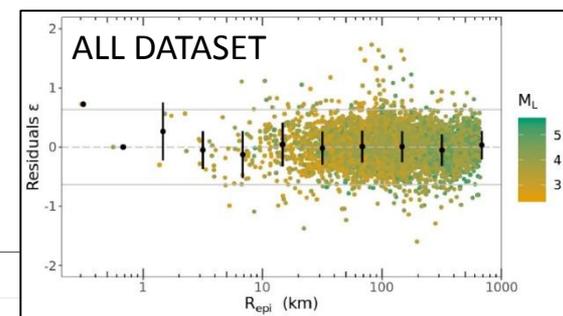
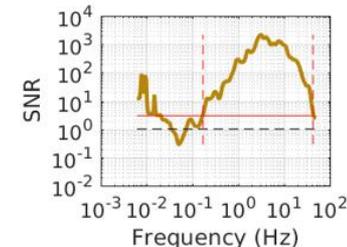
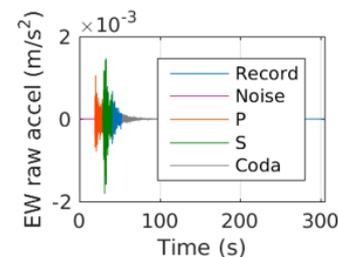


+ métadonnées publiées

- Dataset exprimé en accélération (BB convertis en  $m/s^2$ )
- Traitements manuels de validation (visuel & pointés)
- Formes d'onde + **fréquences excitées (SNR>3)**
- Paramètres du mouvement (valeurs-pics, durées, paramètres fréquentiels dans un **flatfile** = inputs pour modélisation, **600 000 champs renseignés**)
- **Contrôle-qualité par analyse des résidus** (par ex. identification des problèmes de gain)
- Dataset versionné (figé et daté): calculs reproductibles
- **Produit RESIF à applications spécifiques (aléa)**



2012-03-02 07:15:52 SAOF  $M_L=3.8$  à 93 km

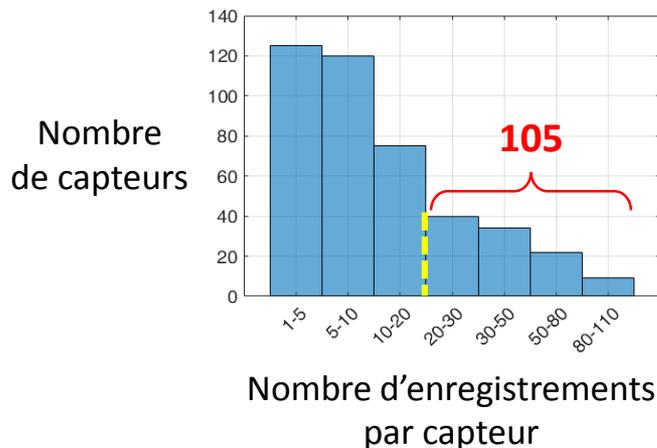


**Source:** RESIF RAP & RLBP dataset of EGM  
 Traversa et al. submitted

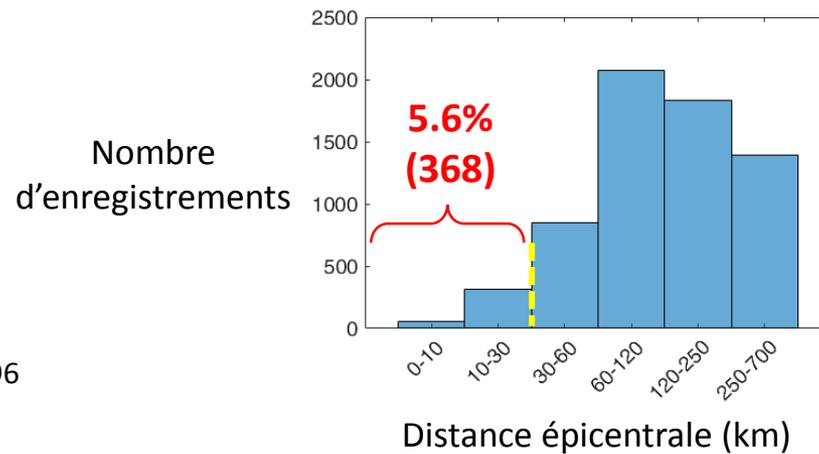
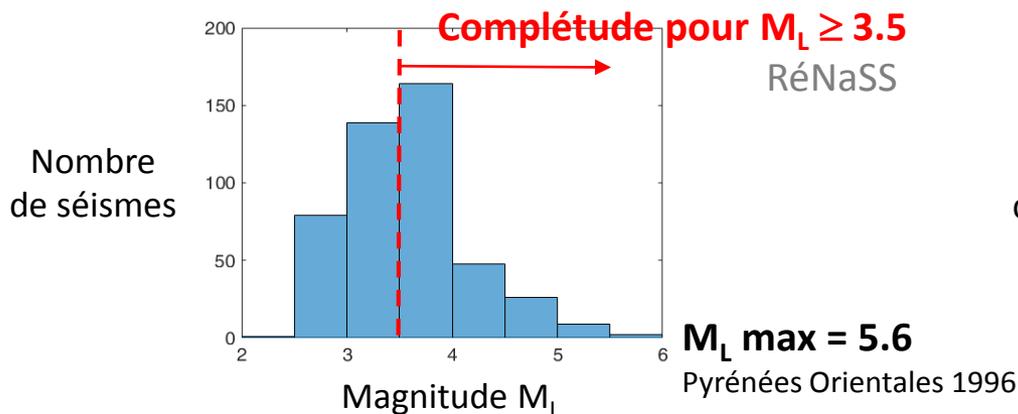
# Collecte des mouvements du sol sous séisme 1996-2016



