Risque sismique dans le bassin grenoblois

Philippe Guéguen
ISTerre @ Université de Grenoble Alpes/CNRS/UGE

philippe.gueguen@univ-grenoble-alpes.fr

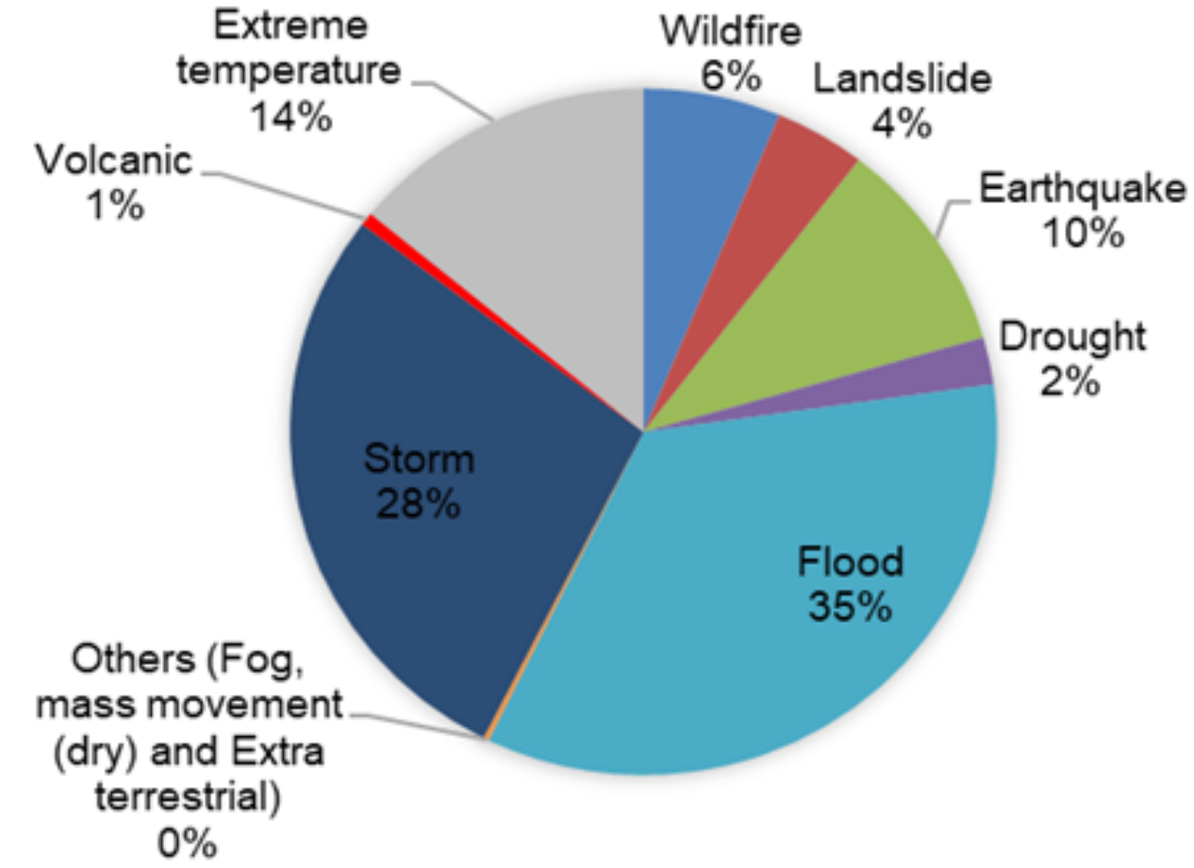
Avec le soutien de

URBASIS-Décision - Analyse multi-critères de la réglementation parasismique applicable aux bâtiments publics. Responsabilité acceptable

SISM@lp-Swarm: Processus et conséquence des essaims de sismicité dans les Alpes. Mieux informer pour mieux interpréter.

URBASIS-EU - New Challenges for Urban Engineering Seismology - ITN-MSCA H2020: grant number 813137

Les Catastrophes Naturelles en Europe 1900-2020



Nombre d'événements

Inondations -	35 %
Cyclones et tempêtes -	28 %
Canicule -	14 %
Séismes -	**10 %**

Pertes économiques

Inondations -	34 %
Séismes -	**26 %**
Cyclones et tempêtes -	26 %
Canicules -	4 %

Pertes humaines

Séismes -	**58 %**
Canicule -	34 %
Inondations -	2 %
Cyclones et tempêtes -	1 %

Ce que l’on ne saura sans doute jamais…

Donner l’heure et la date du prochain séisme

..... mais que faire de cette information si non anticipée?

Identifier toutes les failles pouvant produire un séisme

les cas de Chritschurch, L’Aquila, Napa Valley, Le Teil,…

Estimer précisément le séisme maximal possible

risque acceptable et risque soutenable

Être certain de la conception des bâtiments

La problématique du bâti historique ou déjà existant

Les outils pour prévenir le risque sismique

Décennies - Evaluation probabiliste de l'aléa sismique

✤ Code de dimensionnement parasismique, PLU, PPRS …

Quelques années - Information et éducation

✤ Mise en vigilance et anticipation individuelle ou communautaire

Mois à heures - Prédiction de l'heure et du lieu origine du séisme

✤ Pas possible actuellement ni dans un futur proche

Secondes à minutes - *Early Warning systems*

✤ Détection rapide du séisme, puis prédiction des vibrations et des conséquences et mise en alerte/vigilance

Les outils pour prévenir le risque sismique

Décennies - Evaluation probabiliste de l'aléa sismique

- Code de dimensionnement parasismique, PLU, PPRS …

Quelques années - Information et éducation

- Mise en vigilance et anticipation individuelle ou communautaire

Mois à heures - Prédiction de l'heure et du lieu origine du séisme

- Pas possible actuellement ni dans un futur proche

Secondes à minutes - *Early Warning systems*

- Détection rapide du séisme, puis prédiction des vibrations et des conséquences et mise en alerte/vigilance

Risque sismique

Pourquoi se produisent les tremblements de terre ?

Qu'est-ce qui provoque les séismes

Sommes nous exposés à des tremblements de terre ?

Où se produisent les séismes ?

Quel est le séisme contre lequel se protéger ?

Quand se produisent les séismes ?

Avec **quelle magnitude** ?

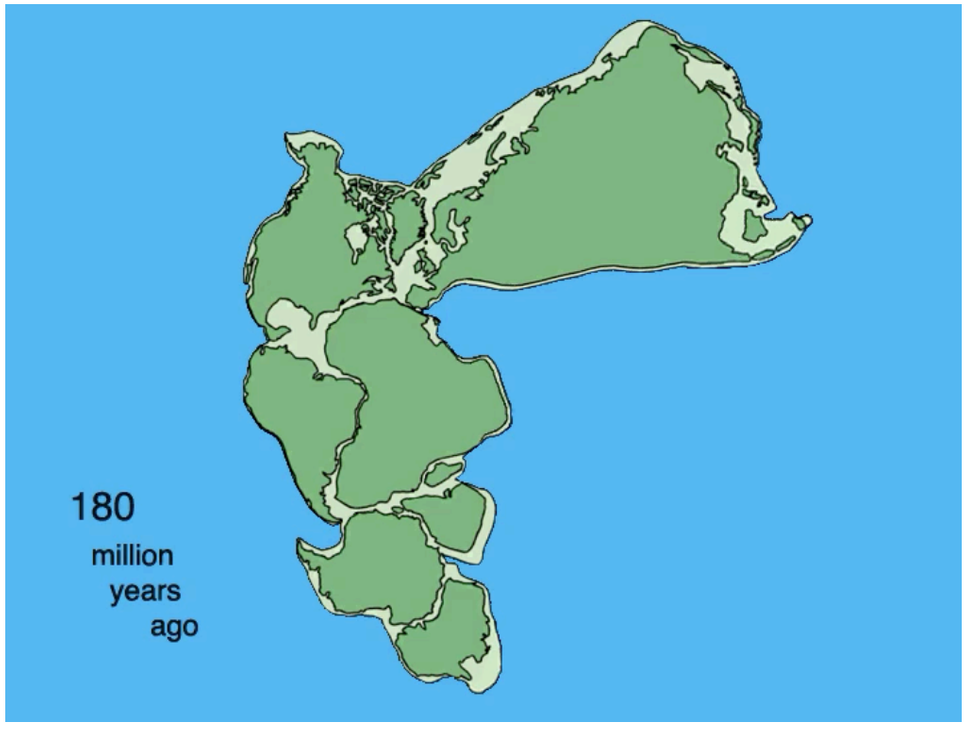
A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

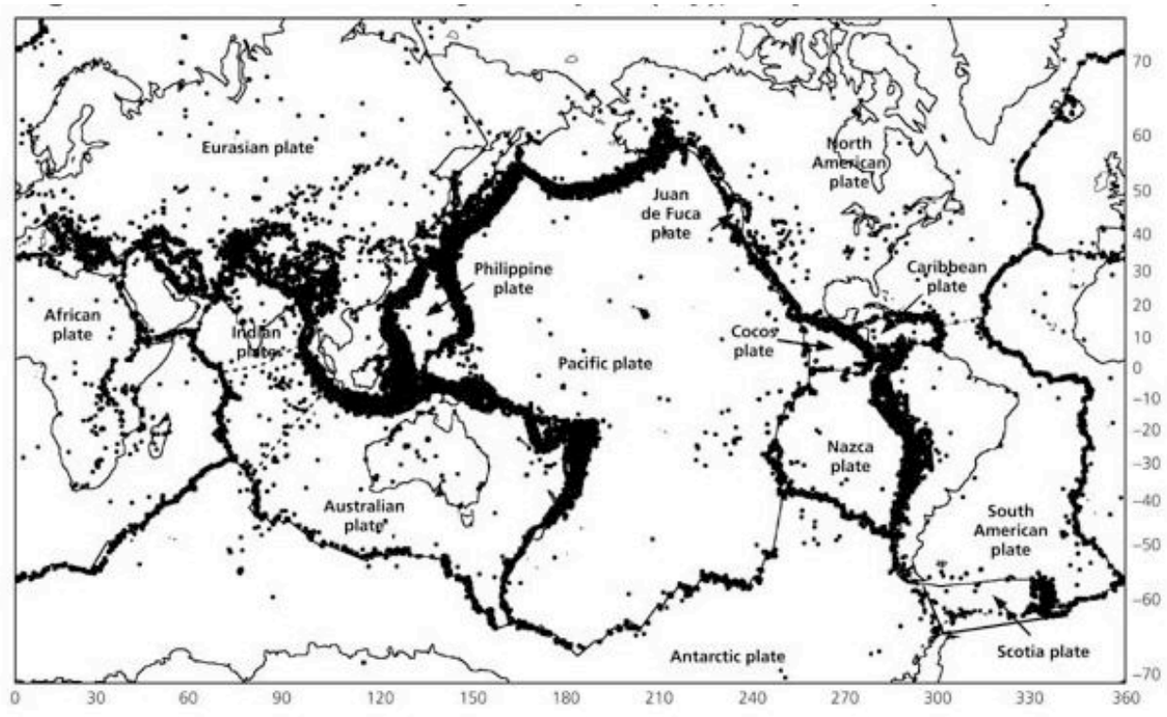
Quelles **vibrations du sol** peuvent être générées?

Quelles conséquences sont attendues ?

Pourquoi se produisent les tremblements de terre ?

