

LE RISQUE SISMIQUE ET LA SISMICITÉ LOCALE DANS LE MASSIF PYRÉNÉEN

Matthieu Sylvander et collaborateurs*
Observatoire Midi-Pyrénées
Toulouse

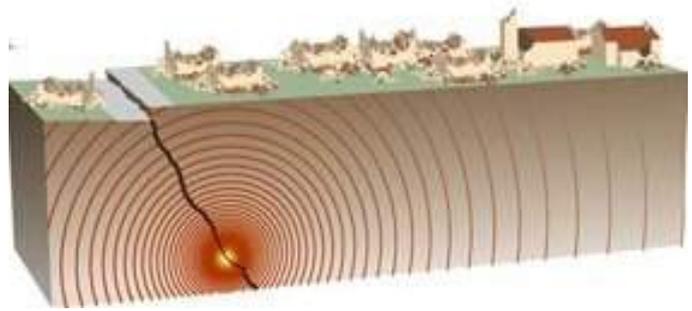
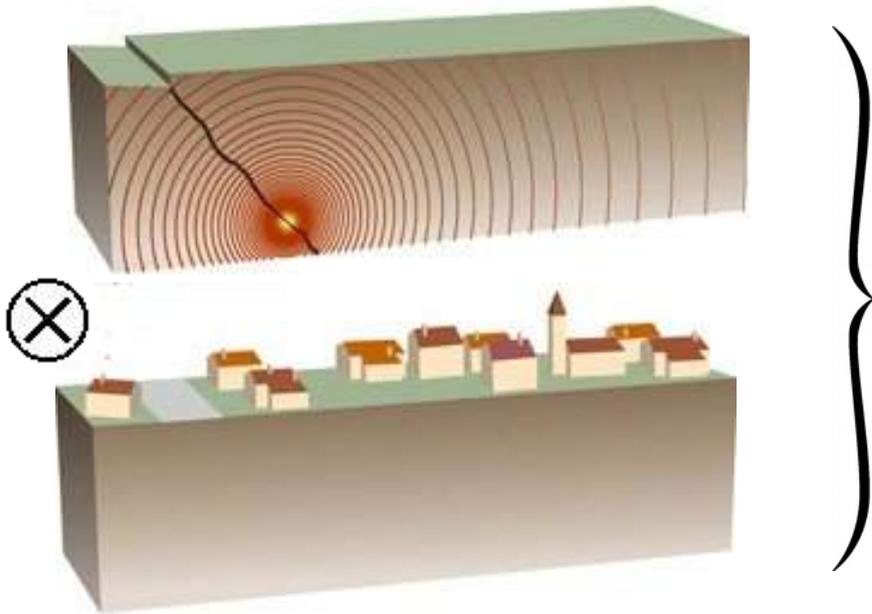
* Sébastien Benahmed, Marie Calvet, Frank Grimaud, Hélène Pauchet, Annie Souriau



ALÉA (danger objectif) ⊗ **ENJEUX** (vulnérabilité) = **RISQUE**

Aléa

- sources sismiques
- propagation/atténuation des ondes sismiques
- amplifications locales = effets de sites



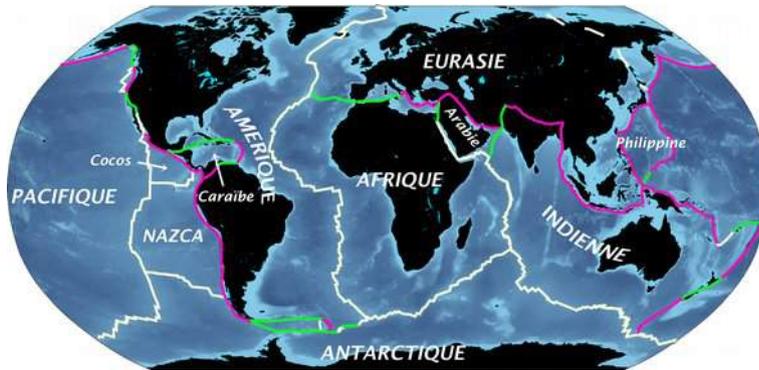
Le risque sismique

Enjeux

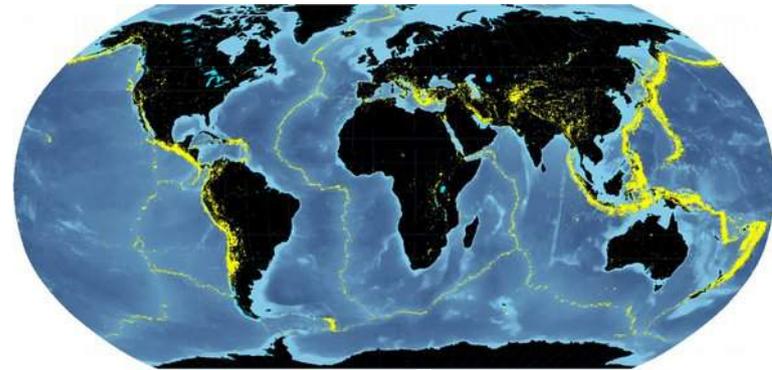
- réponses des bâtiments
- construction parasismique



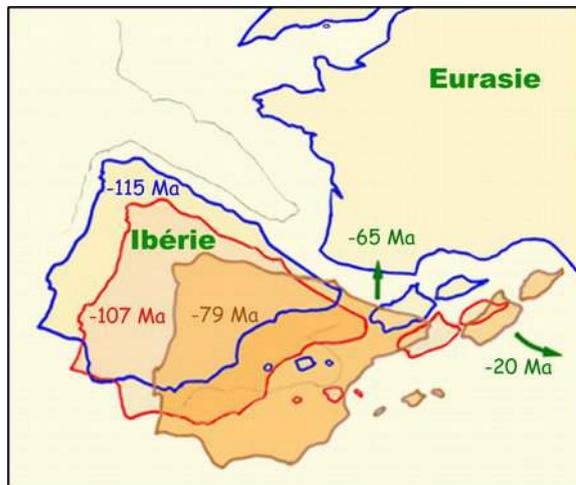
Pourquoi des séismes dans les Pyrénées ? C'est simple...



Les plaques lithosphériques



La répartition mondiale des séismes



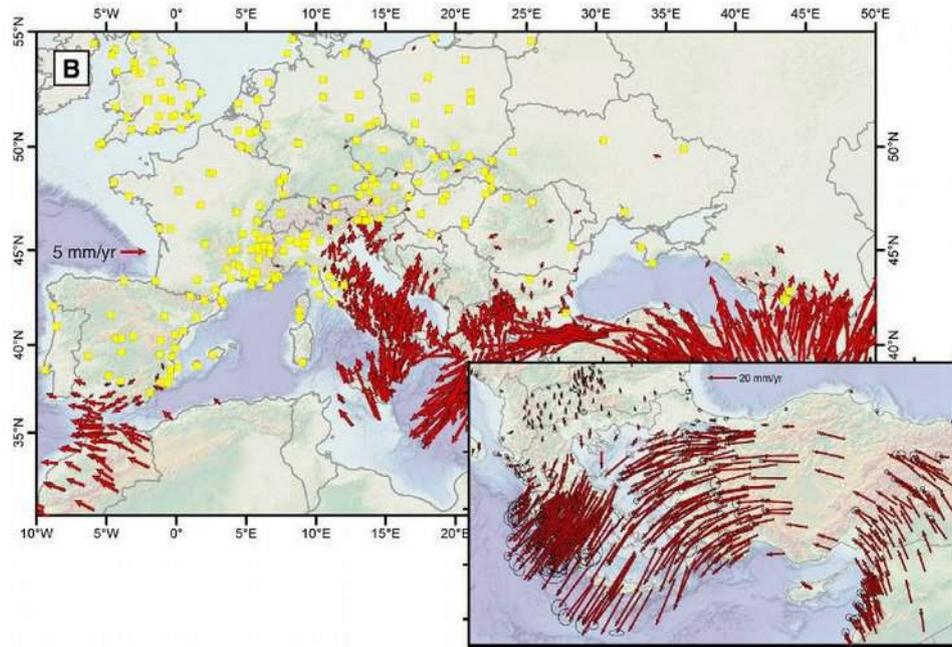
Les Pyrénées sont à la frontière entre deux plaques



Les séismes se produisent aux frontières des plaques

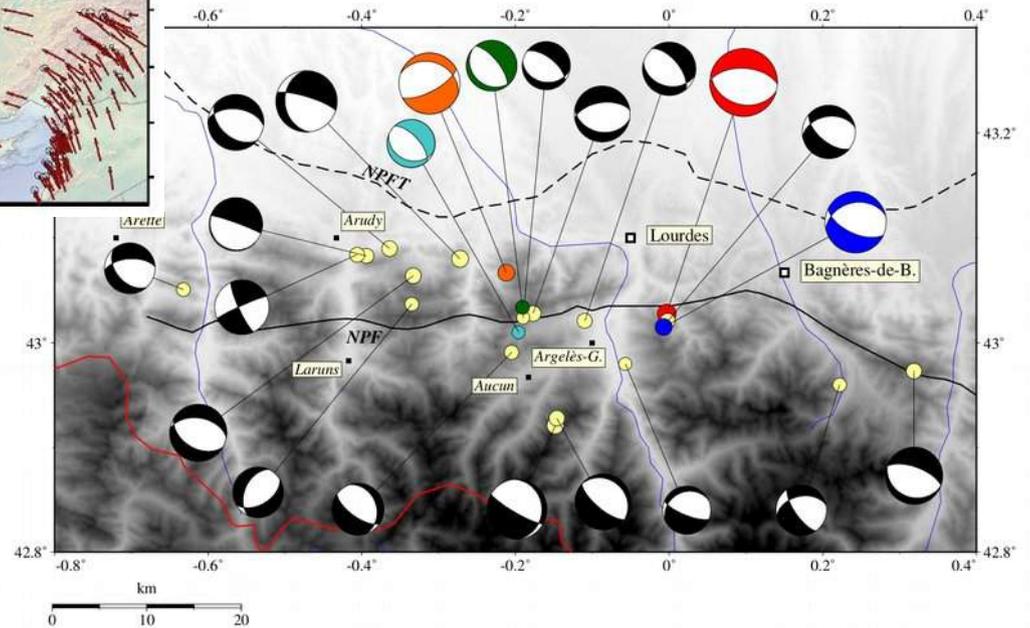


Pourquoi des séismes dans les Pyrénées ? En fait, non...



Vitesses horizontales de déformation (Nocquet, 2012) :
< 0.1mm/an dans les Pyrénées

Mécanismes au foyer des séismes :
de l'extension !