## STATISTIQUES



- **> 6500** mouvements du sol à qualité validée
- 468 séismes et 379 stations (425 capteurs)
  - dont 177 permanentes (RA+FR)
  - et 202 temporaires (YP+X7)



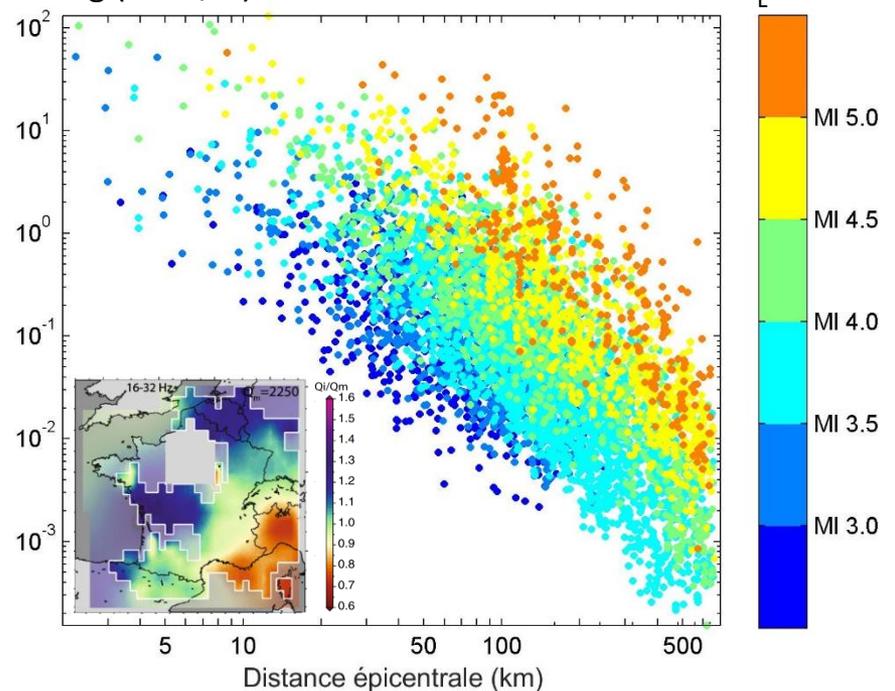
Source: RESIF RAP & RLBP dataset of EGM  
Traversa *et al.* submitted

# Collecte des mouvements du sol sous séisme 1996-2016



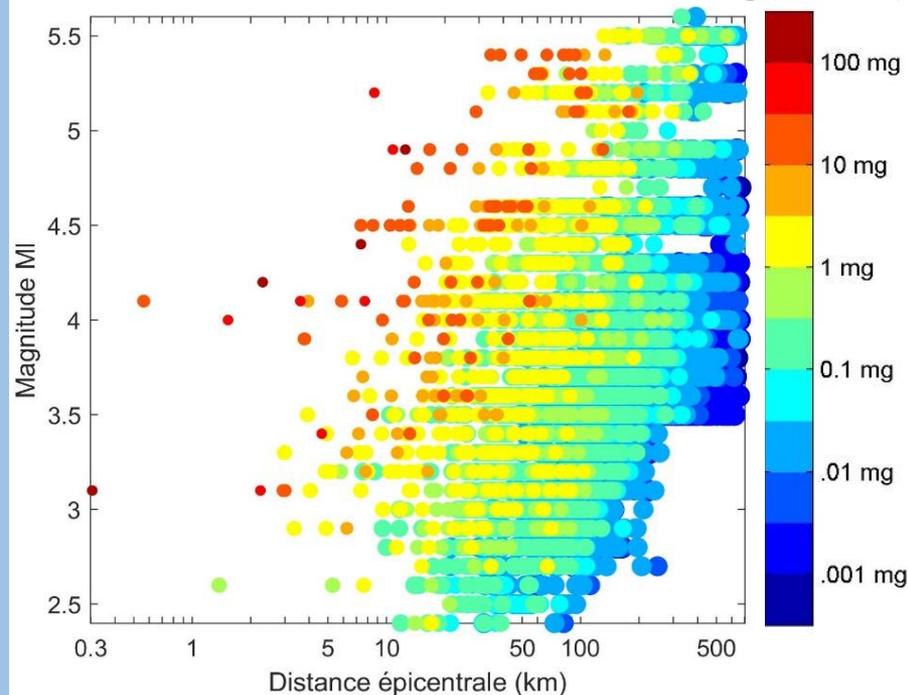
## DECROISSANCE ACC. / DISTANCE

Pic d'accélération en mg ( $\approx \text{cm/s}^2$ )