La tectonique des plaques





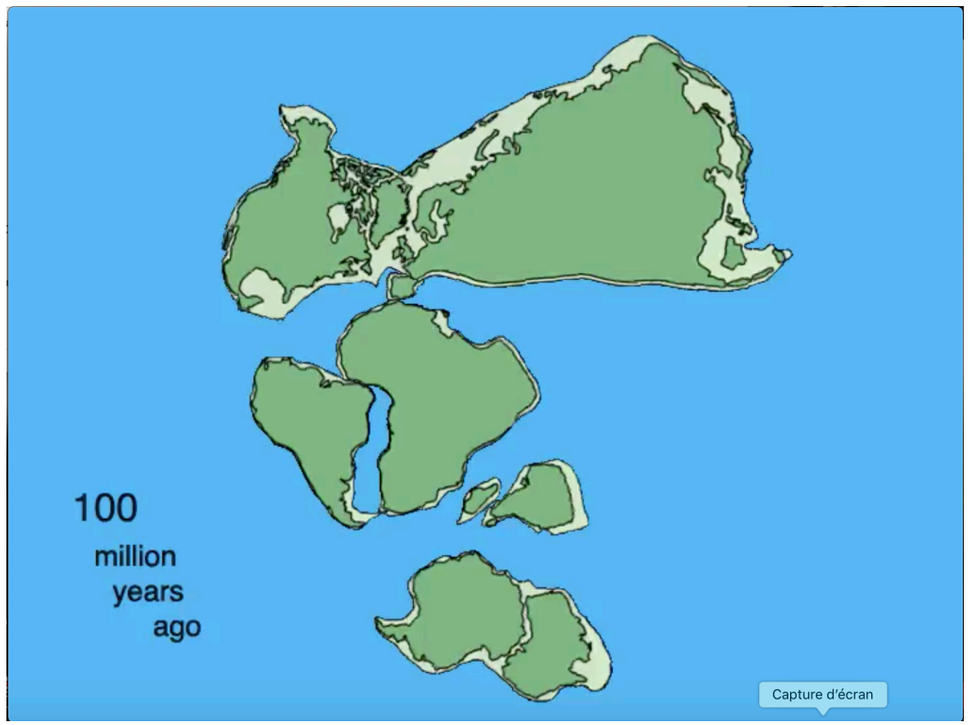


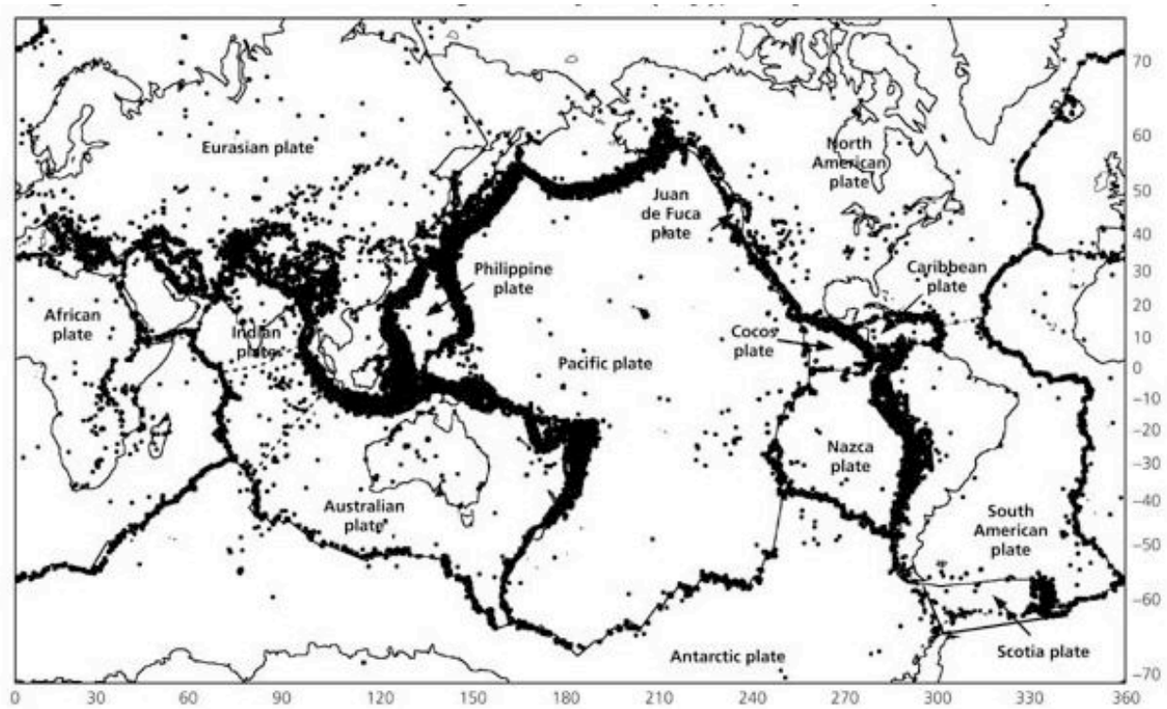


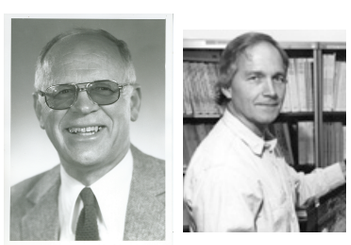
Isacks, B., Oliver, J., & Sykes, L. R. (**1968**). Seismology and the new global tectonics. Journal of geophysical research, 73(18), 5855-5899.

Pourquoi se produisent les tremblements de terre ?

La tectonique des plaques



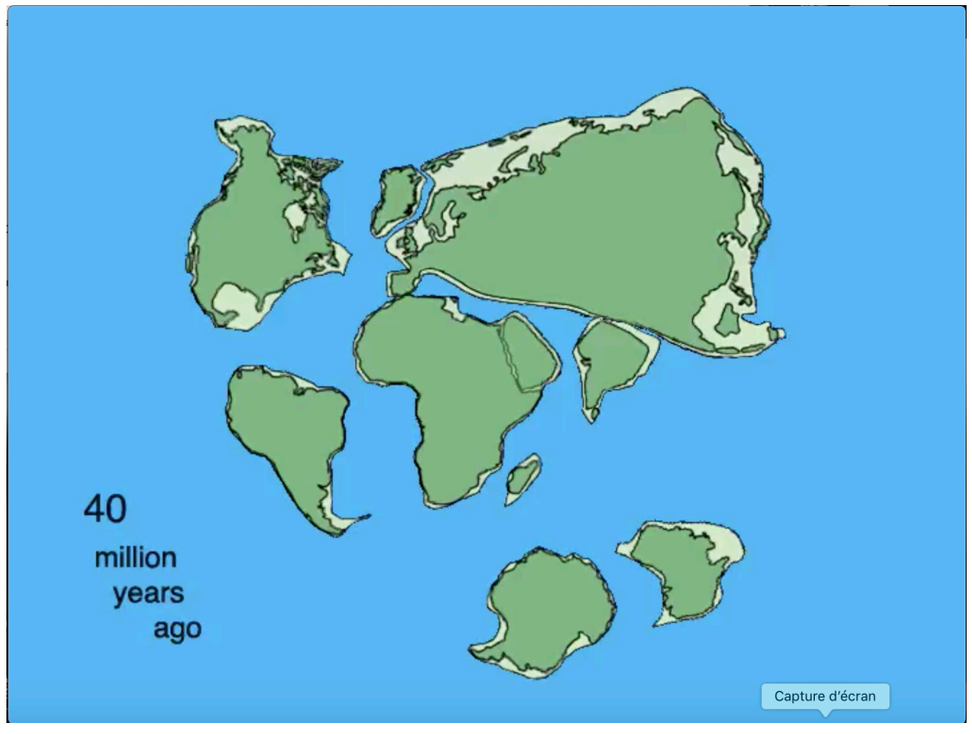


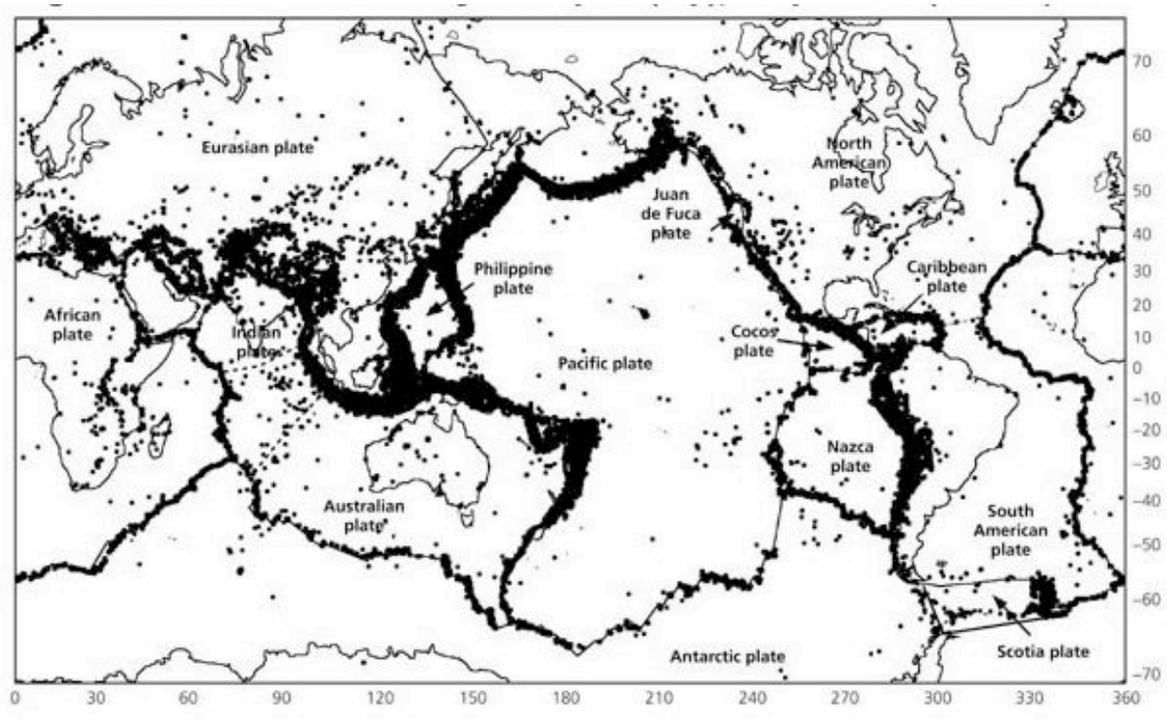


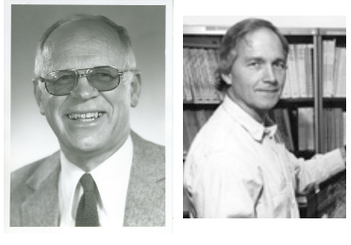
Isacks, B., Oliver, J., & Sykes, L. R. (**1968**). Seismology and the new global tectonics. Journal of geophysical research, 73(18), 5855-5899.

Pourquoi se produisent les tremblements de terre ?