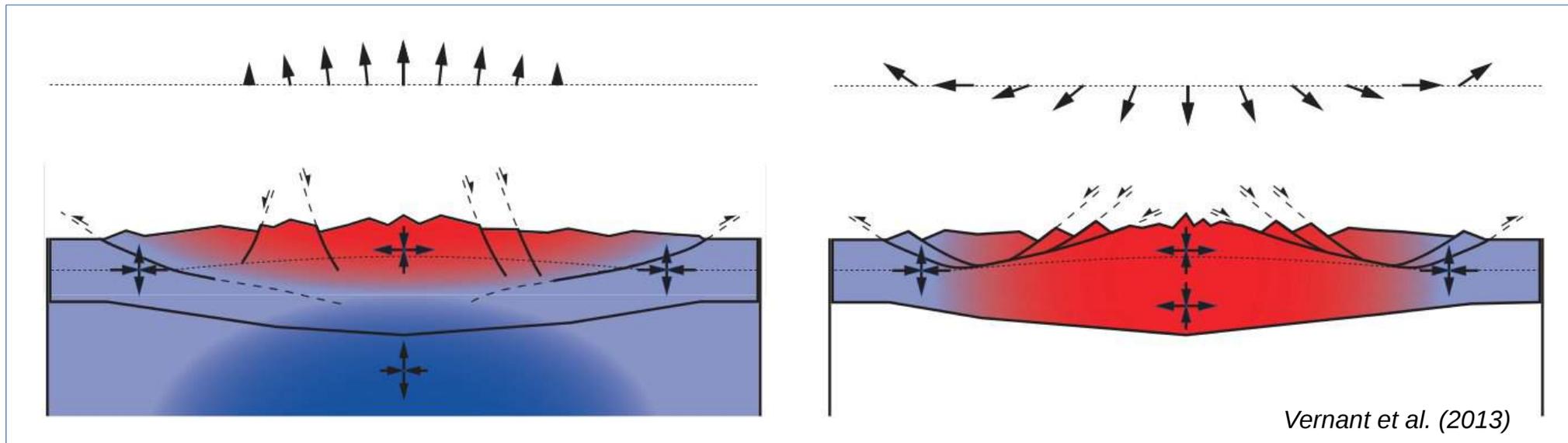


Pourquoi des séismes dans les Pyrénées ?

Ce qu'on dit : mouvement des plaques

Ce qu'on observe (dans les Pyrénées) : mouvements horizontaux des plaques et déformations quasi nuls, mécanismes extensifs

Raison : mouvements **verticaux**



Les mouvements verticaux dans une chaîne de montagne peuvent être principalement dus à l'érosion/dénudation (gauche) ou à l'effondrement gravitaire (droite) : des mouvements *extensifs* se produisent alors.

Pour une chaîne à faible croissance, le mécanisme de réajustements dus à l'érosion est le plus probable.



Que se passe-t-il lors d'un tremblement de Terre ?

Rupture sur un plan de faille

Vitesse de rupture : environ 3 km/s

Surface rompue et jeu sur la faille : conditionnent la quantité d'énergie libérée



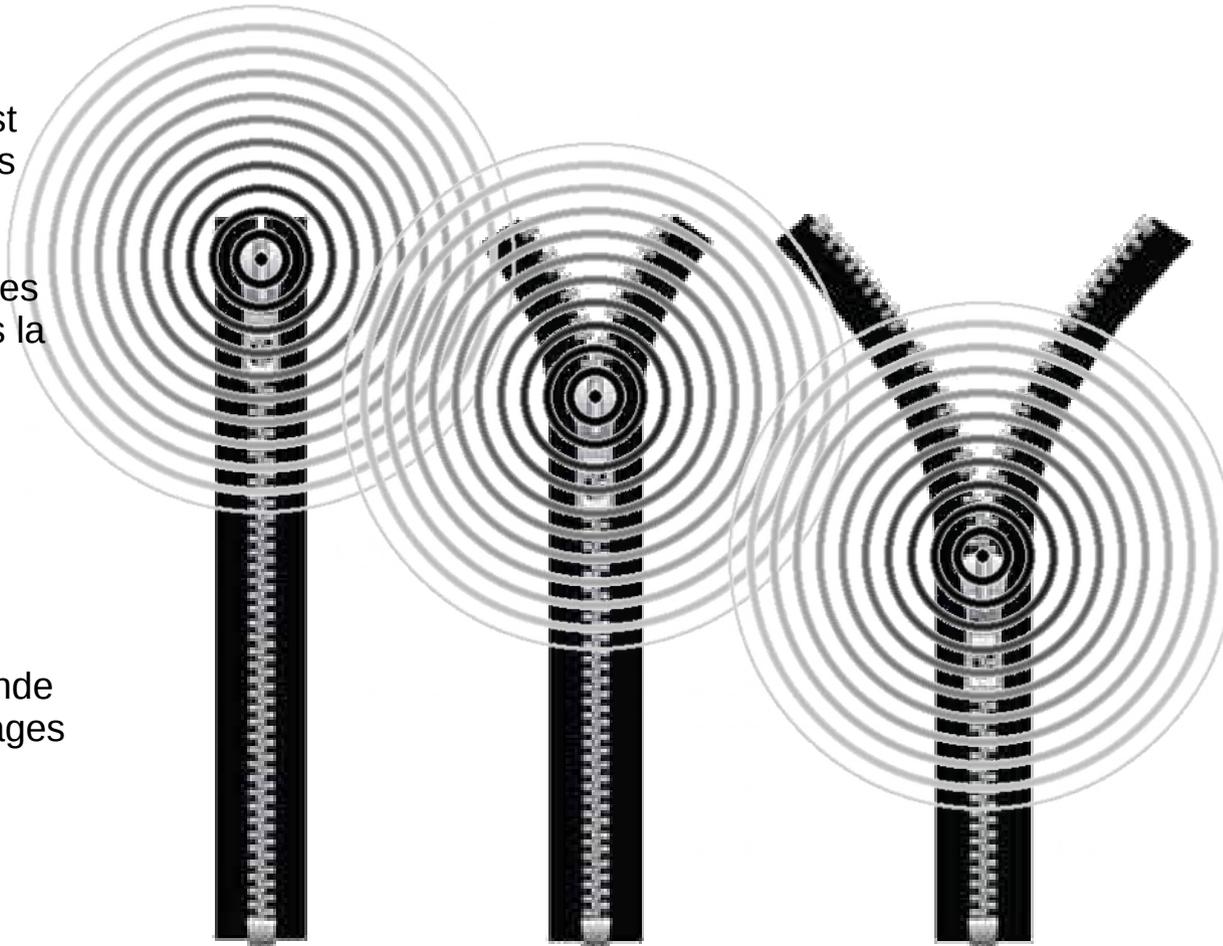
Longueur	Durée	Magnitude
100 m	0.03 s	M = 1-2
1 km	0.3 s	M = 3-4
100 km	30 s	M = 7-8
1000 km	300 s	M = 9-9.5



Que se passe-t-il lors d'un tremblement de Terre ?

L'énergie libérée l'est essentiellement sous forme d'**ondes sismiques**, qui la propagent dans toutes les directions depuis la source

Ce sont ces ondes sismiques qui occasionnent la grande majorité des dommages



Leur enregistrement permet la **localisation** de la source, le calcul de l'**énergie** libérée, la compréhension du **mécanisme**

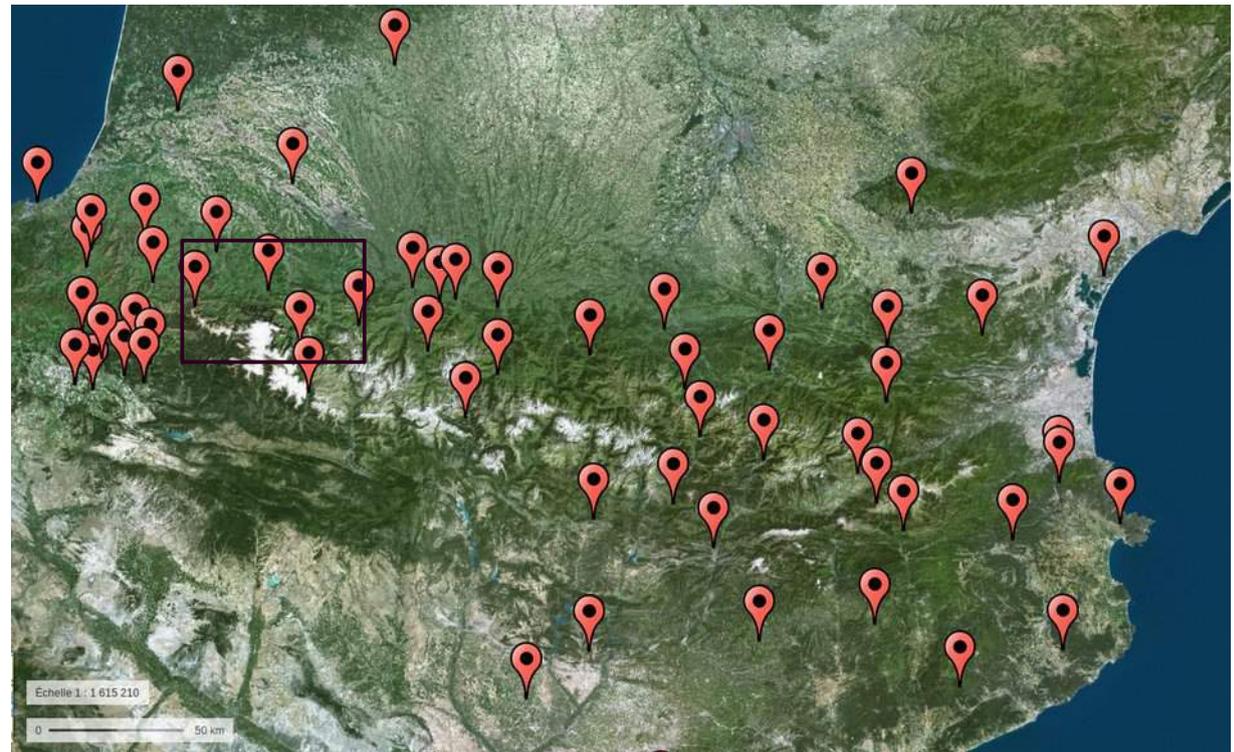
Les ondes sismiques : à la fois vecteurs de l'aléa et précieuses sources d'information



Localiser les séismes : les réseaux de surveillance



Années 1970-1980 : un réseau très local centré sur **Arette** (9 stations)



2020 : environ 100 stations de part et d'autre de la frontière

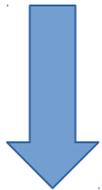


Localiser les séismes : les réseaux de surveillance

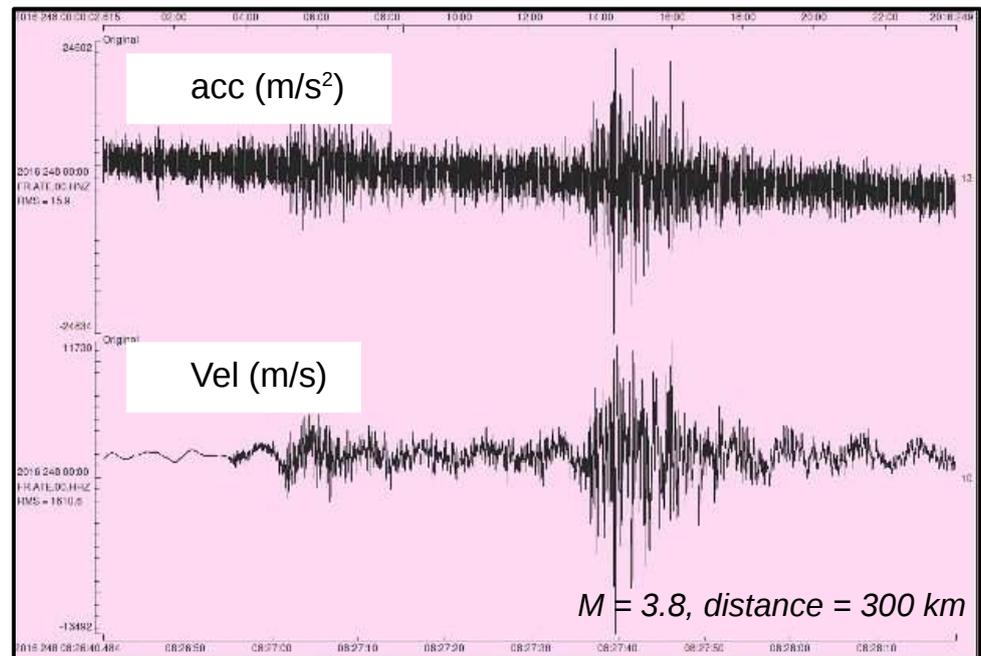
Vélocimètre ? accéléromètre ?