## ESPACE MAGNITUDE-DISTANCE

Pic d'accélération en mg ( $\approx \text{cm/s}^2$ )



Source: RESIF RAP & RLBP dataset of EGM

Traversa *et al.* submitted

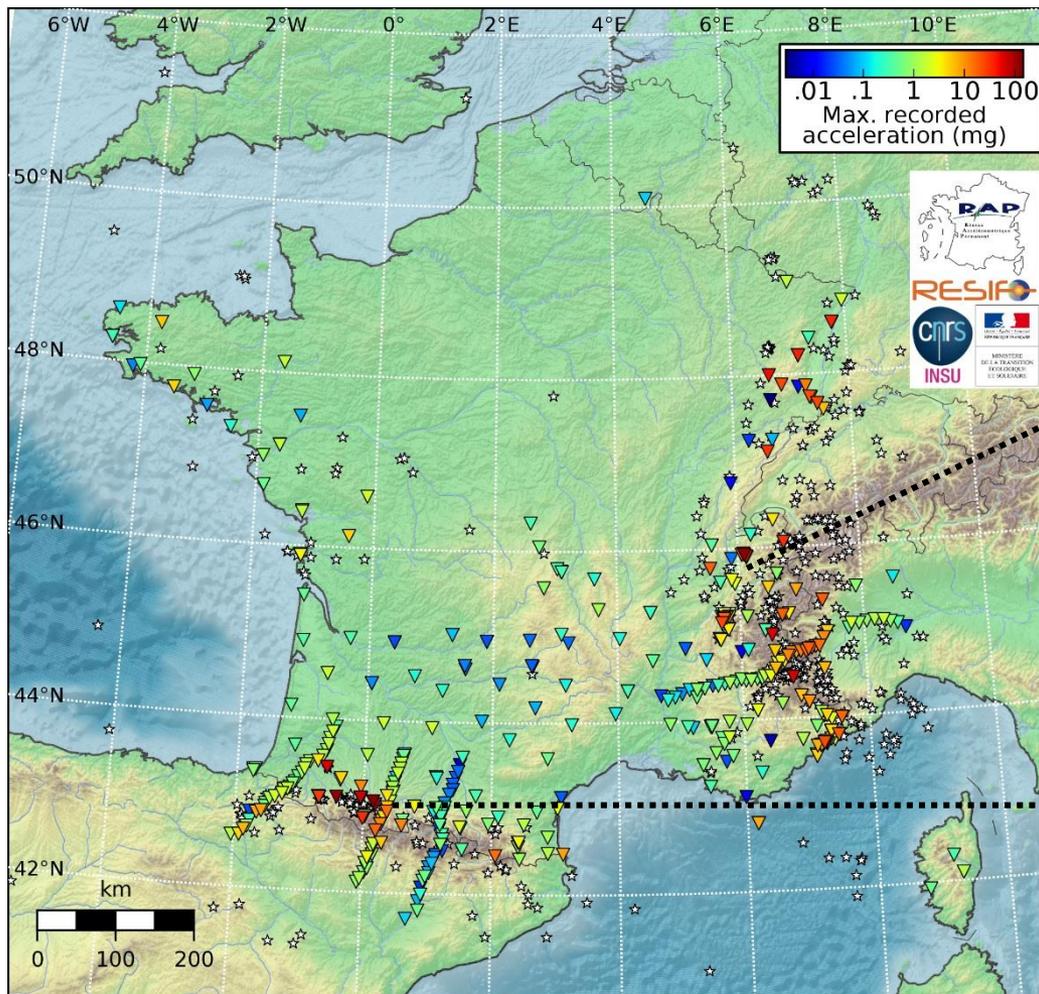
Analyse des caractéristiques spécifiques au territoire français

Test des paramètres de source, atténuation, site (par ex. Mayor *et al.* 2018) → **modélisation**