La tectonique des plaques



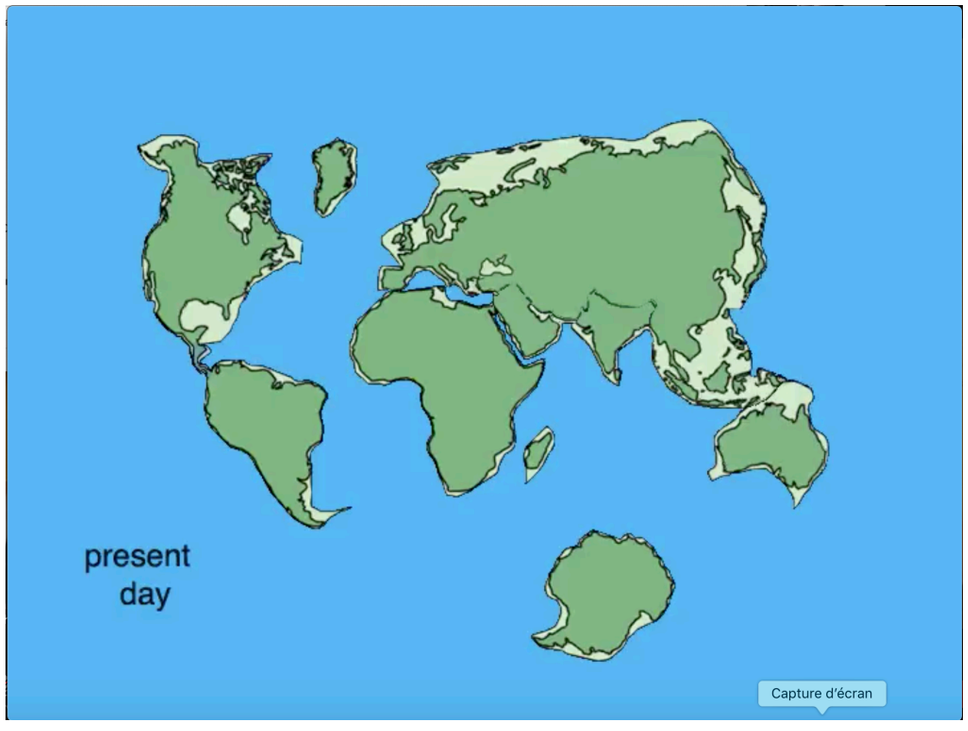


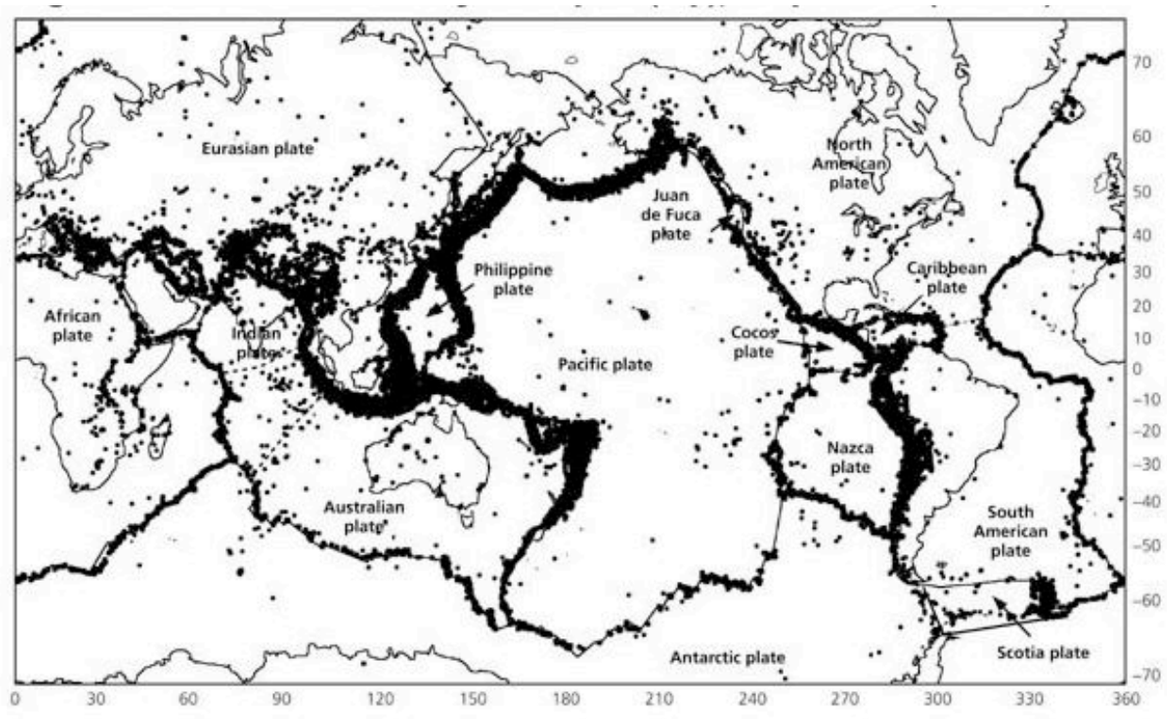


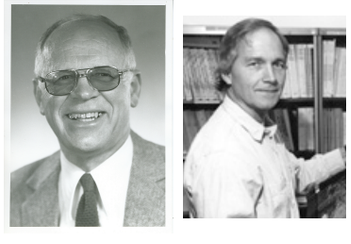
Isacks, B., Oliver, J., & Sykes, L. R. (**1968**). Seismology and the new global tectonics. Journal of geophysical research, 73(18), 5855-5899.

Pourquoi se produisent les tremblements de terre ?

La tectonique des plaques

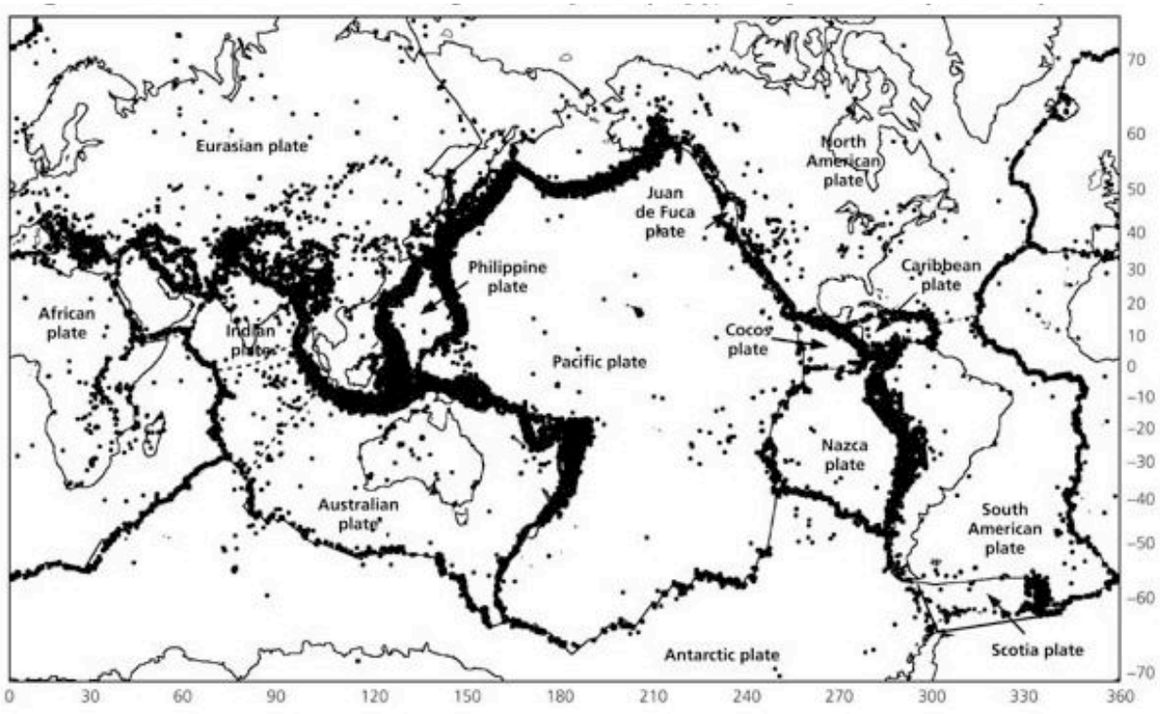




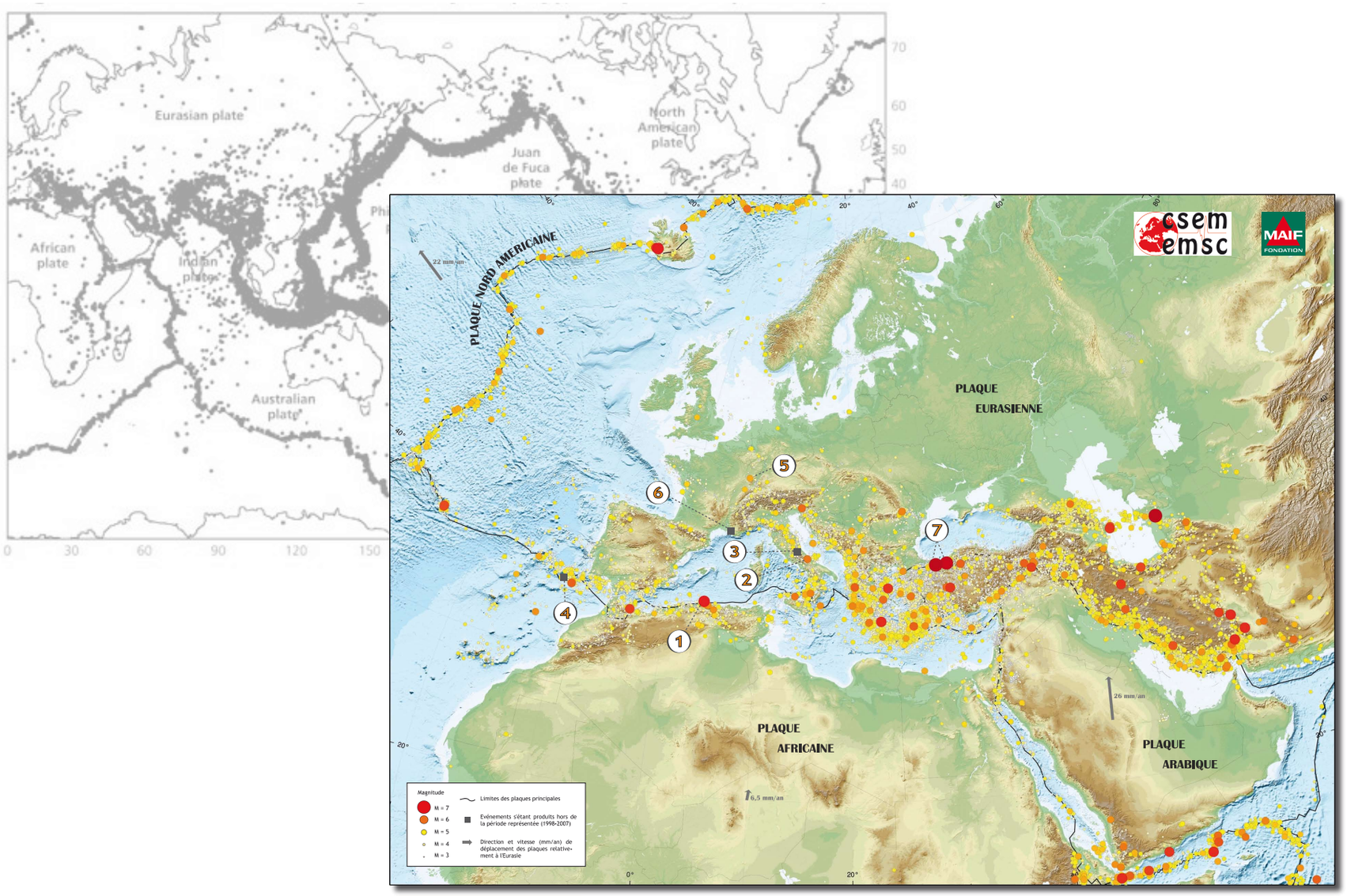


Isacks, B., Oliver, J., & Sykes, L. R. (**1968**). Seismology and the new global tectonics. Journal of geophysical research, 73(18), 5855-5899.

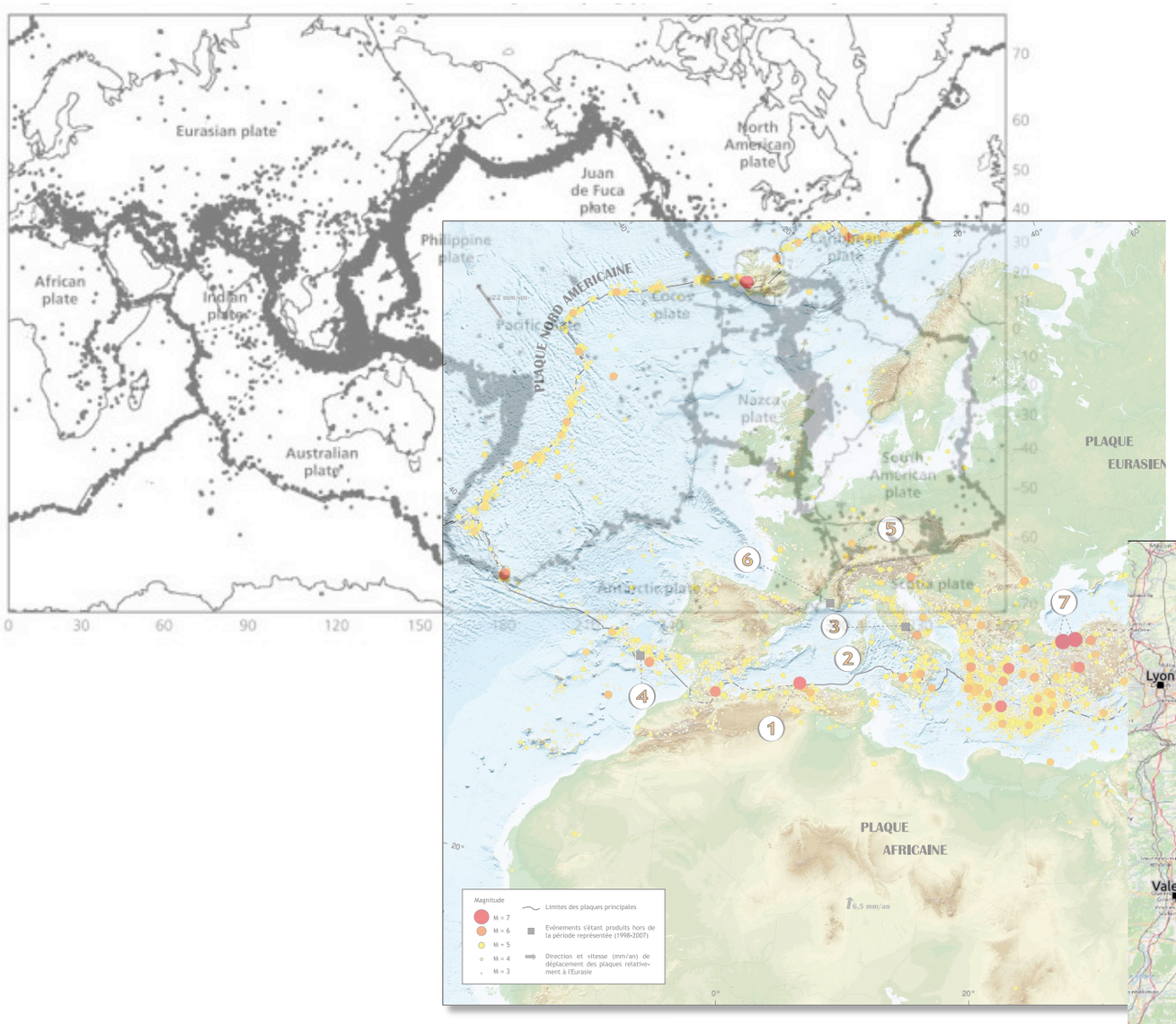
Où se produisent les tremblements de terre