Selon les objectifs, on peut utiliser différents types de capteurs :

- les vélocimètres : enregistrent la **vitesse** de déplacement du sol au passage d'une onde sismique. Plus sensibles, ils peuvent saturer sur de très forts signaux
- les accéléromètres : enregistrent l'**accélération** du sol. Ils ne saturent pas, mais sont beaucoup moins sensibles.

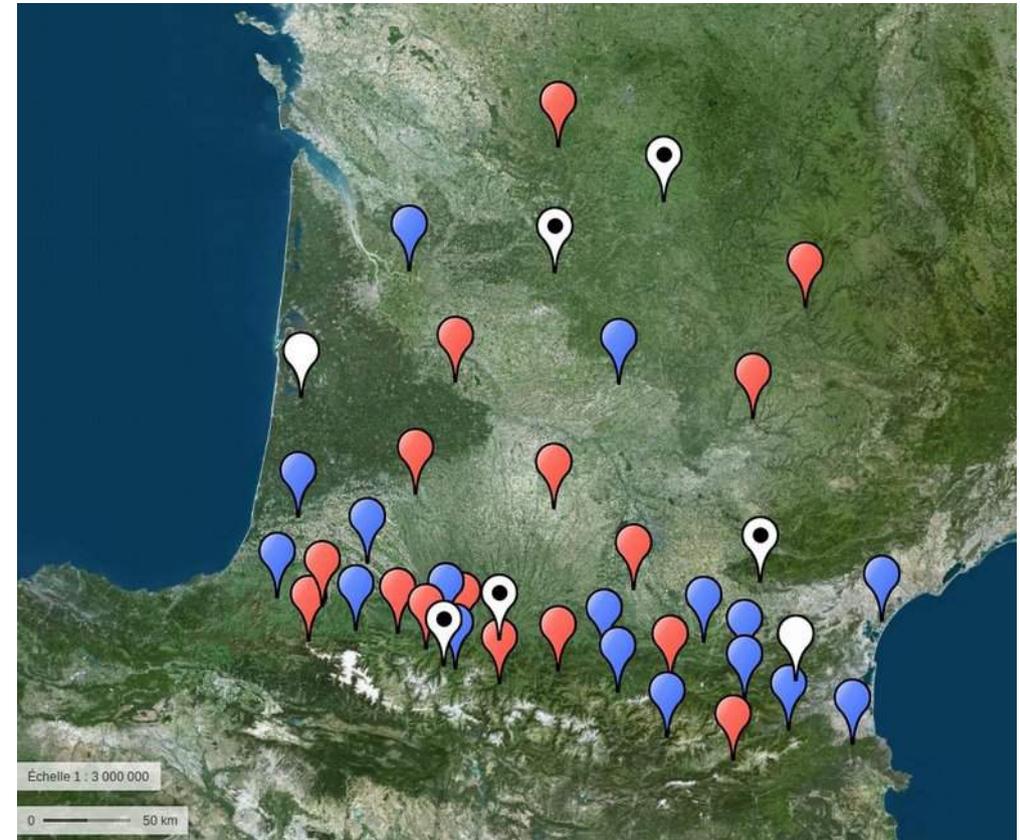
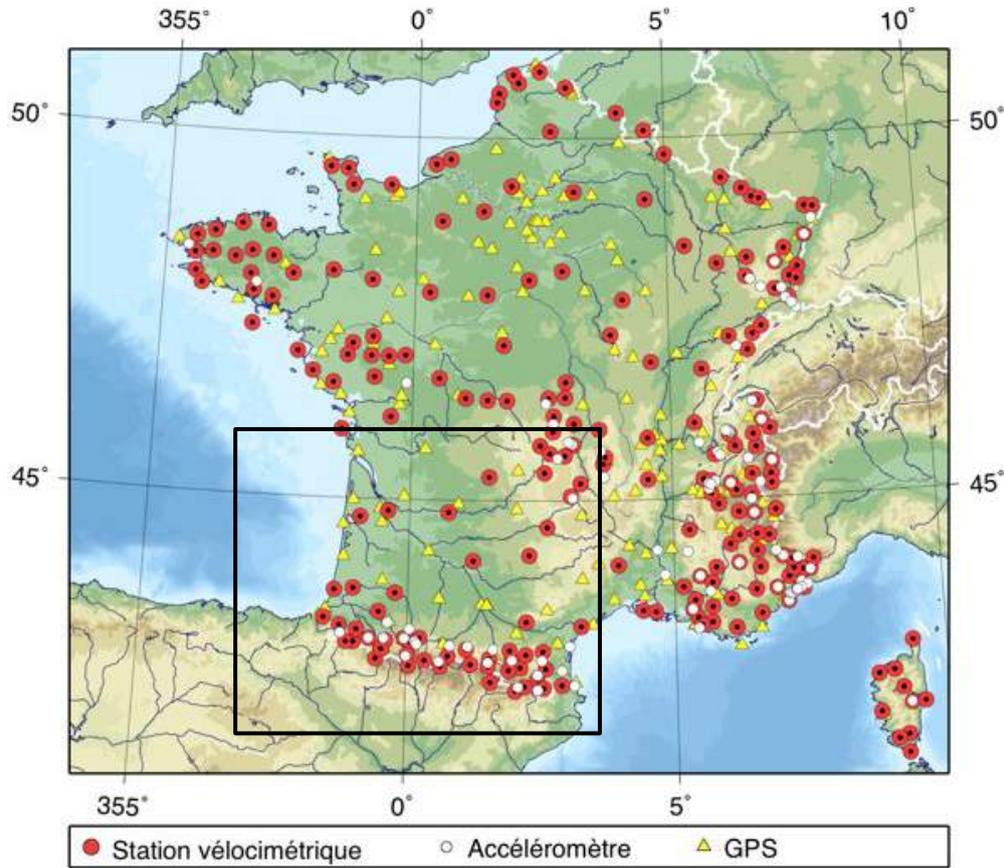


Les accéléromètres sont réservés à l'enregistrement des **mouvements forts**.





Localiser les séismes : les réseaux de surveillance



RESIF : Réseau Sismologique Français

135 stations vélocimétriques en 2019
www.resif.fr

RESIF-OMP

35 stations vélocimétriques en 2019



Localiser les séismes : les réseaux de surveillance



Localiser les séismes : les réseaux de surveillance

RESIF s'accompagnera de diffusion vers le public : bulletins/catalogues (aujourd'hui RéNaSS / CEA-DASE), shakemaps (aujourd'hui SISPy), enquêtes (BCSF)

L'alerte est assurée par le CEA-DASE



Réseau du CEA-DASE

Formulaire d'enquête Internet BCSF

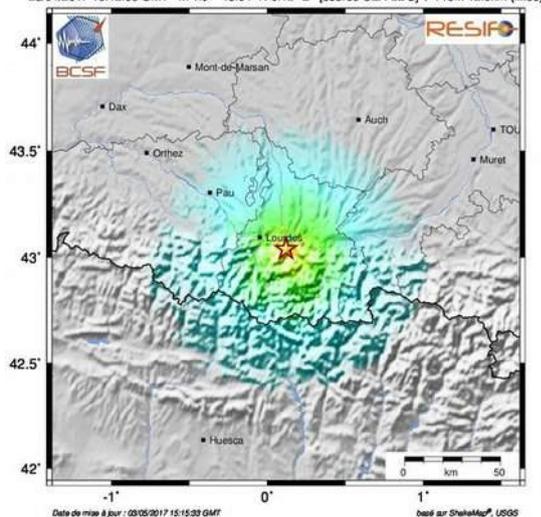
www.franceseisme.fr



BCSF

Estimation régionale de la secousse (à partir des données macro-sismiques et instrumentales)
Séisme du 26/04/2017 17h12 (heure locale)

26/04/2017 15:12:09 GMT M 4.0 43.04°N 0.12°E [source CEA-LDG] / Prof.: 12.0km (fixée)



Intensité EMS98	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+
Dégâts potentiels sismiques traditionnels	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	modérés	nombreux effondrements partiels	nombreux effondrements partiels	nombreux effondrements partiels	effondrements généraux
Dégâts potentiels sismiques par volutes	aucun	aucun	aucun	aucun	aucun	très légers	modérés	effondrements partiels	effondrements partiels	nombreux effondrements
Perception humaine	aucune	très faible	faible	modérée	forte	brutale	très brutale	aterrante	vibrante	extrême

Contour de carte	Ne sert pas à la carte	Type d'observation
○	+	Intensité d'après données macro-sismiques (témoignages libre-mer)
△	+	Intensité issue d'une conversion à partir du PGA (PGA générale, instrumentale)
		Conversion PGA, PGA / Intensité basée sur Dapri et al. 2010