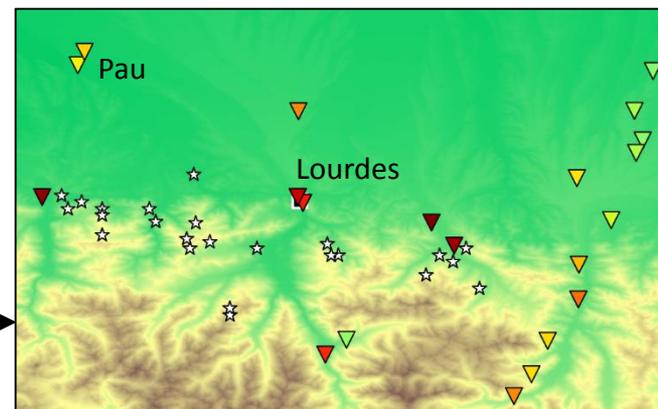
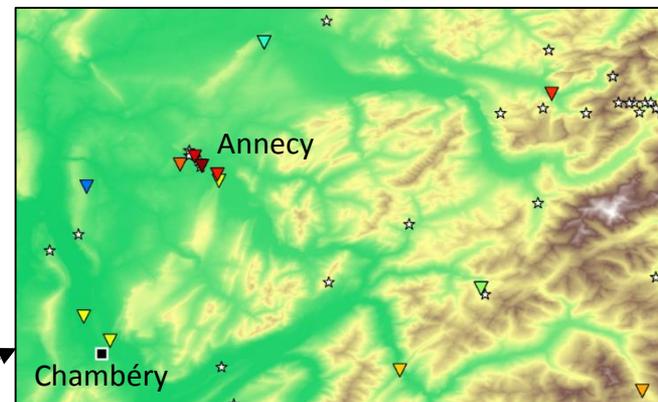
# Accélérations max 1996-2016