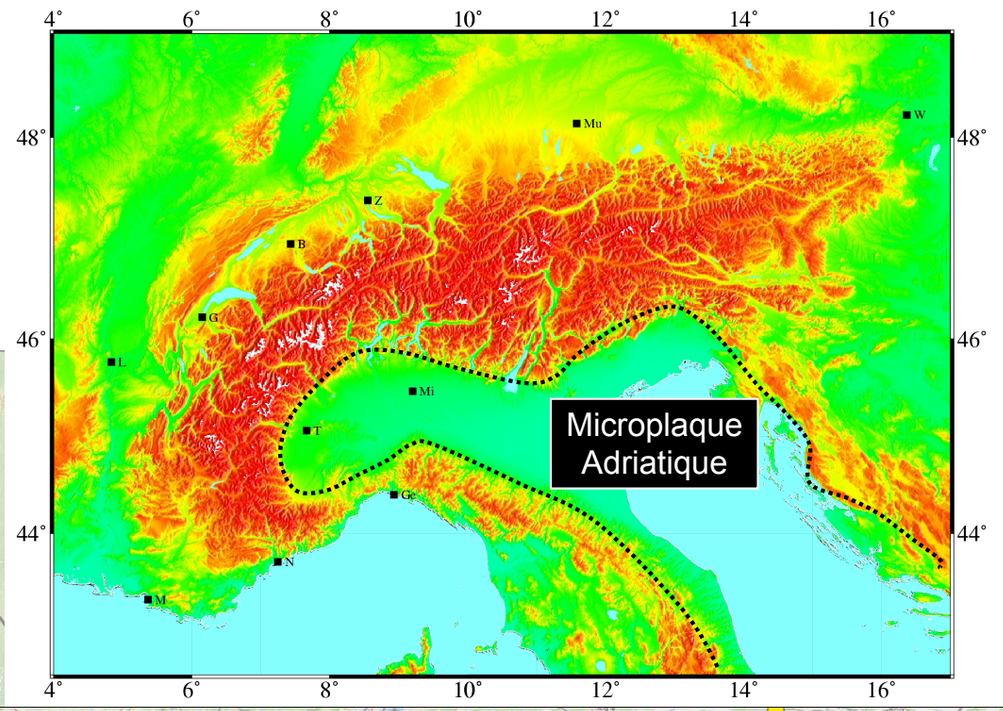


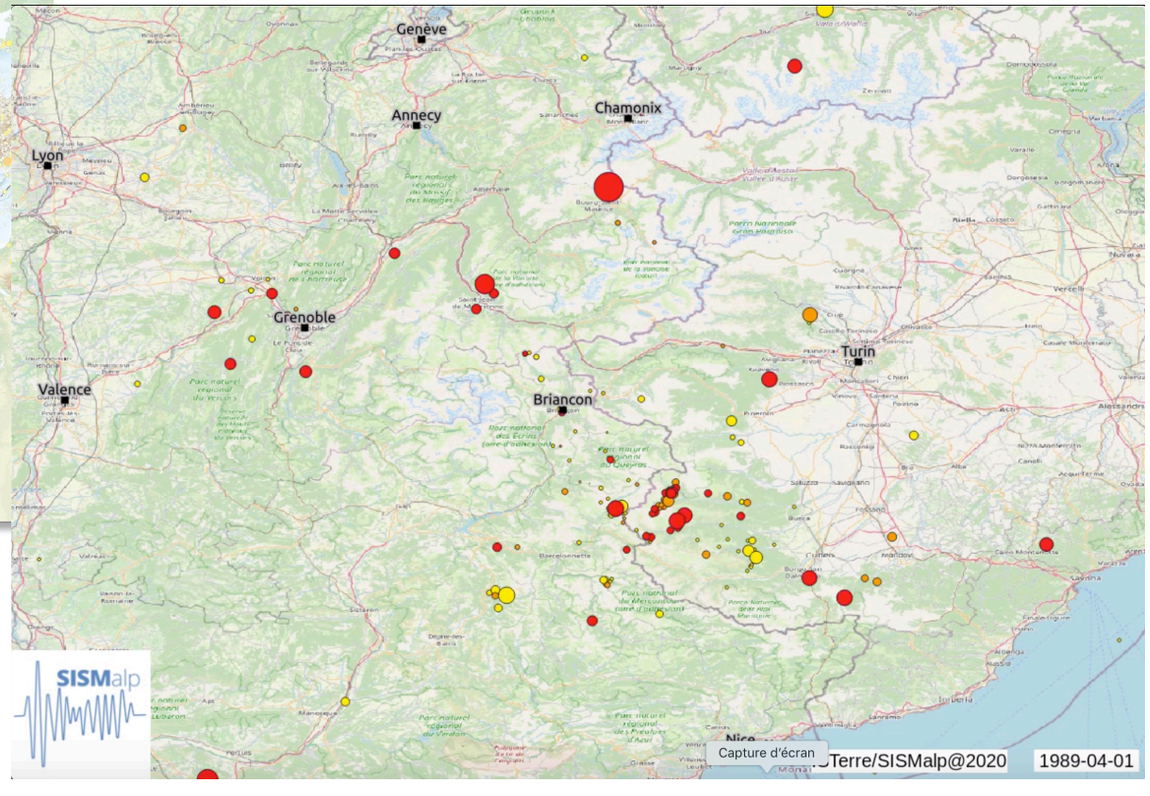
Où se produisent les tremblements de terre ?



Où se produisent les tremblements de terre



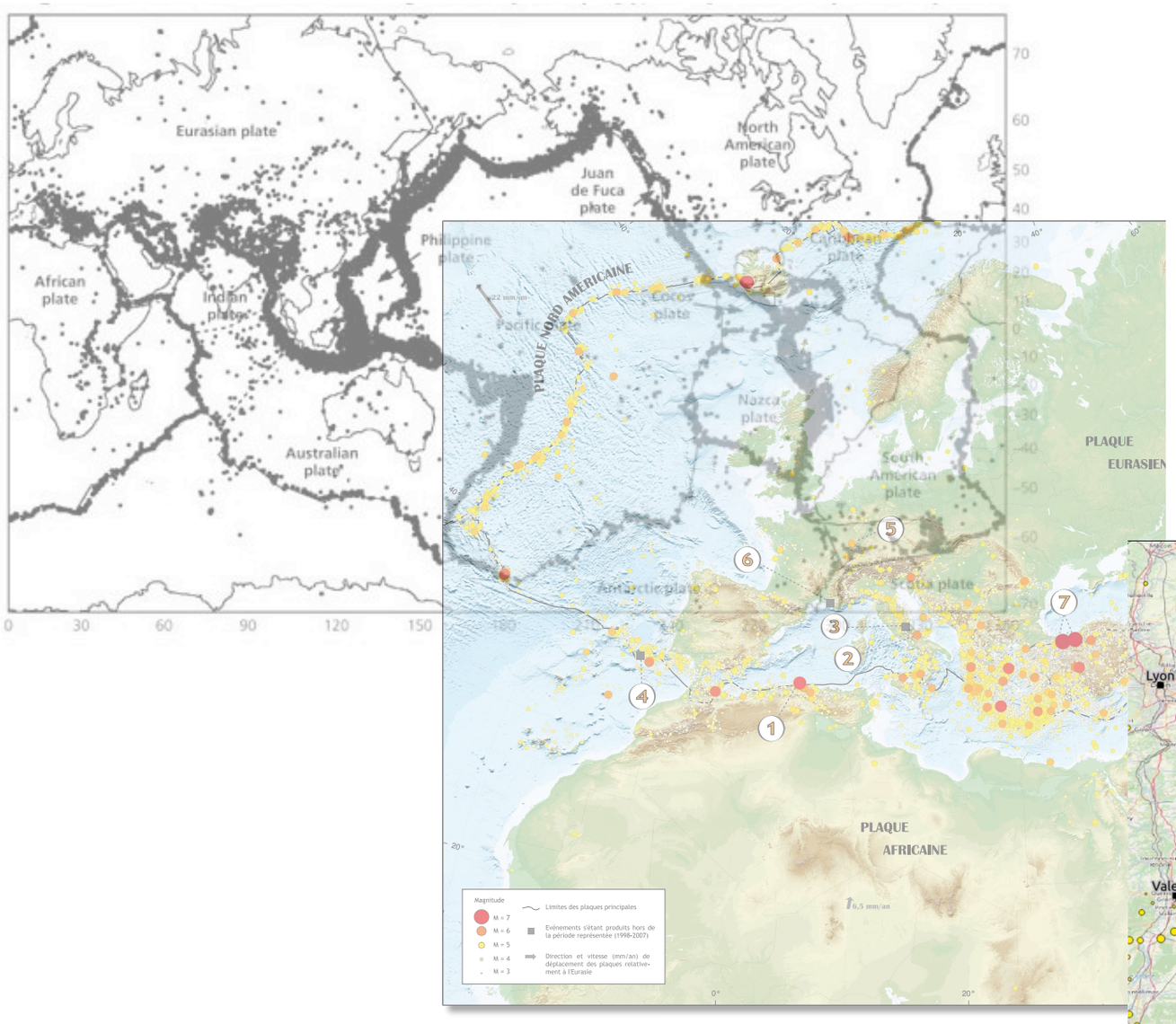


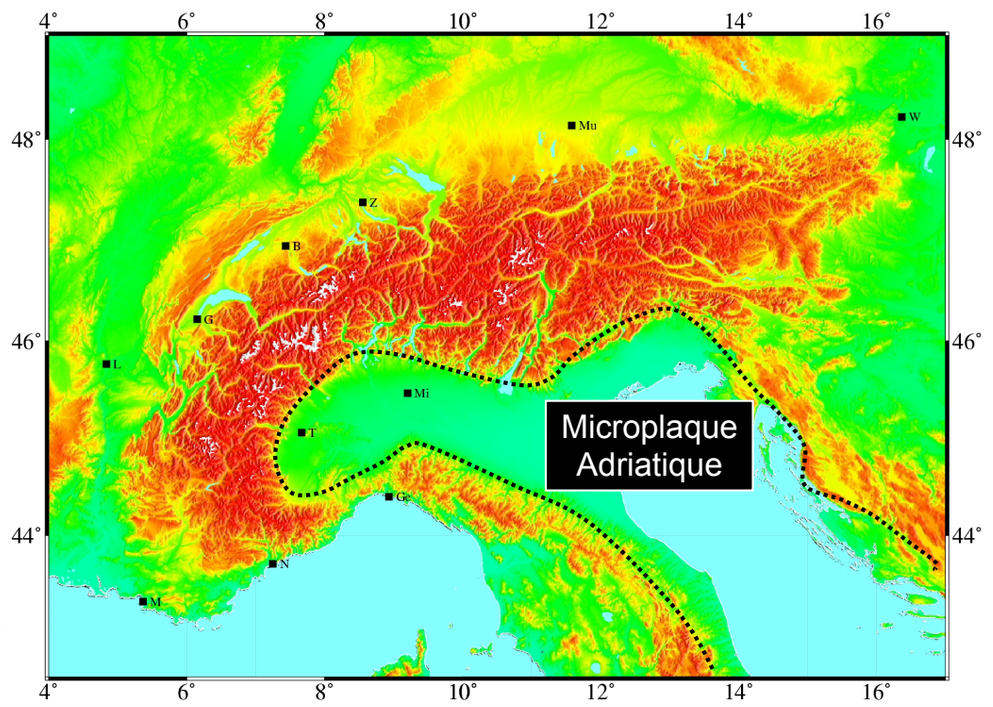


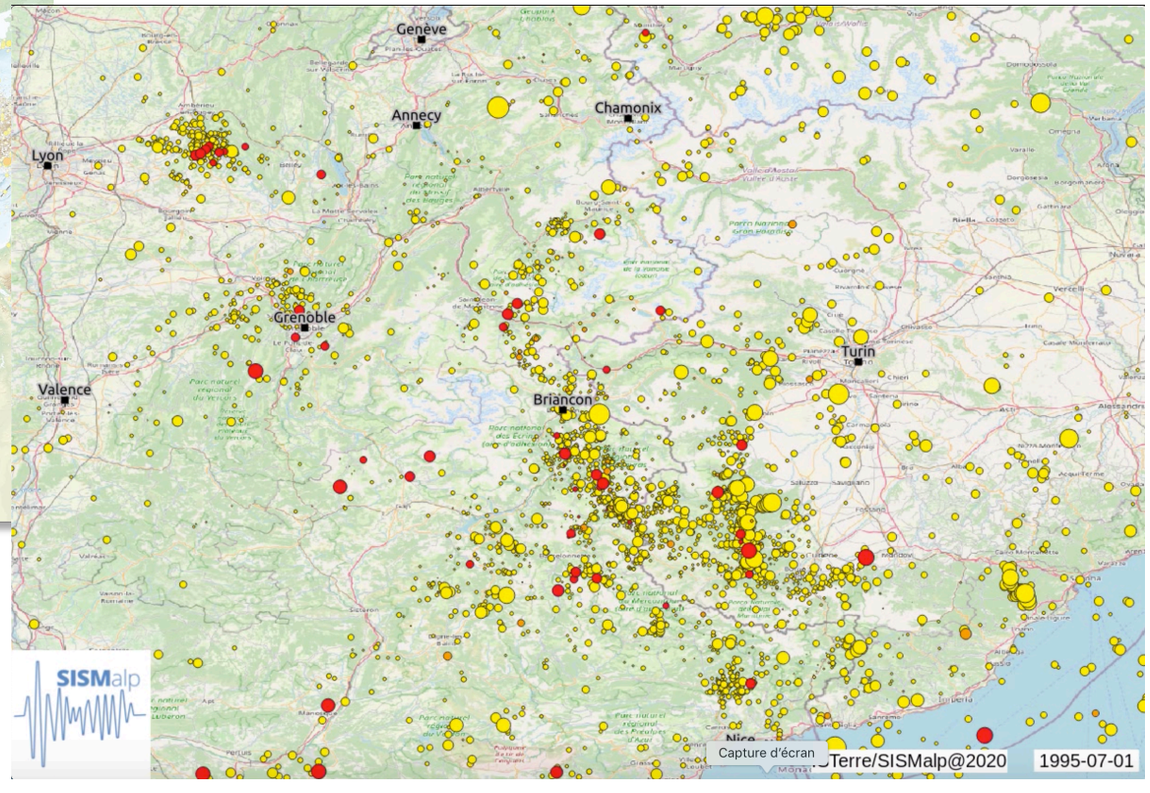
Depuis 1989 - **SISMalp**: réseau de surveillance de la sismicité des Alpes