Localiser les séismes : les réseaux de surveillance

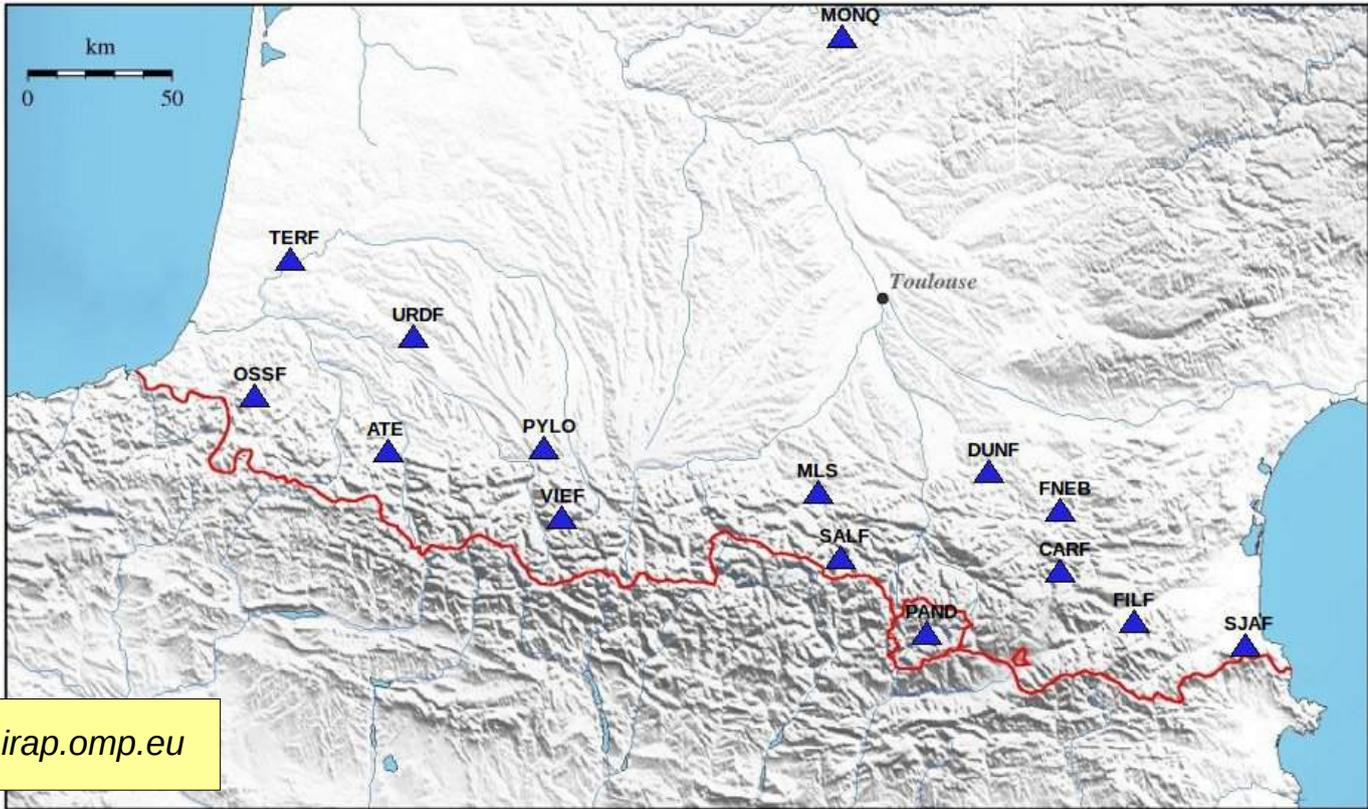
Choix de la période :

Une journée d'enregistrement , , le septembre

OU

Le signal courant (4 dernières heures)

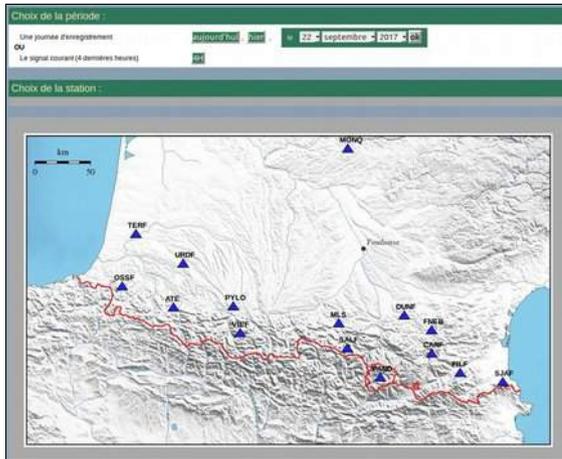
Choix de la station :



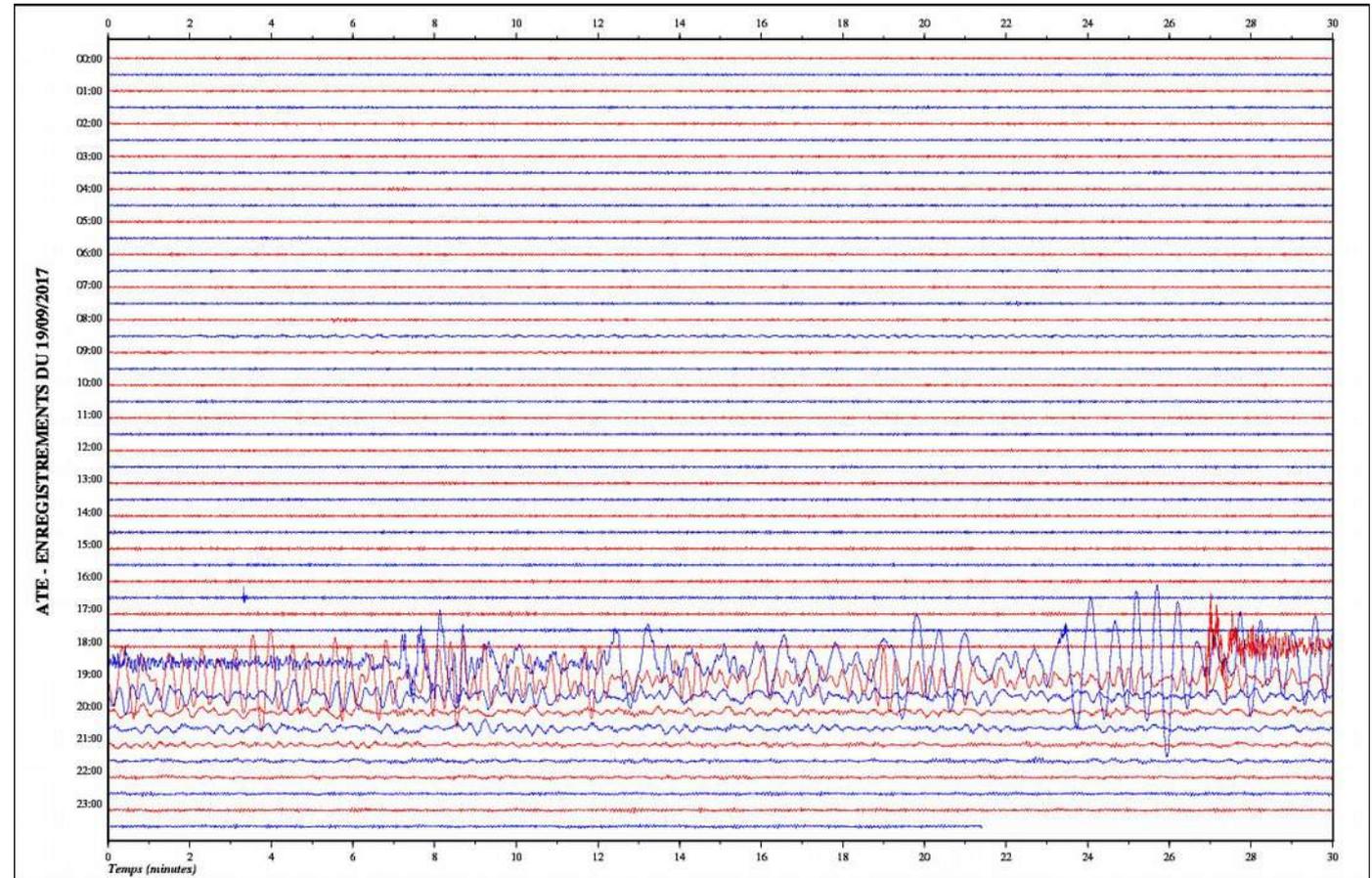
<http://rssp.irap.omp.eu>



Localiser les séismes : les réseaux de surveillance



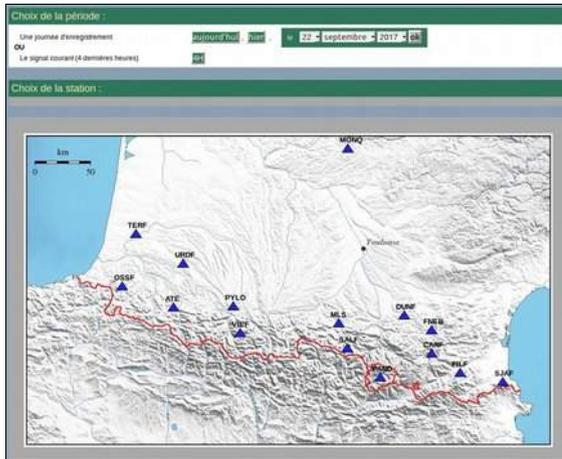
<http://rssp.irap.omp.eu>



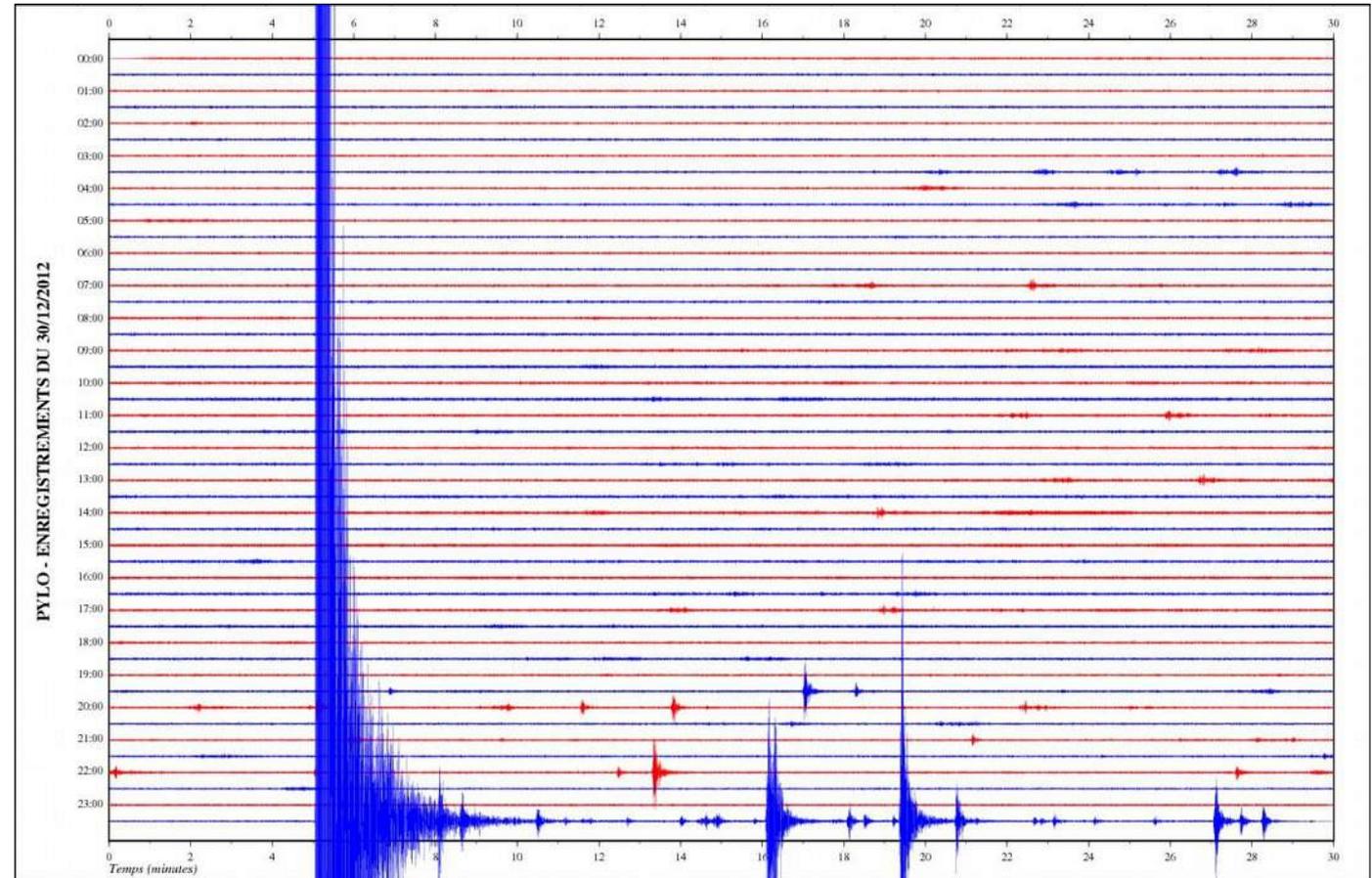
Séisme du Mexique (19 septembre 2017)