## Pic d'accélération max sous séisme par station

Durées d'installation variables: de 2 à 20 ans



## Zooms

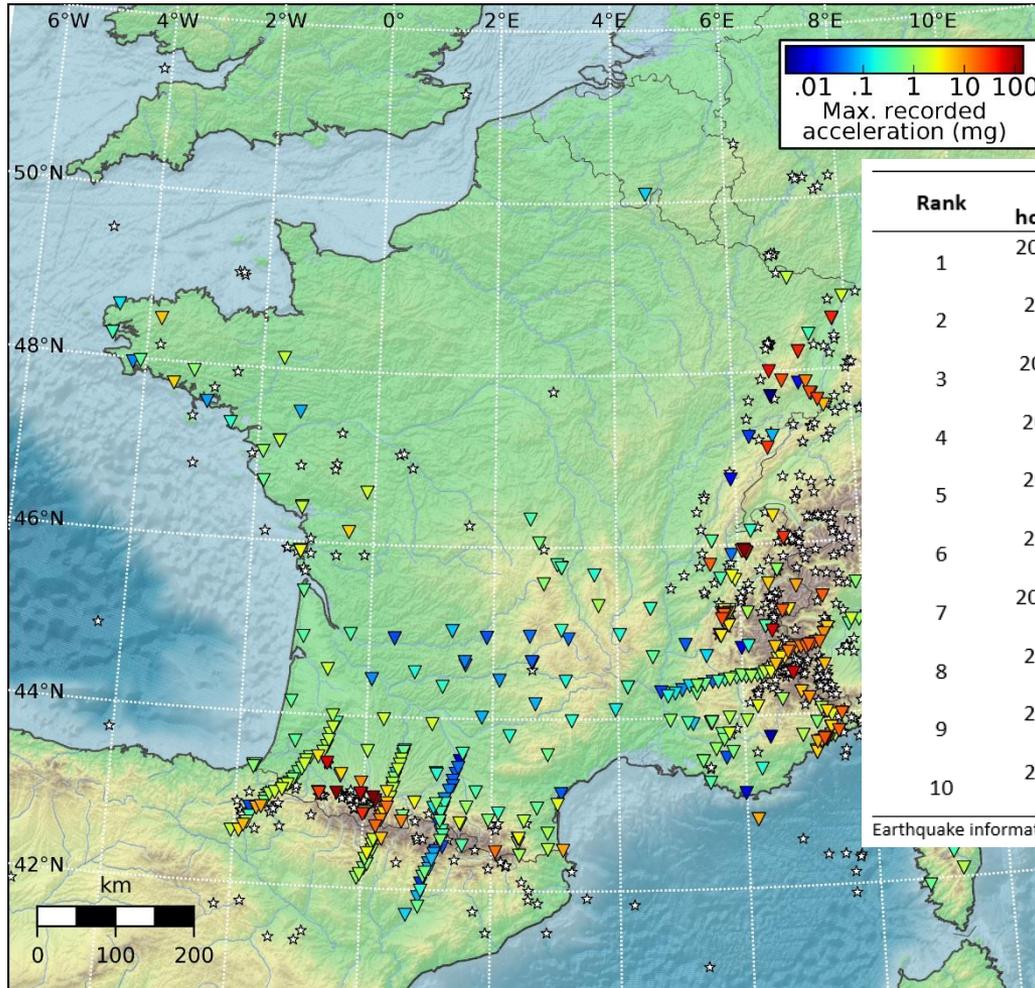


Source: produit du GT RAP Prédiction du mouvement du sol

# Accélérations max 1996-2016

## Pic d'accélération max sous séisme par station

Durées d'installation variables: de 2 à 20 ans



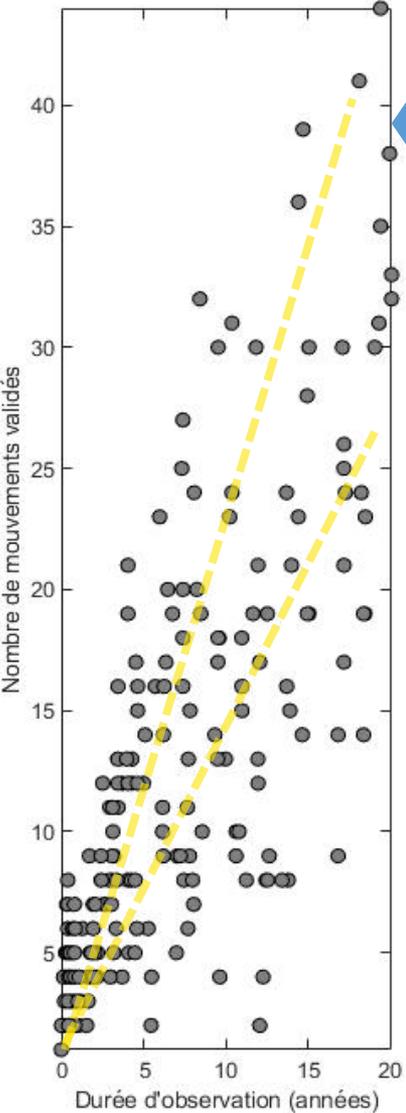
## TOP 10

Rank	Date, hour of event	Magnitude $M_L$	Epicentral distance (km)	RESIF station	Type of sensor	PGA
1	2006, Nov. 17 18:19:50	4.9	12.5	PYBB	Accelerometer	132 mg
2	2013, Apr. 6 20:49:06	3.1	0.3	OGME	Accelerometer	108 mg
3	2003, Jan. 21 18:00:59	4.4	7.4	PYAD	Accelerometer	108 mg
4	2008, Jul. 16 20:33:33	4.2	2.3	PYAD	Accelerometer	106 mg
5	2008, May 3 12:14:21	4.1	7.7	PYCA	Accelerometer	93 mg
6	2002, Sep. 5 20:42:15	4.1	3.6	PYAD	Accelerometer	69 mg
7	2006, Nov. 17 18:19:50	4.9	10.8	PYLO	Accelerometer	65 mg
8	2014, Apr. 7 19:26:59	5.2	8.7	SURF	Accelerometer	58 mg
9	2013, Apr. 6 20:49:06	3.1	2.2	OGEP	Accelerometer	53 mg
10	2007, Oct. 5 06:05:22	3.4	4.6	OGMB	Accelerometer	52 mg

Earthquake information (date, magnitude, location) are from the French ReNaSS catalog. Hour is given in GMT time.

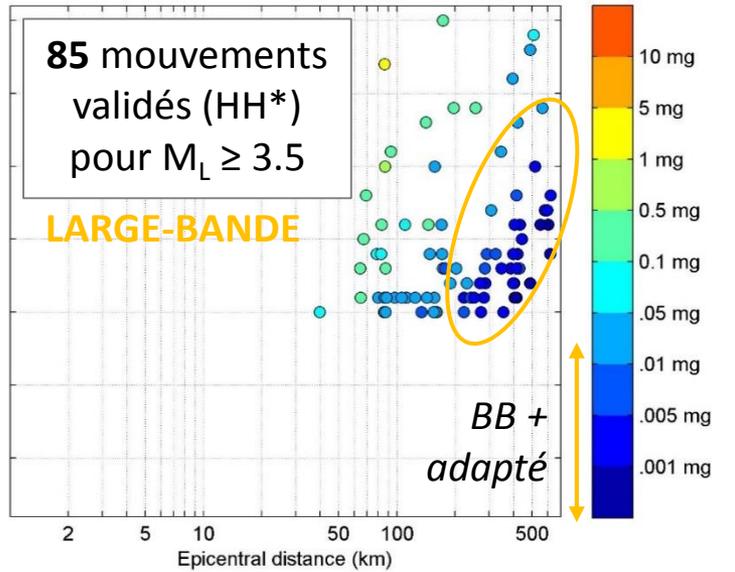
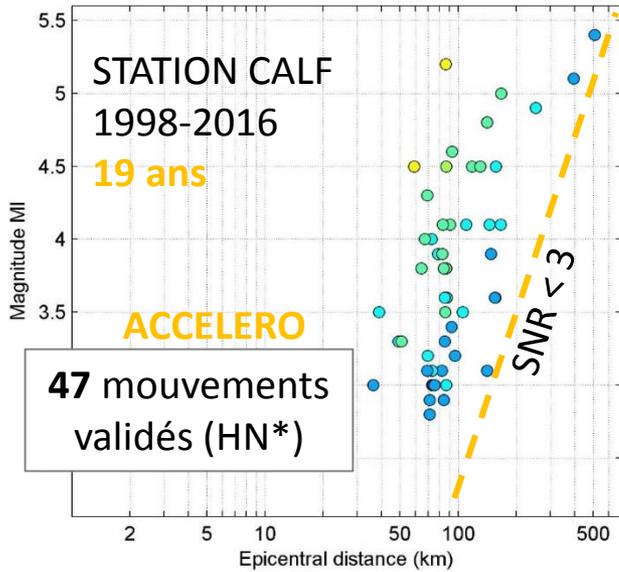
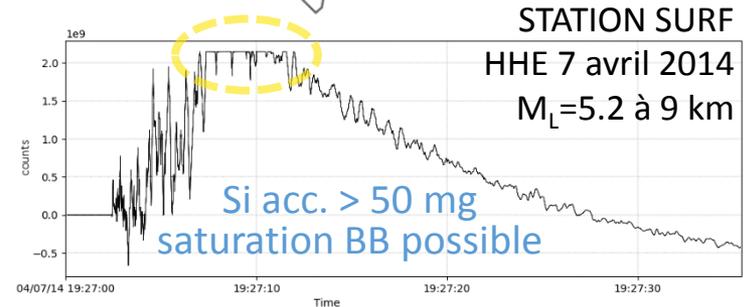
**Source: produit du GT RAP Prédiction du mouvement du sol**