Analyse de la sismicité des Alpes, imagerie de la croûte, information/education

Où se produisent les tremblements de terre



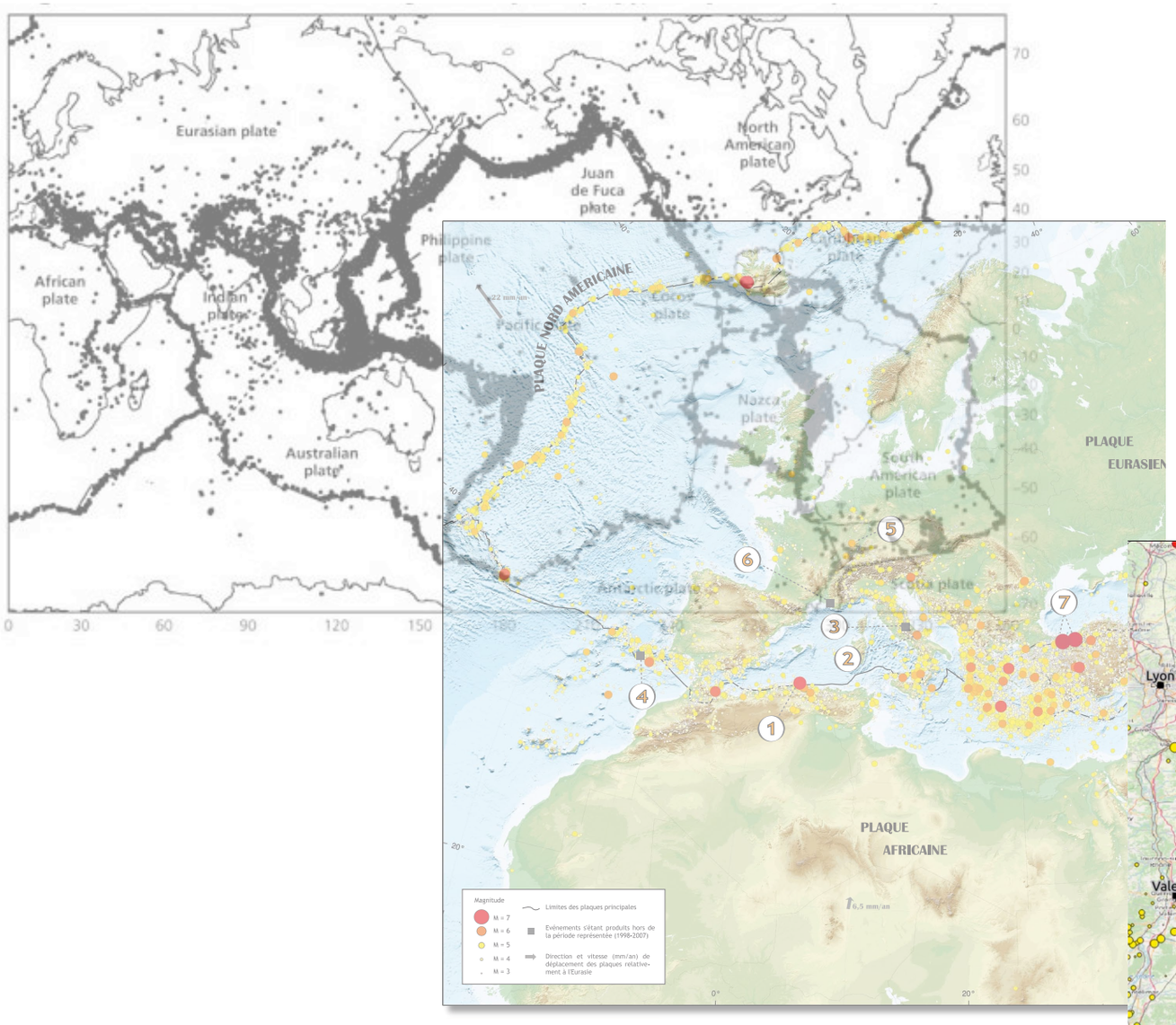


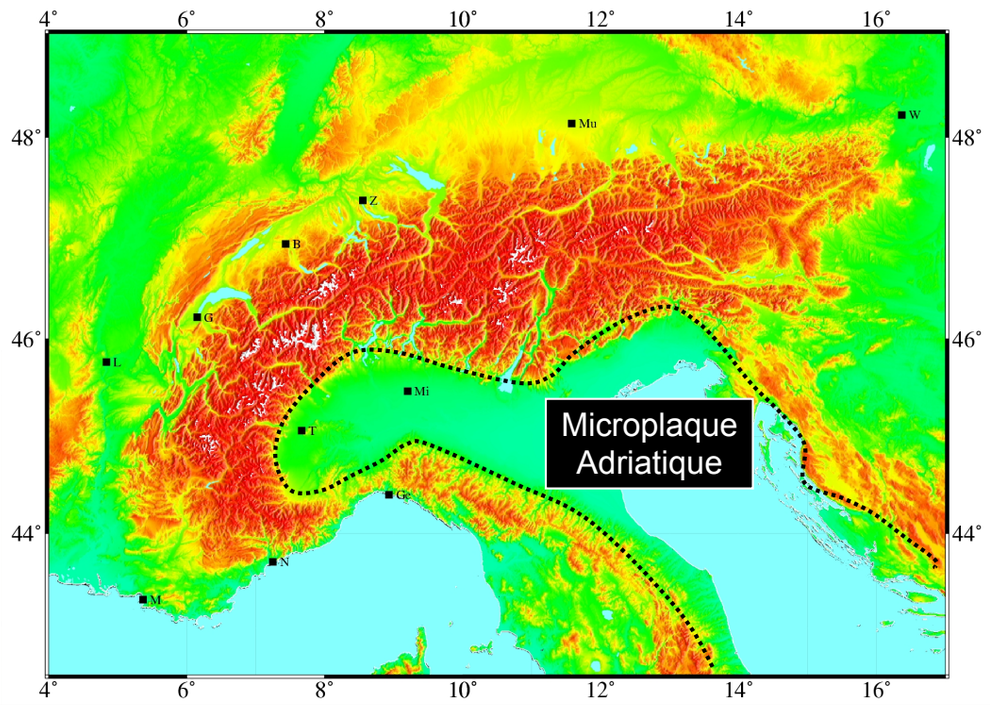


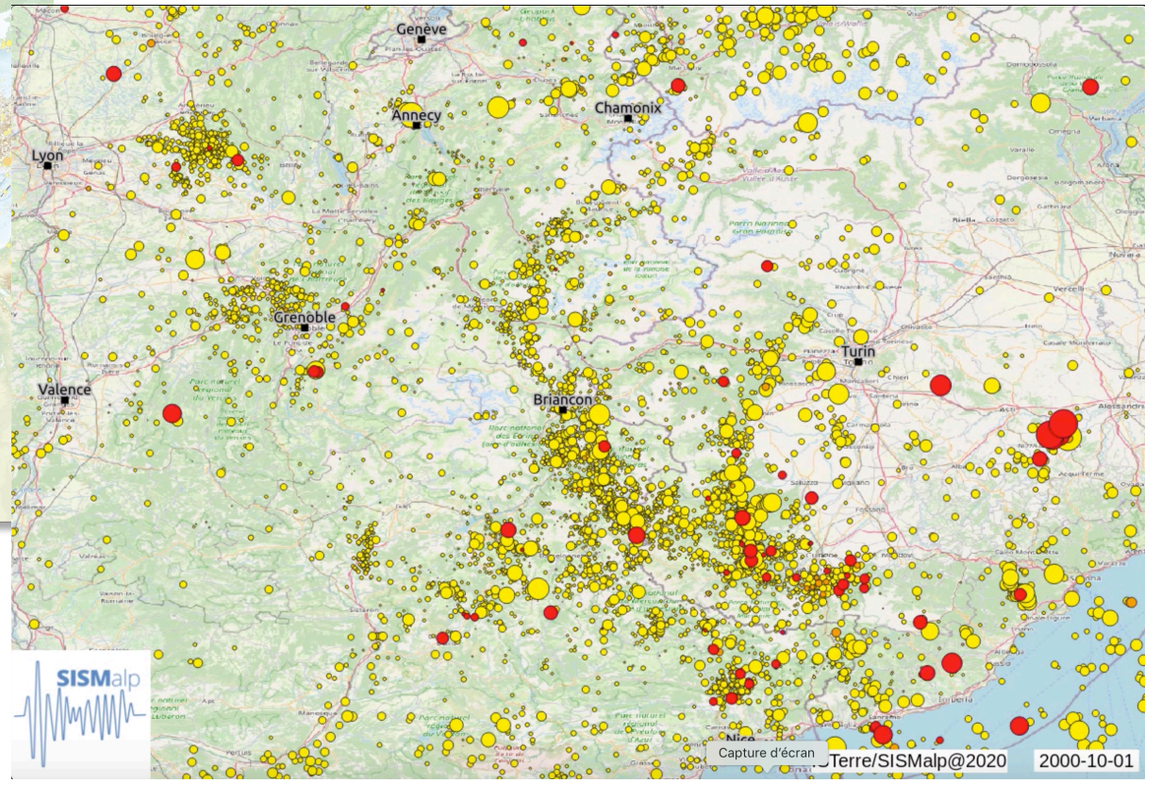
Depuis 1989 - **SISMalp**: réseau de surveillance de la sismicité des Alpes