Localiser les séismes : les réseaux de surveillance



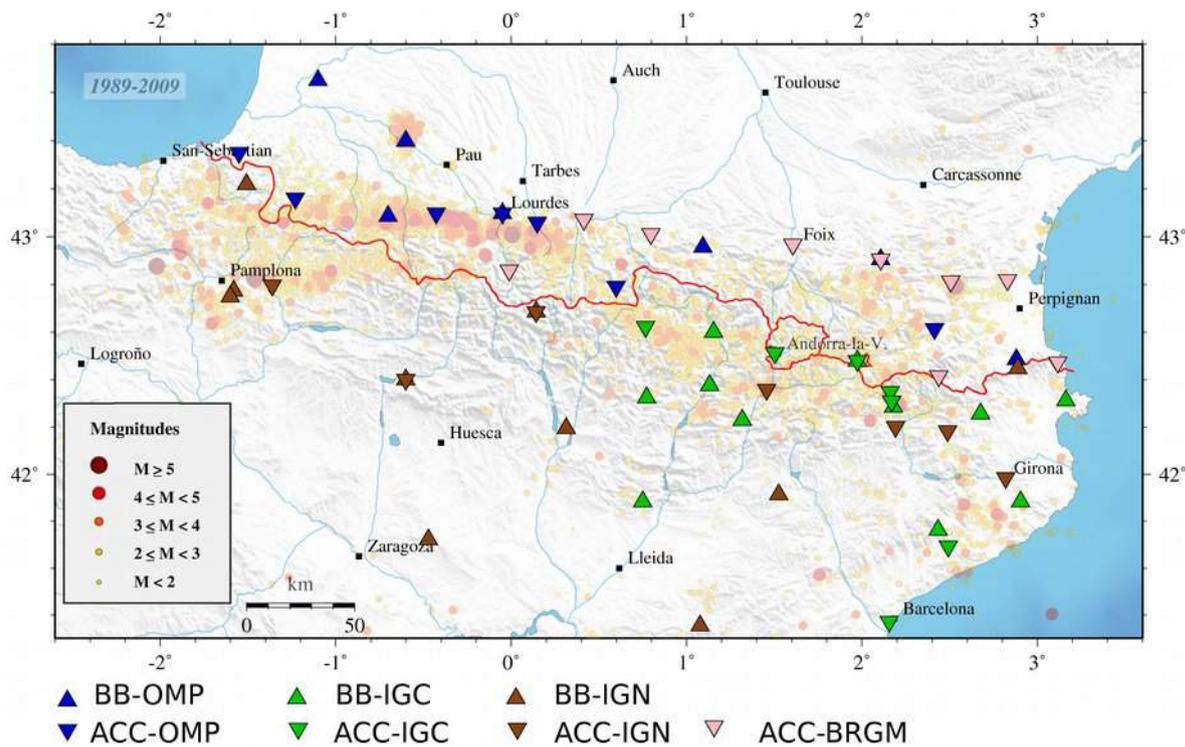
<http://rssp.irap.omp.eu>



Séquence sismique d'Aucun (30/12/2012)

Le projet SISPy (EFA 2007/213)

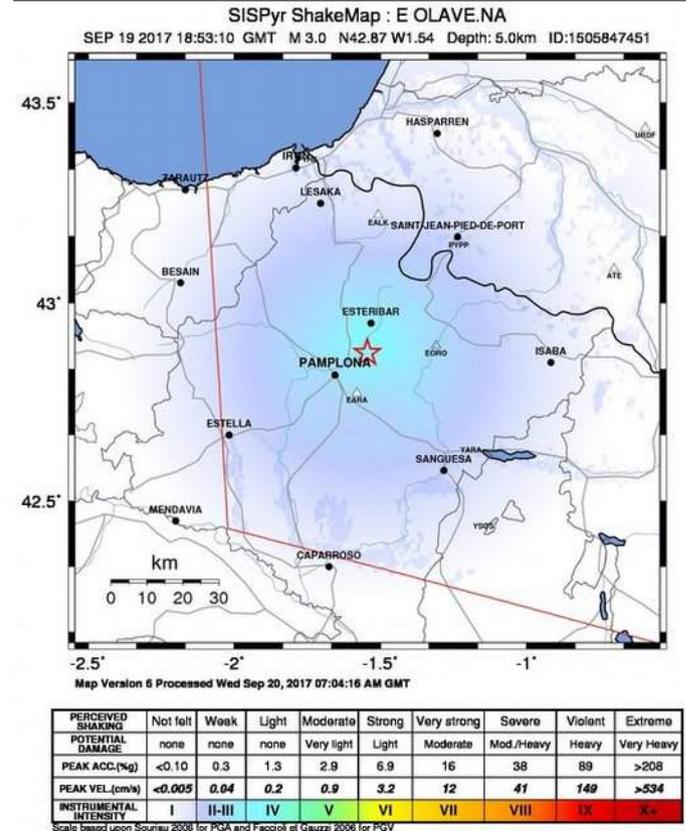
Réseau pyrénéen virtuel : échange de données temps réel



Et aussi :

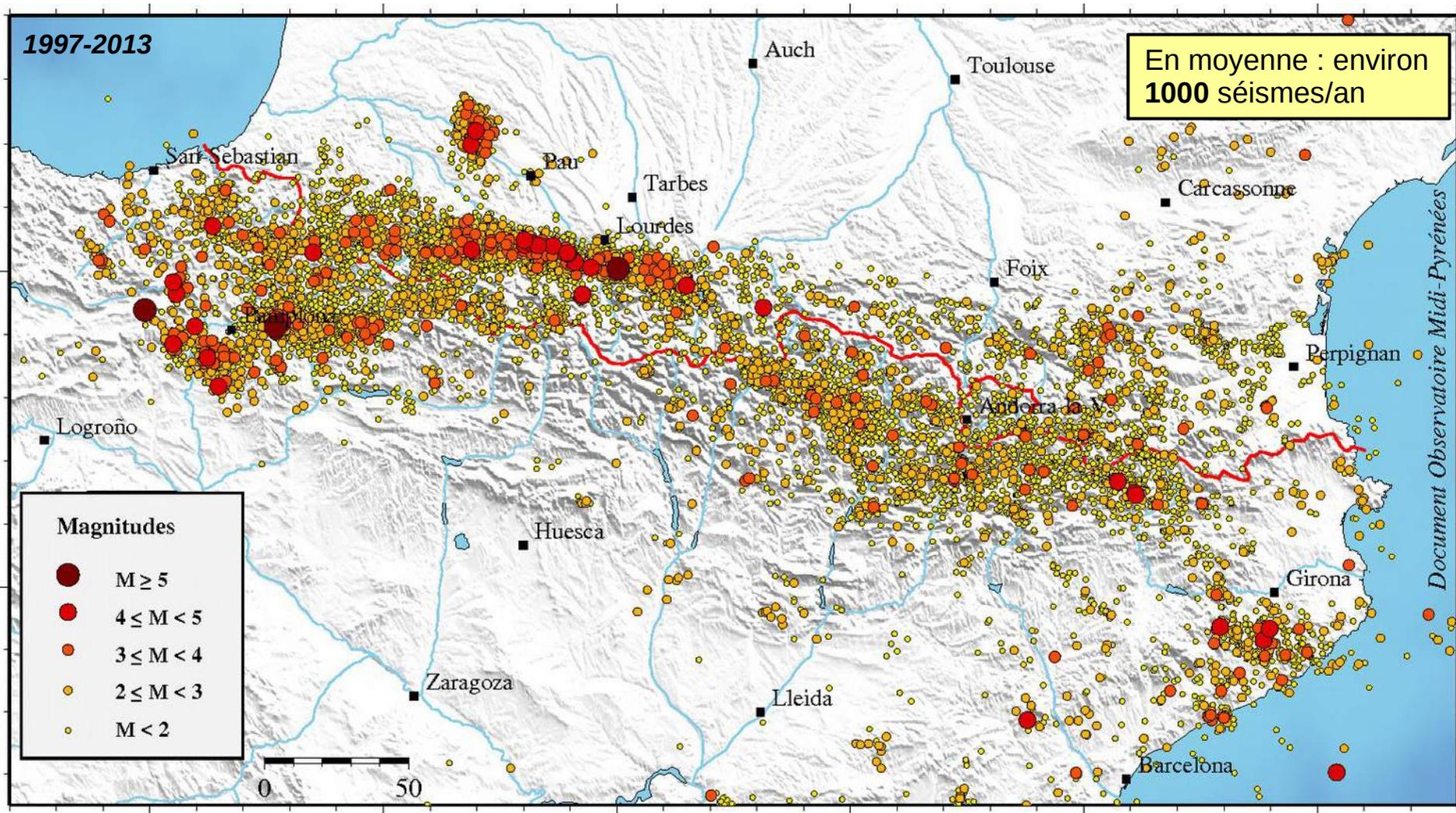
- travaux de recherche (atténuation, mécanismes)
- faisabilité d'un dispositif d'alerte précoce
- scénarii de risque (microzonages, vulnérabilité)