# Impact des réseaux d'observation



$M_L \geq 3.5$  et distance  $\leq 200$  km  
Nombre de mouvements validés:  
 2 ans d'observation = 5  
 10 ans d'observation = 25  
 20 ans d'observation = 40

Complémentarité SM-BB:  
 > 50 mg plutôt SM ( $M_L > 4$  & dist. < 20 km)  
 0.03-50 mg *domaine commun*  
 < 0.03 mg plutôt BB (dist. > 200 km)



# Vers une quantification de l'aléa spécifique à la France

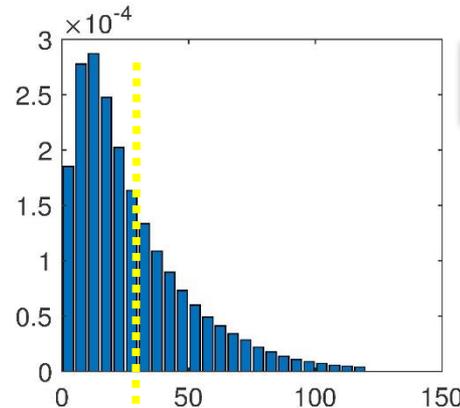
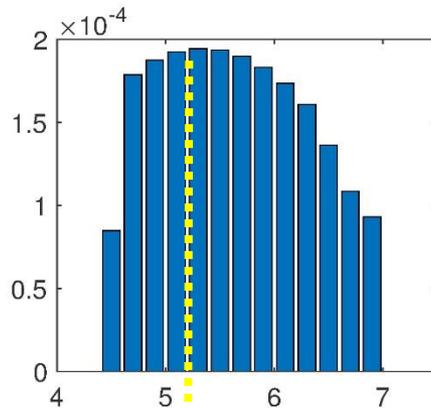


Estimations probabilistes pour l'accélération à 475 ans (10% de dépassement sur 50 ans)

## MAGNITUDE

## DISTANCE

Taux de dépassement annuel



**NANTES**

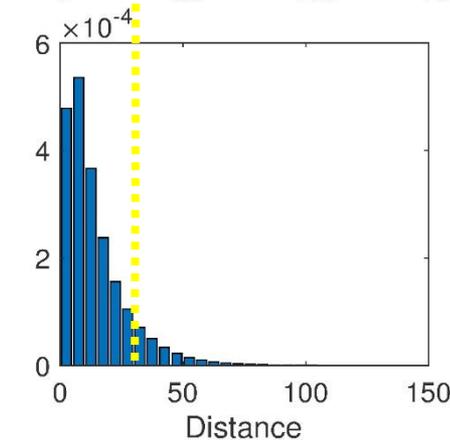
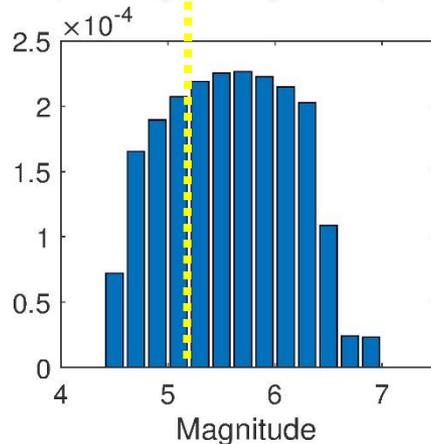
60 mg

Zone de sismicité 3 (sismicité modérée)

En France, séismes qui contribuent à l'aléa:

- aussi les « petites » magnitudes
- distances  $\leq 30$  km

Taux de dépassement annuel



**BRIANCON**

120 mg

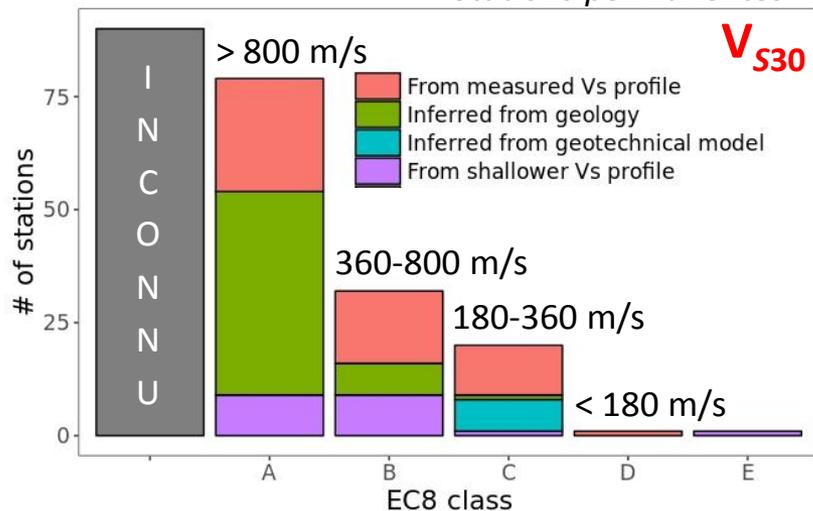
Zone de sismicité 4 (sismicité moyenne)

Beauval *et al.* in rev.

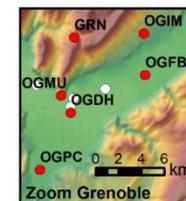
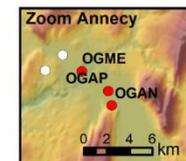
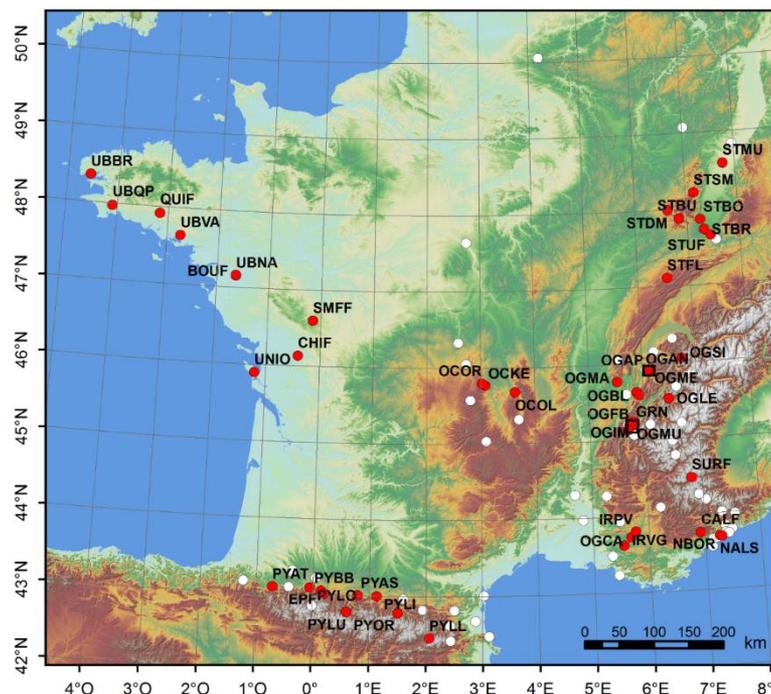
# Vers une quantification de l'aléa spécifique à la France



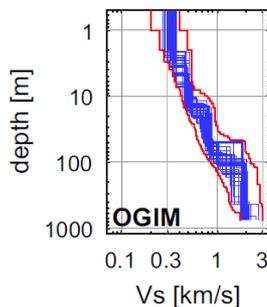
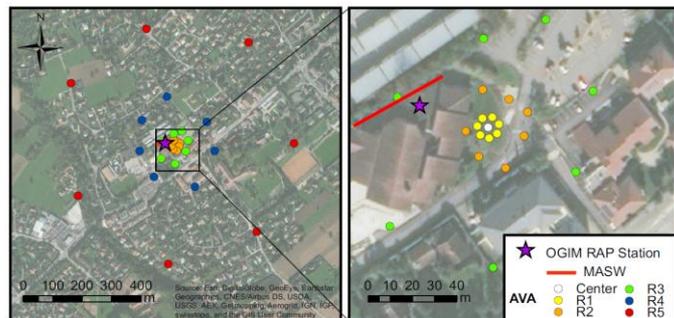
Stations permanentes



## Caractérisation systématique des conditions de site RAP



● Stations caractérisées  
○ Autres stations



Méthodes basées sur les ondes de surface:  
mesures AVA passives et MASW actives  
État d'avancement: 55 sites mesurés (50 traités)