Analyse de la sismicité des Alpes, imagerie de la croûte, information/education

Où se produisent les tremblements de terre



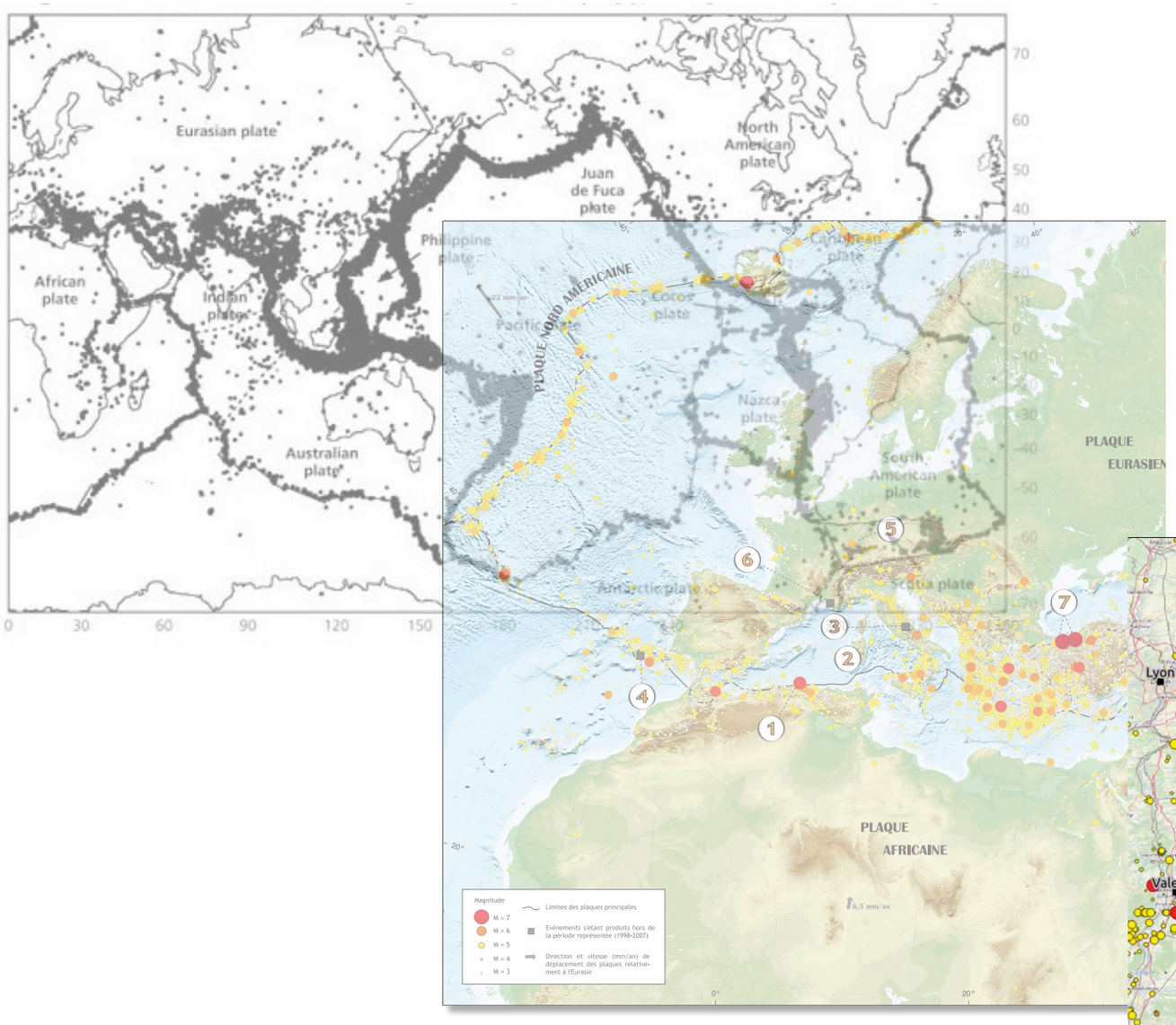


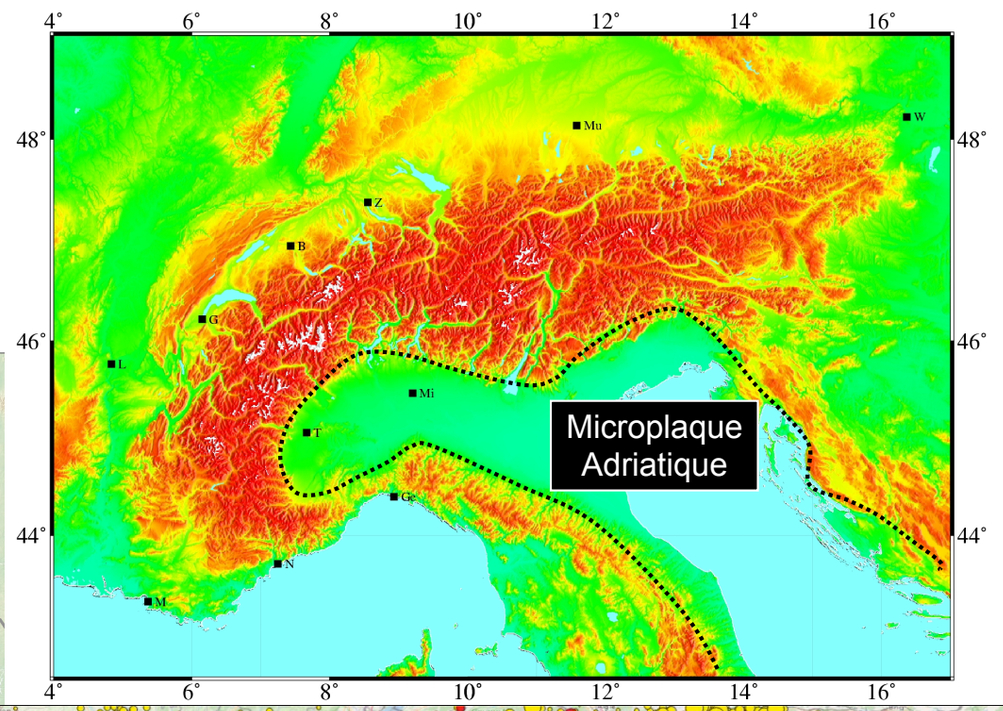


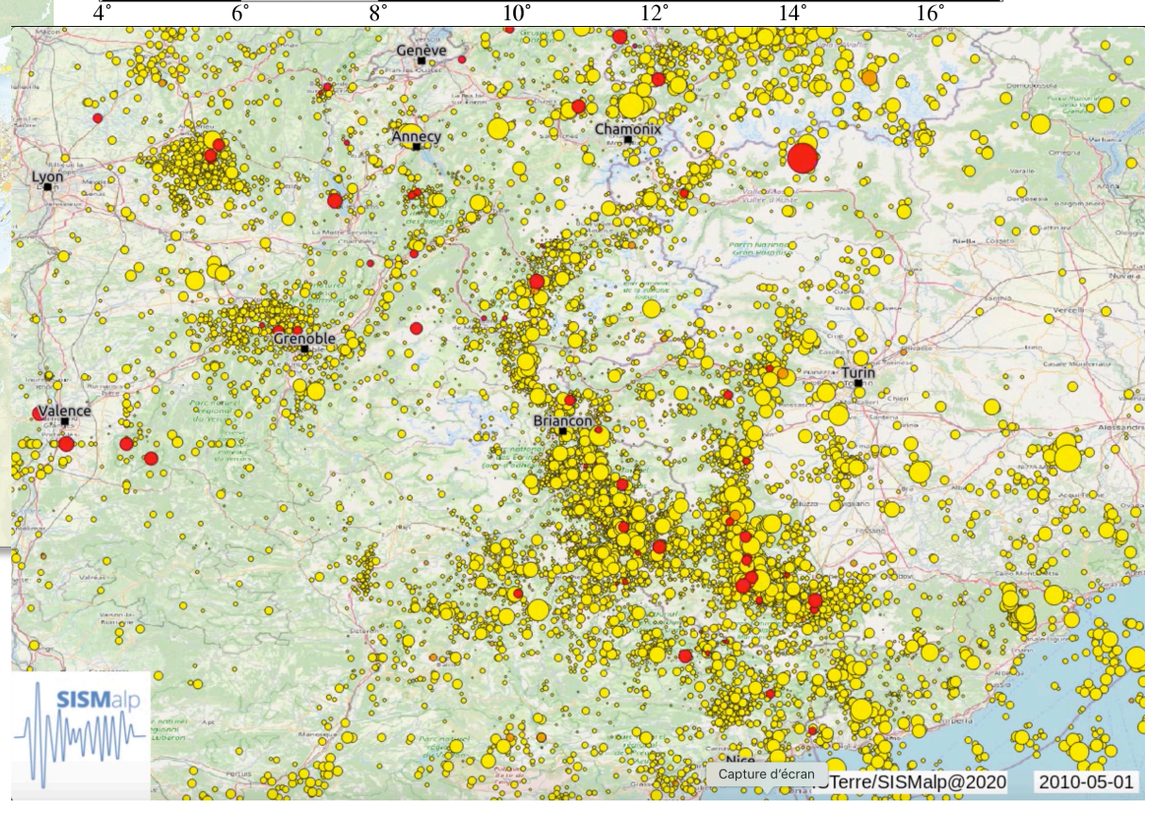
Depuis 1989 - **SISMalp**: réseau de surveillance de la sismicité des Alpes