Un outil opérationnel : les shakemaps SISPy



La sismicité instrumentale

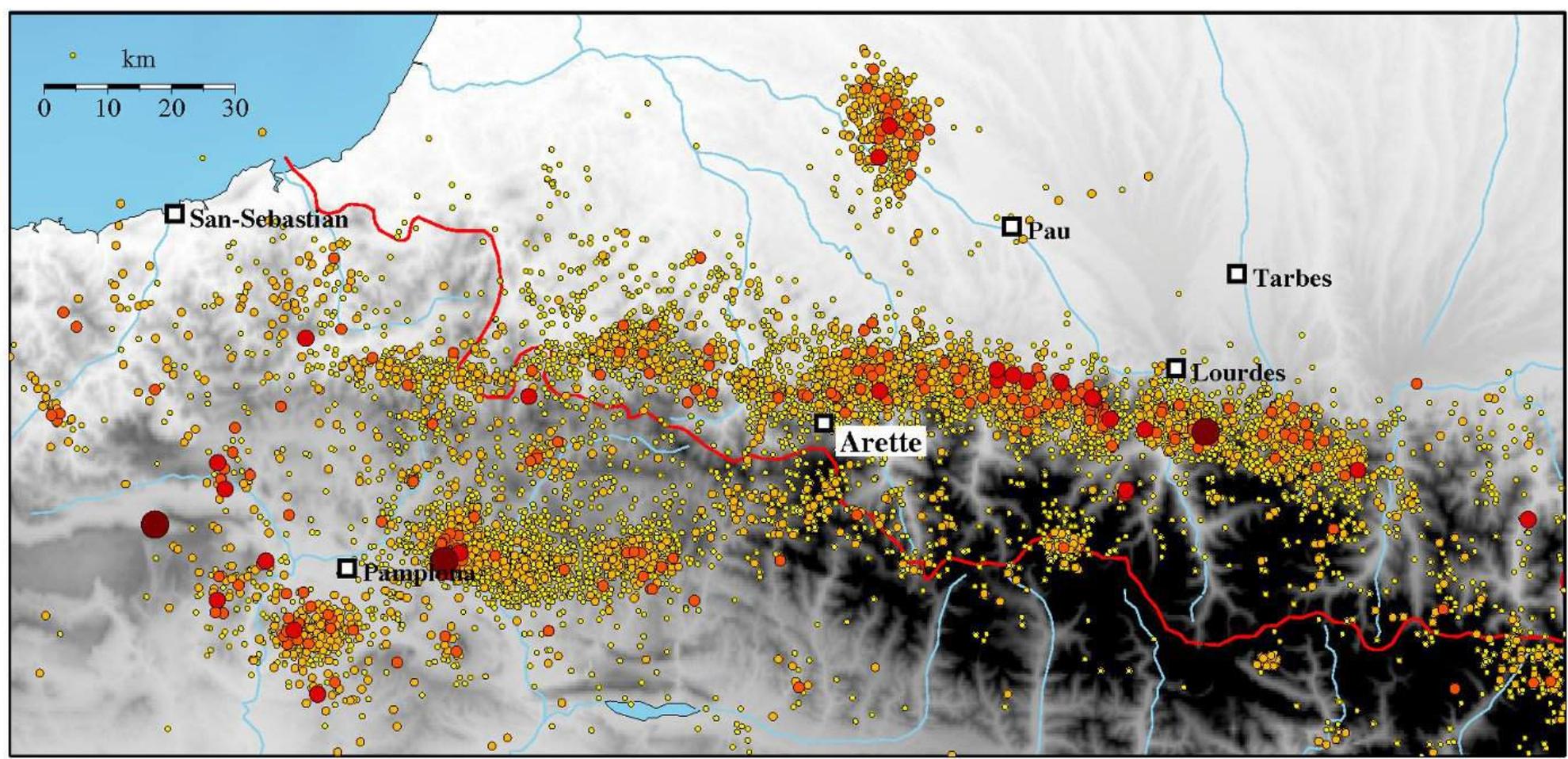
Vue d'ensemble : une répartition hétérogène des séismes





La sismicité instrumentale

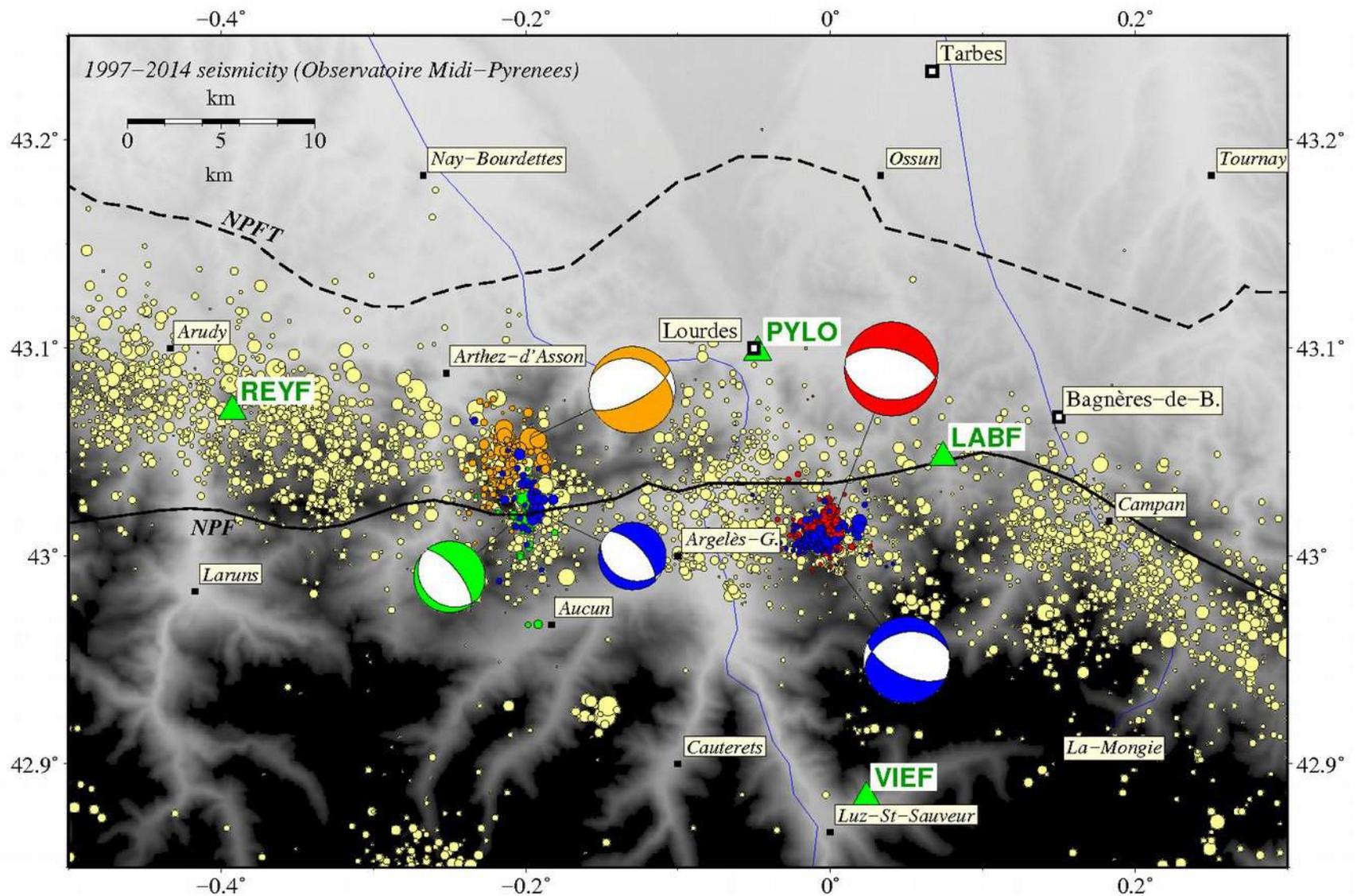
De la Bigorre au Béarn : plusieurs centaines de séismes par an





La sismicité instrumentale

Pyénées centrales : une sismicité organisée en **essaims**

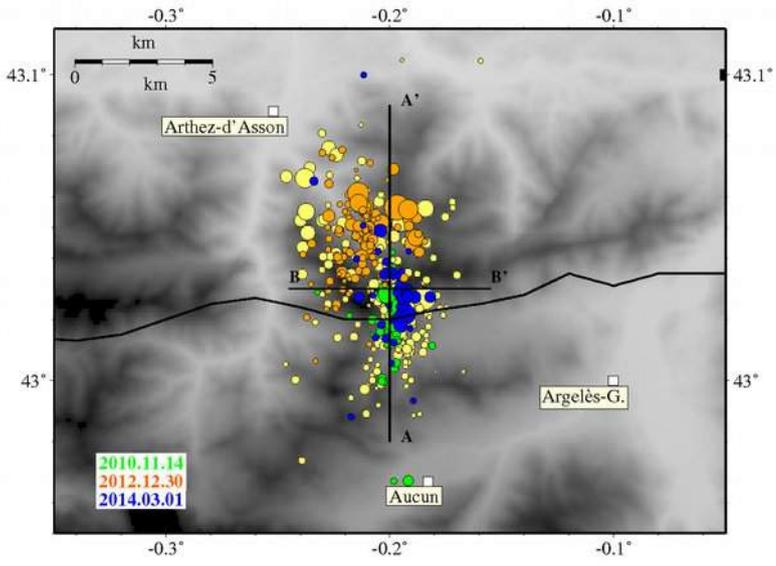


Journée « risque sismique », 28 septembre 2017, Lourdes

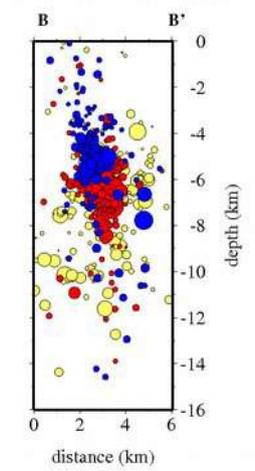
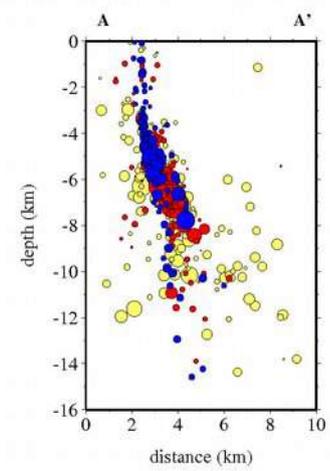
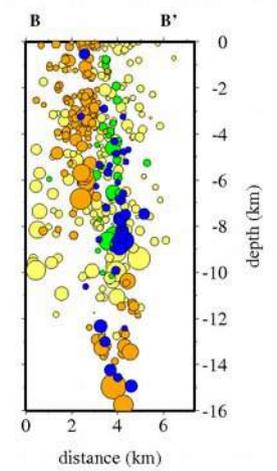
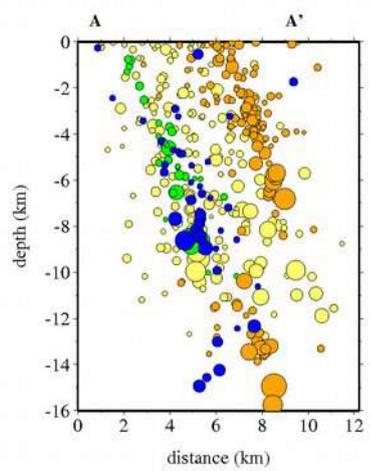
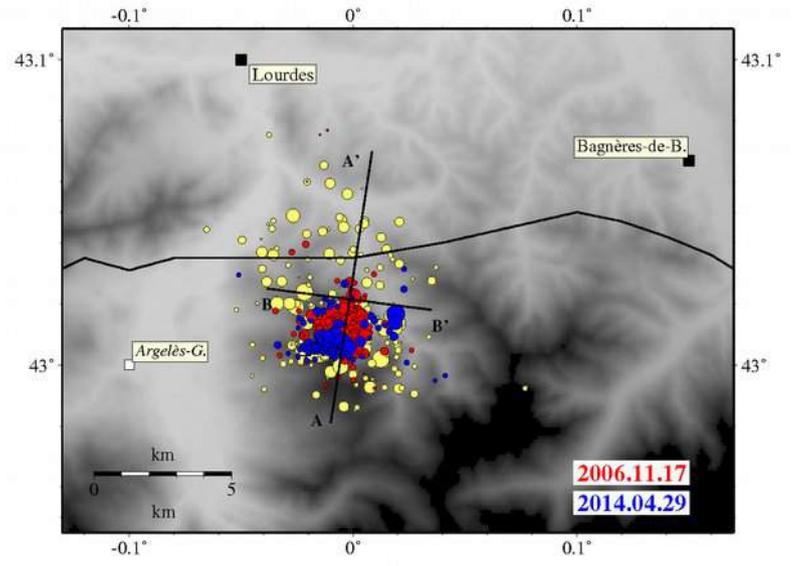