Source: produits du GT RAP Conditions de site  
Hollender *et al.* 2018

# Vers une quantification de l'aléa spécifique à la France

Caractérisation systématique  
des réponses de site

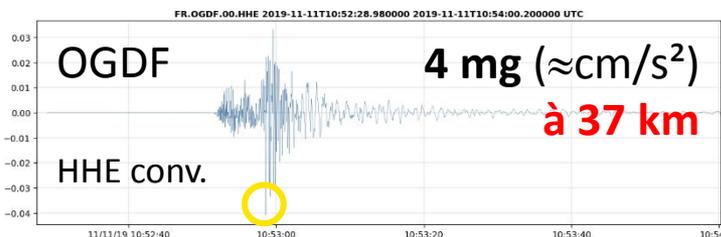
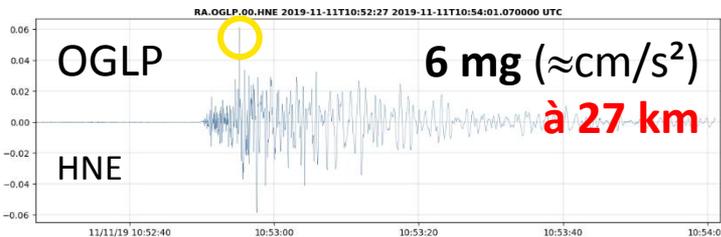
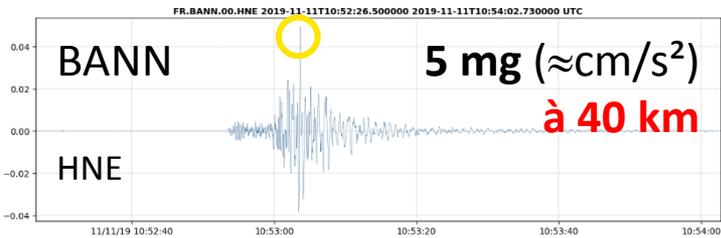


# Vers une quantification de l'aléa spécifique à la France

Caractérisation ~~systematique~~  
des réponses de site

*ET BAM! Séisme... plus le temps de faire la slide prévue*

Magnitude MLv RéNaSS 5.1  
11 novembre 2019 à 11h52 locale

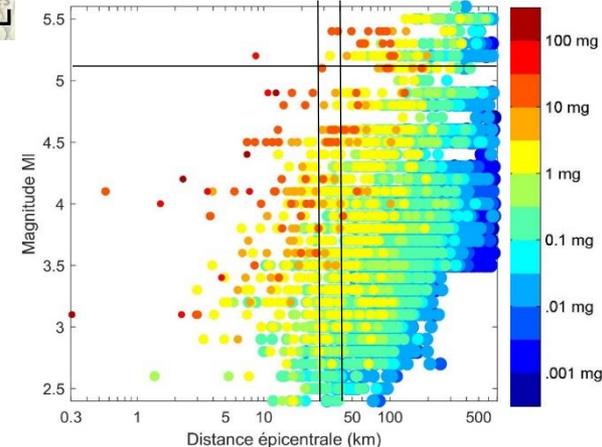
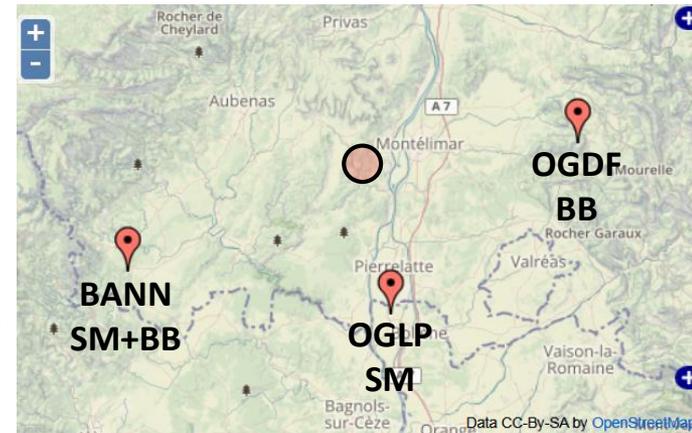


Sismogrammes en unités physiques dispos sur RESIF par webservice timeseries  $\approx$  20 min après le séisme

Accélérations normales pour 40 km

23 février 2004  
M<sub>L</sub> 5.1 (Besançon)  
27 mg à 29 km (STFL)

Commune touchée:  
Le Teil à **3 km**



## Conclusions & Perspectives

En zone de **sismicité modérée**  
comme en France métropolitaine:



**indispensable d'associer réseau BB et réseau SM**

### Mouvements faibles

données nombreuses pour  
mieux contraindre les modèles

### Mouvements forts

au + proche des sources ou sites sensibles  
contribuant directement aux calculs d'aléa

Les 2 ingrédients fondamentaux du PSHA:  
**Modèles de source + Modèles de mouvement du sol**  
**spécifiques au territoire pour réduire les incertitudes**

### Quelques perspectives du RAP:

- Compléter le dataset EGM: années 2017-2019
- Un dataset EGM Antilles? (+ Mayotte?) Caractérisation de 10 stations RAP Antilles en mars 2020.
- Diffusion des conditions de site: expérimentation européenne d'un siteXML
- Démarches parallèles pour données du mouvement en bâtiments

### Liens forts du RAP avec l'ATS:

- Relations accélérations ↔ intensités ↔ shakemaps