Analyse de la sismicité des Alpes, imagerie de la croûte, information/education

Où se produisent les tremblements de terre



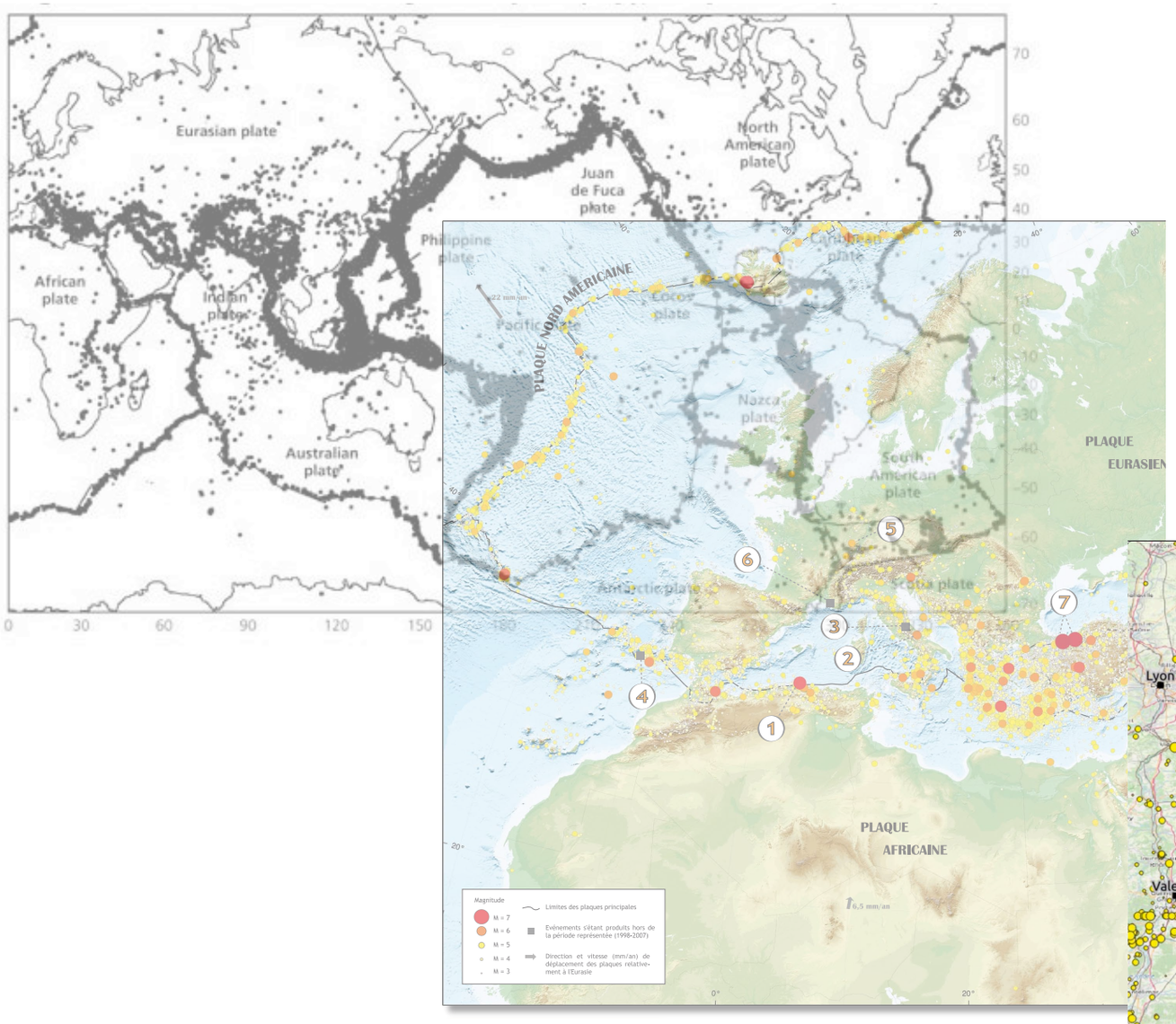


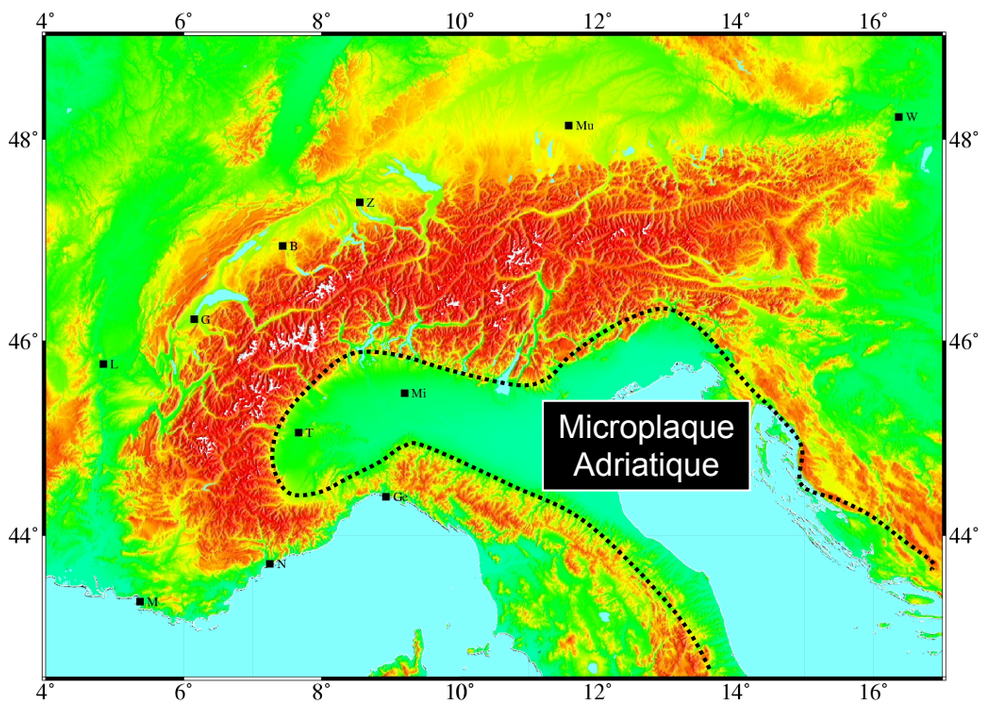


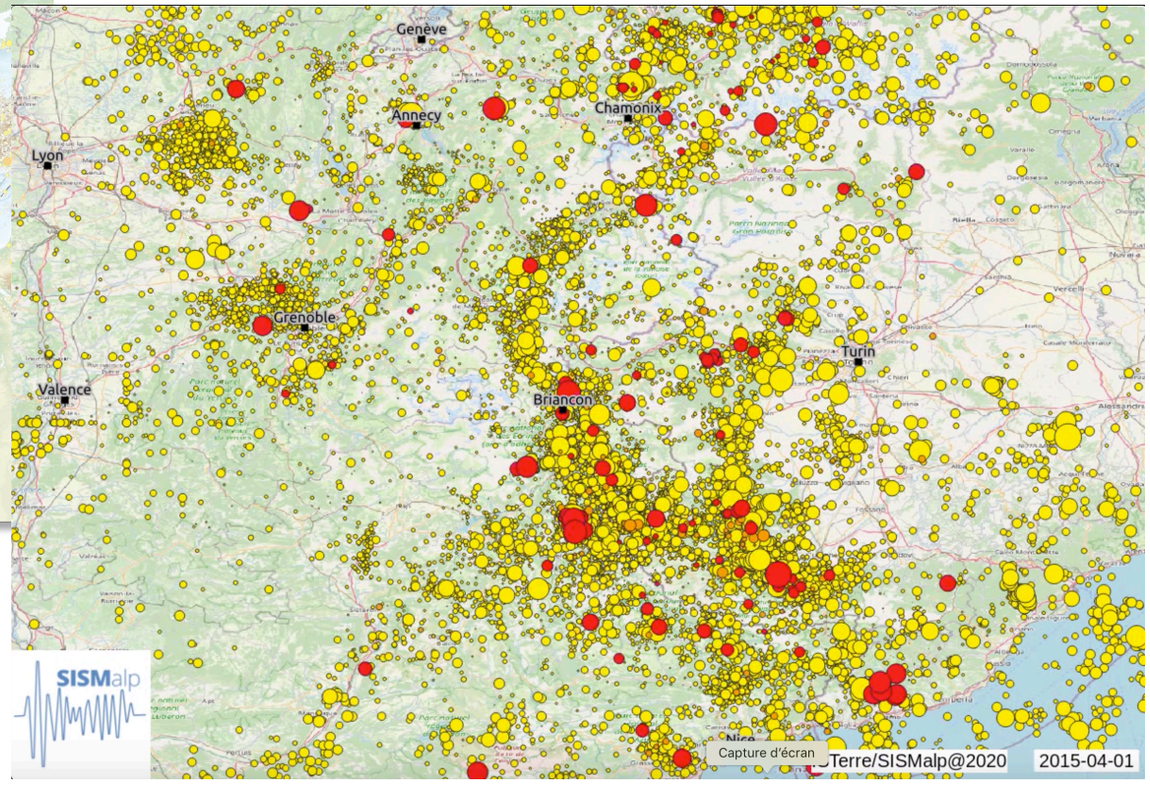
Depuis 1989 - **SISMalp**: réseau de surveillance de la sismicité des Alpes

Analyse de la sismicité des Alpes, imagerie de la croûte, information/education

Où se produisent les tremblements de terre



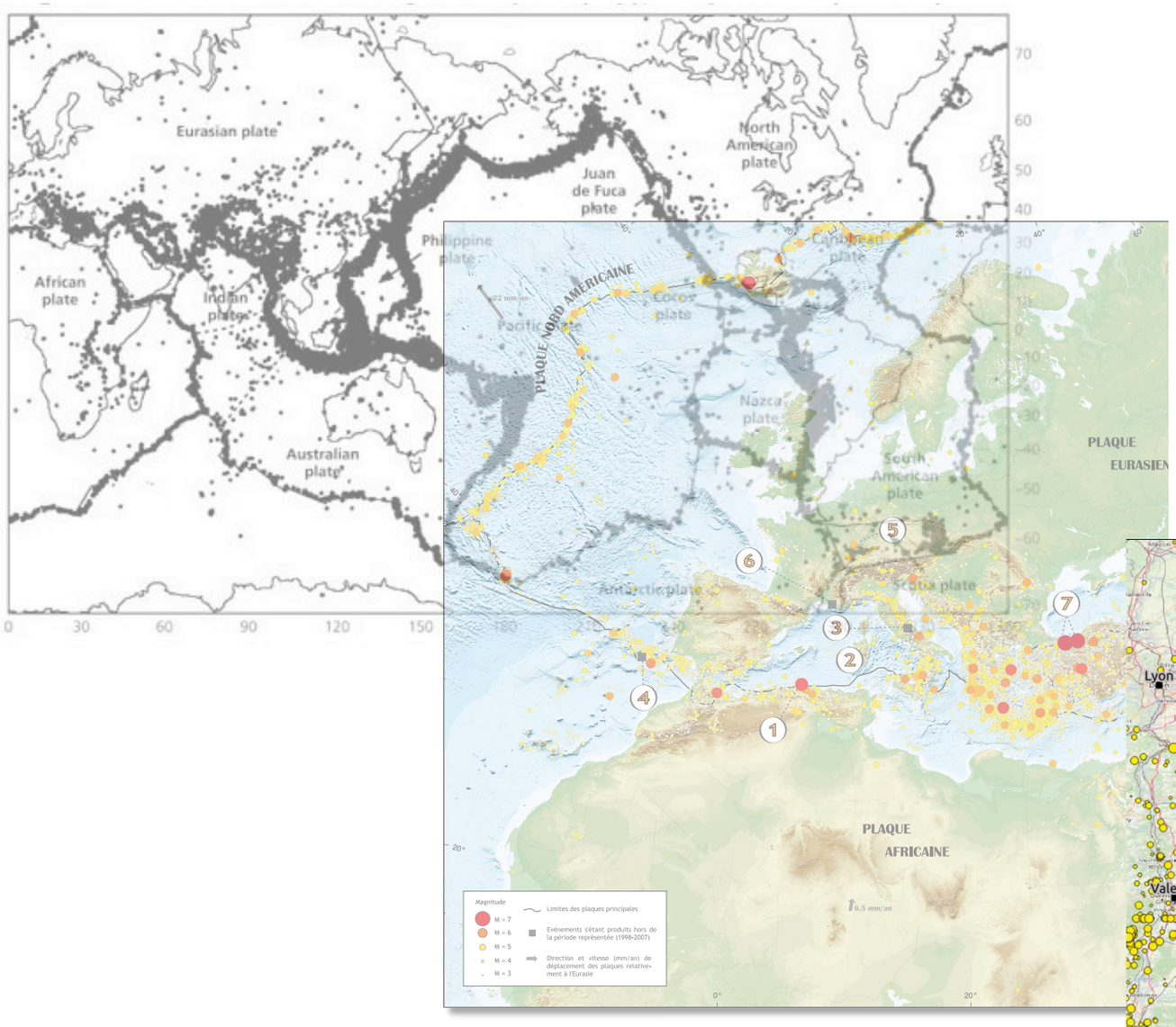


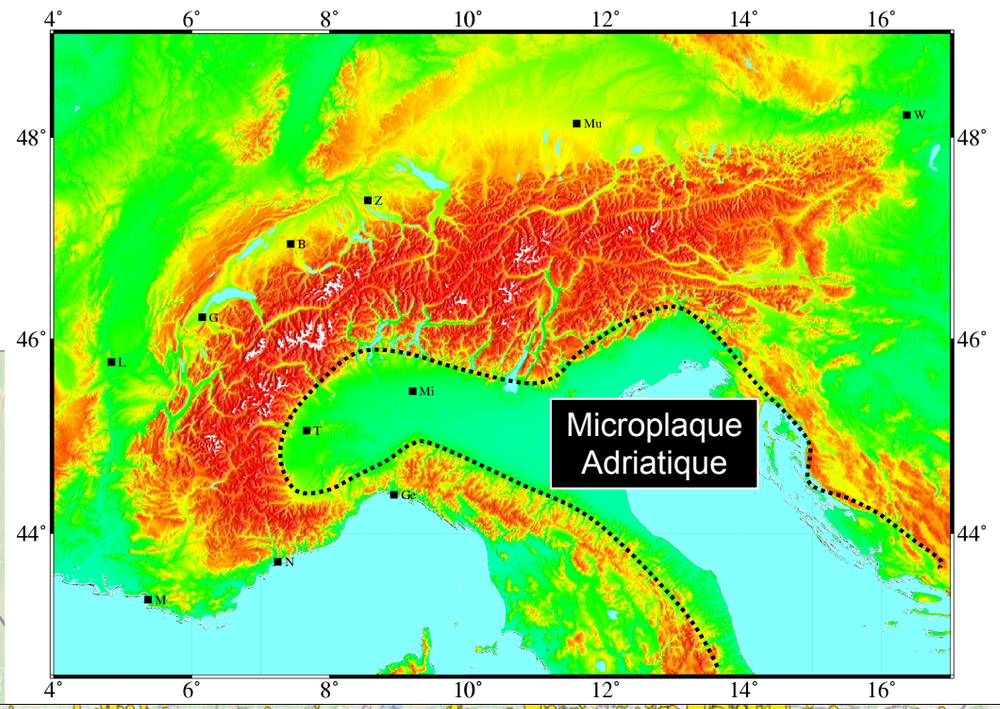


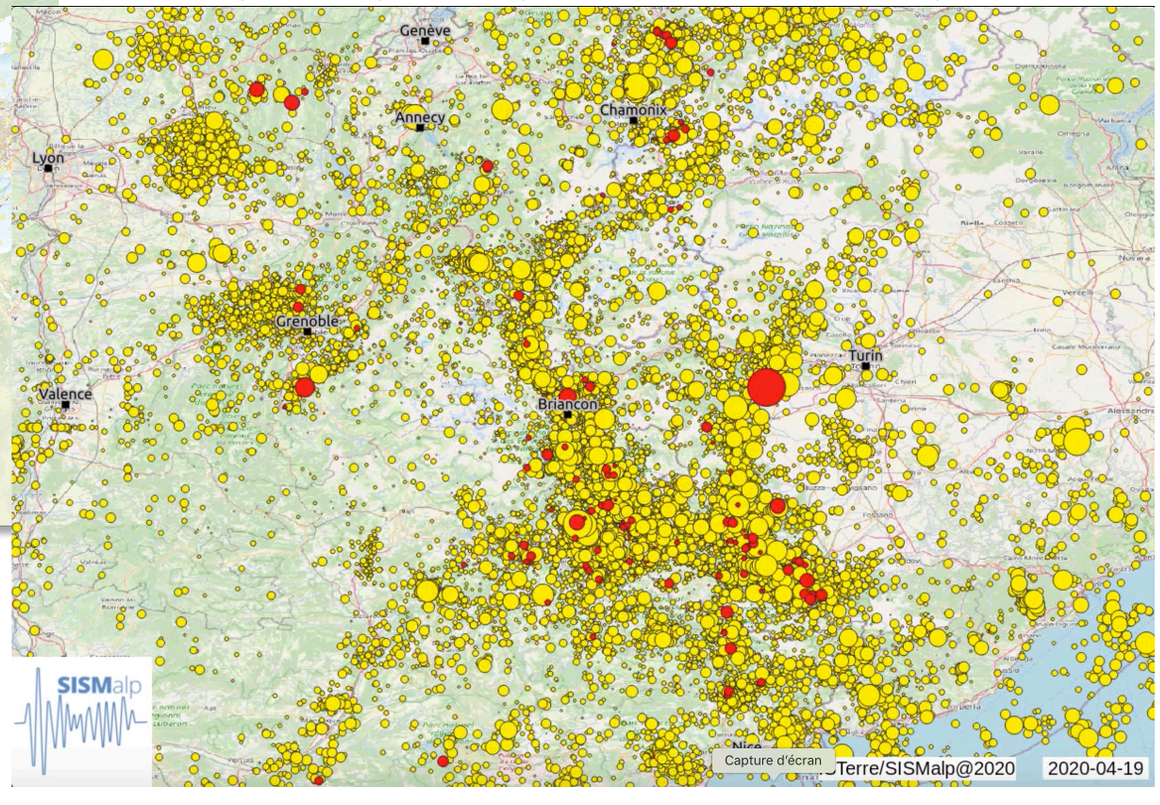
Depuis 1989 - **SISMalp**: réseau de surveillance de la sismicité des Alpes

Analyse de la sismicité des Alpes, imagerie de la croûte, information/education

Où se produisent les tremblements de terre







Depuis 1989 - **SISMalp**: réseau de surveillance de la sismicité des Alpes

Analyse de la sismicité des Alpes, imagerie de la croûte, information/education

Quel est le séisme contre lequel se protéger ?