La sismicité instrumentale

Essaim d'Aucun



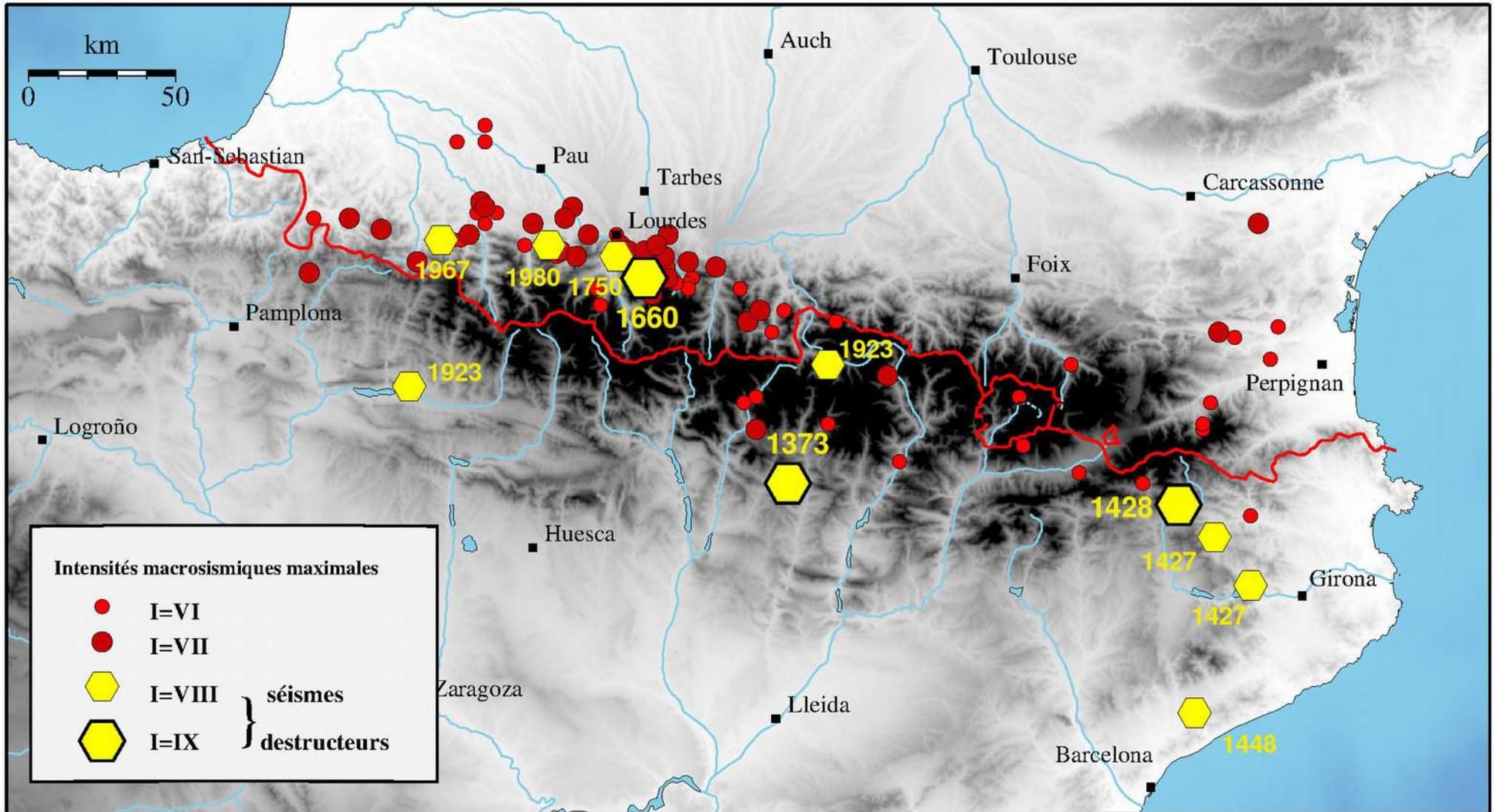
Essaim d'Argelès



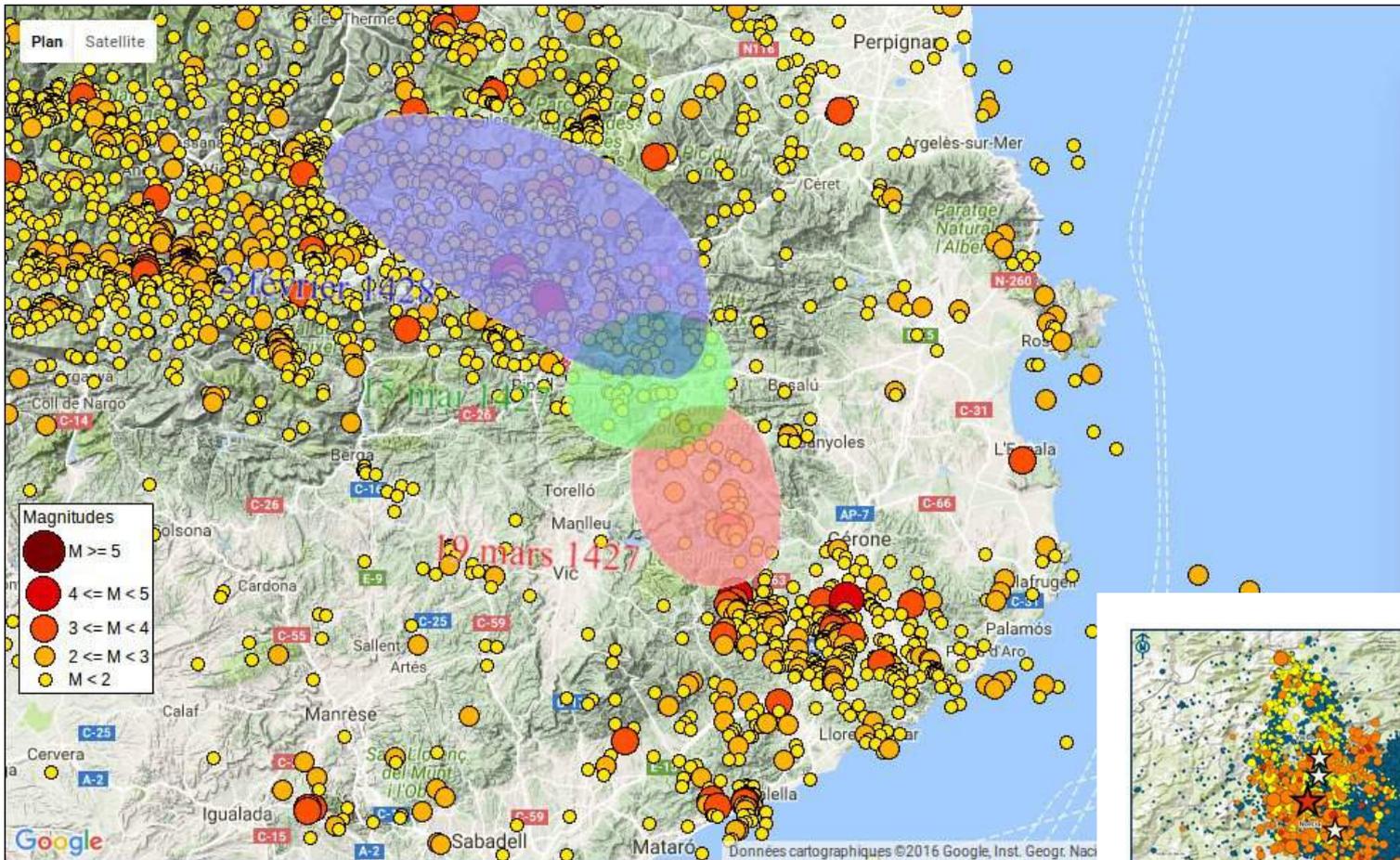
Stage de M2 de S. Prosdocimi (2015)



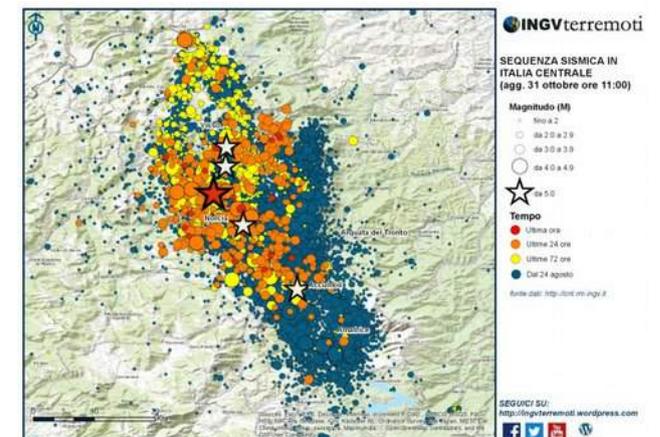
La sismicité historique



À quoi peut-on s'attendre dans les Pyrénées ?



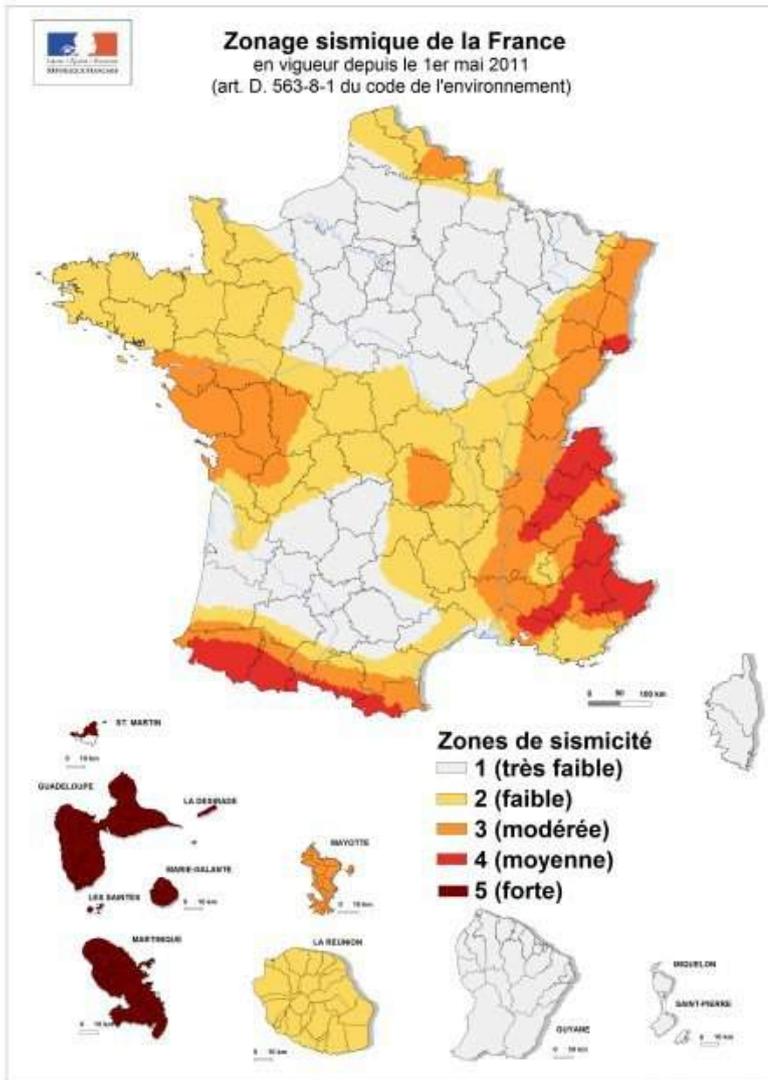
Séquence de 1427-1428 en Catalogne
Zone des dégâts, superposée à la sismicité 1997-2013



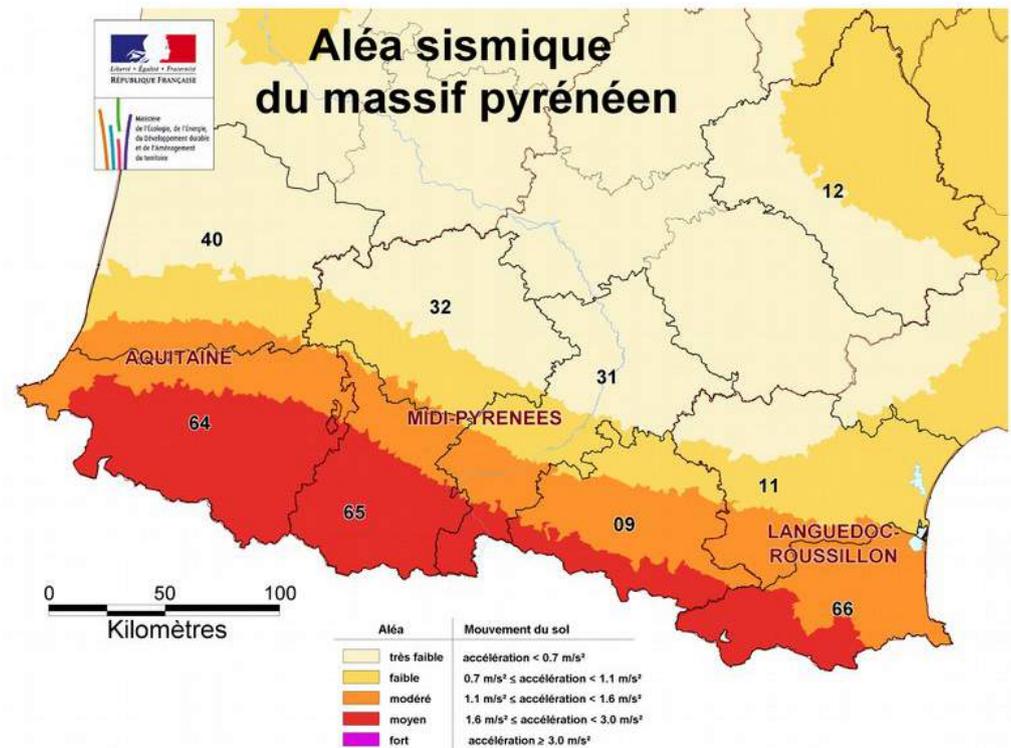
Séquence de 2016 en Italie



De l'aléa à la réglementation : à grande échelle

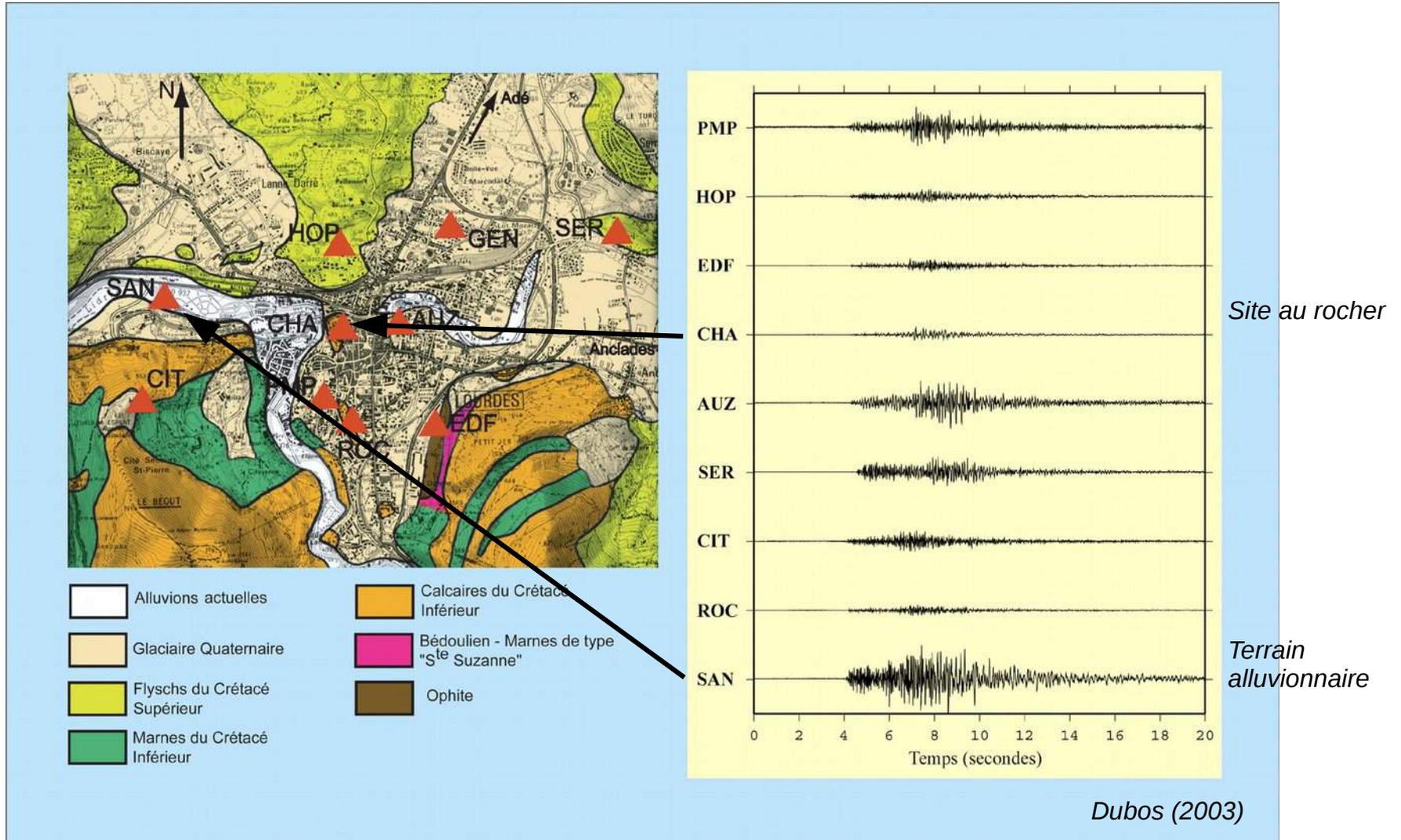


À partir de la sismicité instrumentale, historique, de la connaissance des failles, etc. : cartes d'aléa ⇒ **zonage réglementaire**





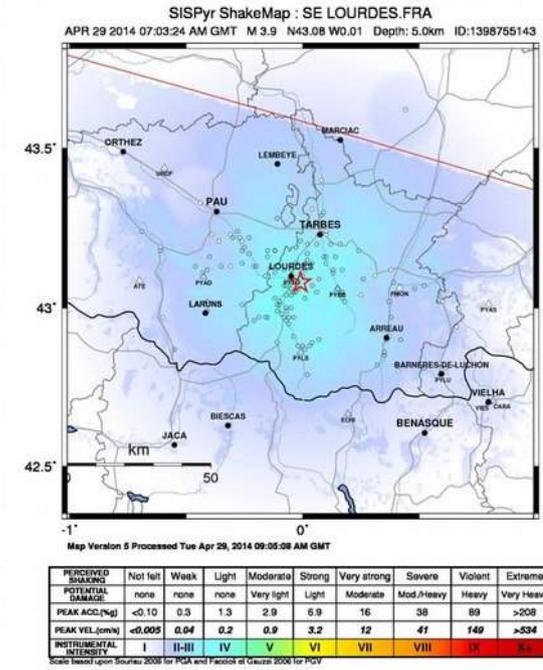
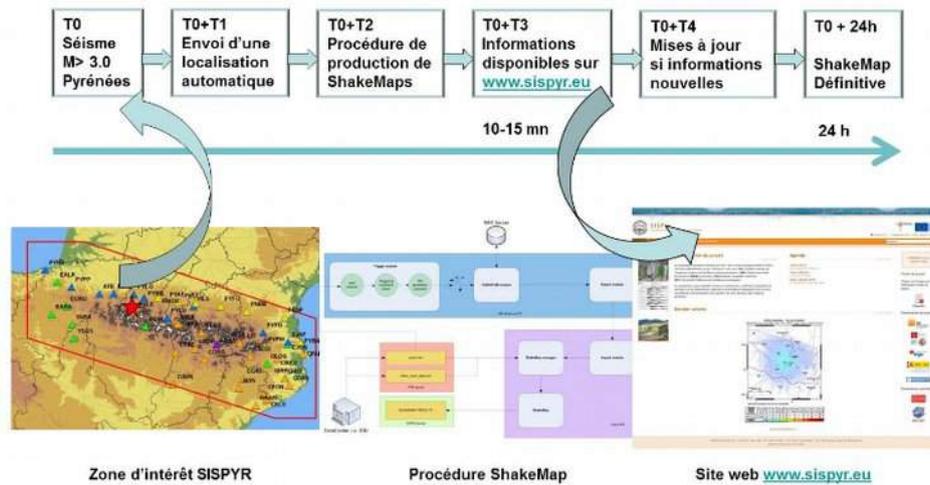
Aléa et zonage : vers une recherche du détail



Le **microzonage** révèle les amplifications locales (effets de site)

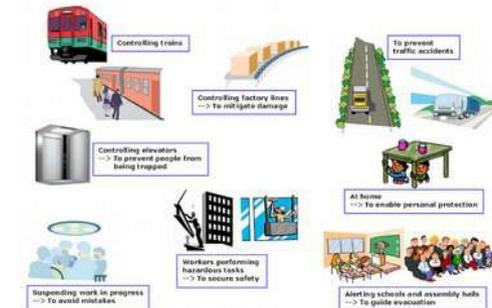
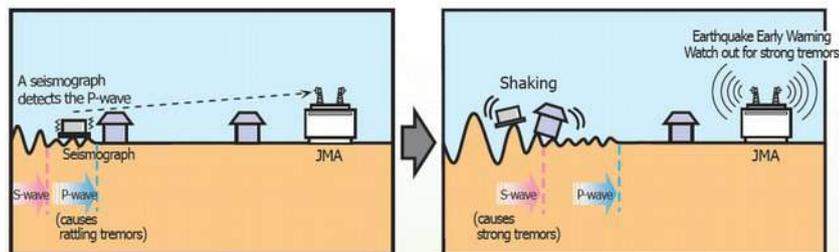
L'aléa sismique : des outils opérationnels

Les Shake maps : des outils d'aide à la décision



Les Early Warning Systems : des dispositifs d'alerte

Principe : différence de vitesse de propagation des ondes P et S



L'aléa sismique : des outils opérationnels

Efficaces ... jusqu'à un certain point



 08/09/2017, $M_w = 8.1$, Intensité = VII OK

 19/09/2017, $M_w = 7.1$, Intensité = IX NOK