Magnitude



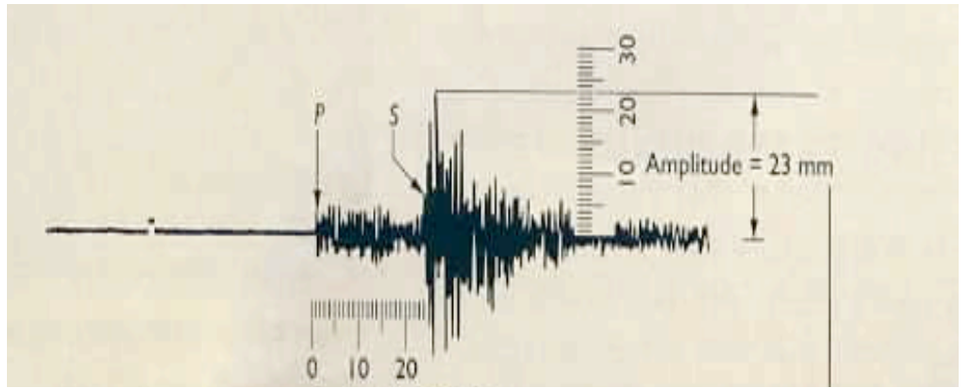
Charles F Richter
1900 -1985

1935 Magnitude de Richter ou Locale **M_L**

1936 Magnitude d'onde S **M_S** (Guttenberg et Richter)

1956 Magnitude de volume **Mb** (Guttenberg et Richter)

1977-1979 Magnitude de Moment **Mw** H. Kanamori



Un séisme = une magnitude et une seule

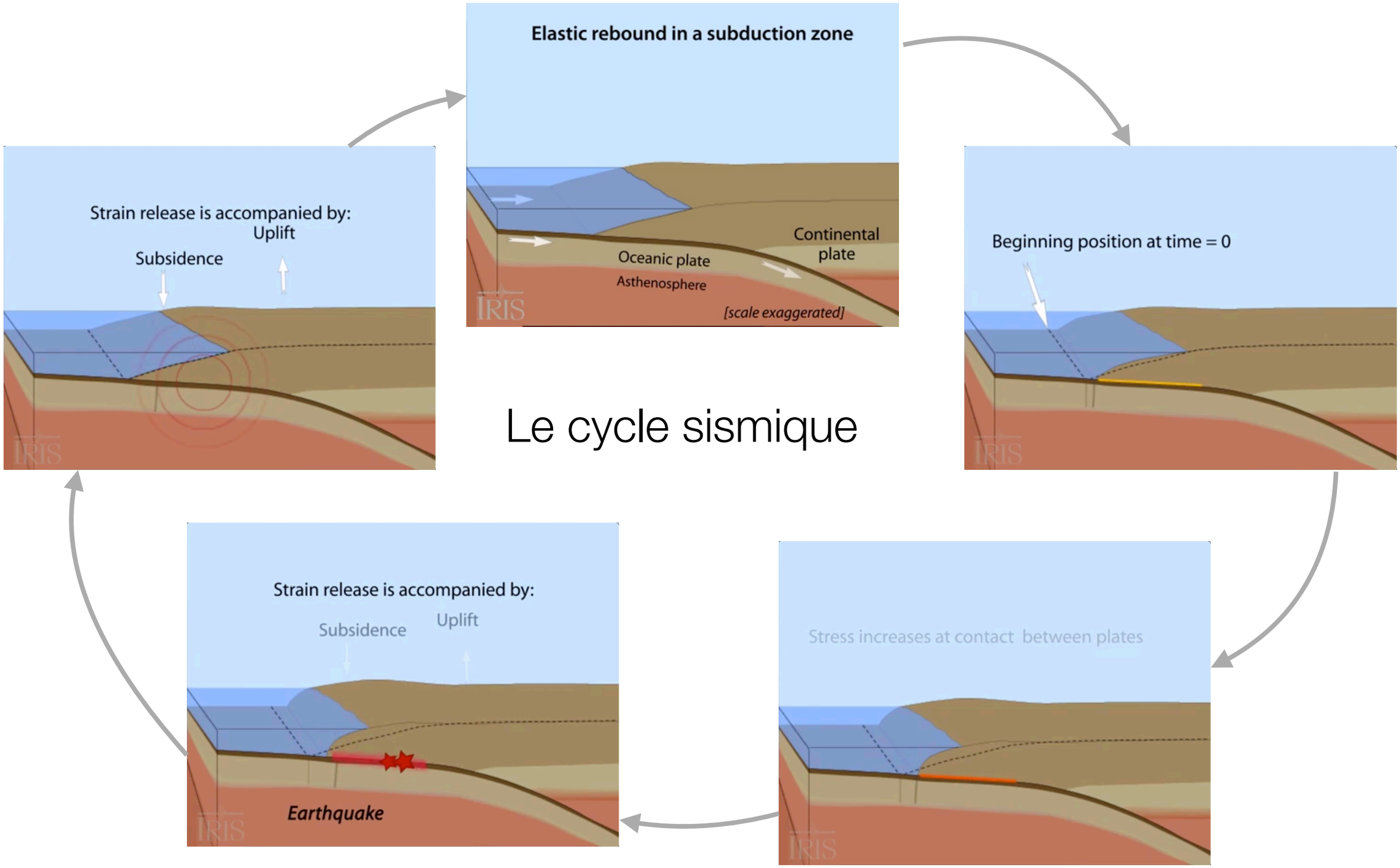
La magnitude M est proportionnelle à la longueur de la faille qui a rompu:

M = 2 : faille de 100 m de long
M = 4 : faille de 1 km de long
M = 6 : faille de 10 km de long

La magnitude M est proportionnelle au glissement sur la faille qui a rompu:

M = 2 : glissement de 0,3 cm
M = 4 : glissement de 3 cm
M = 6 : glissement de 30 cm

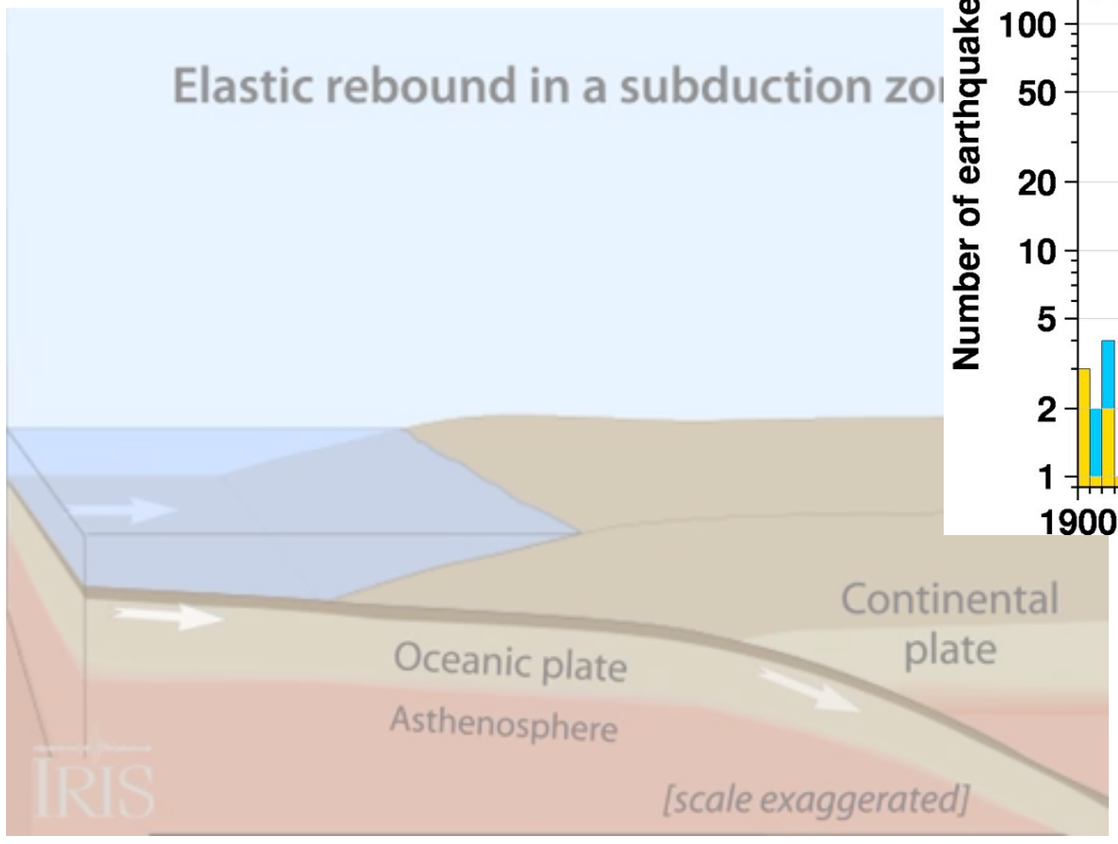
Quel est le séisme contre lequel se protéger ?

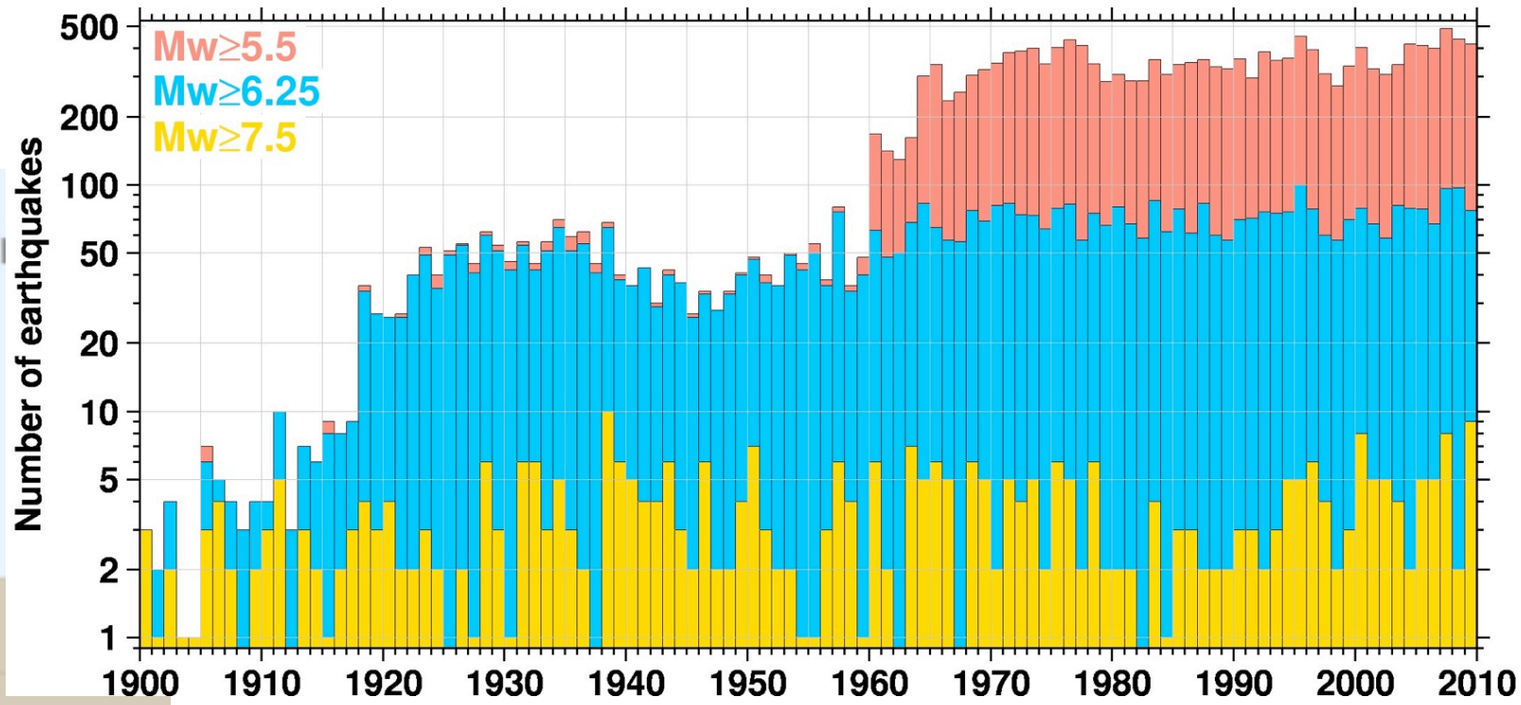


Le cycle sismique

Quel est le séisme contre lequel se protéger ?

Le cycle sismique





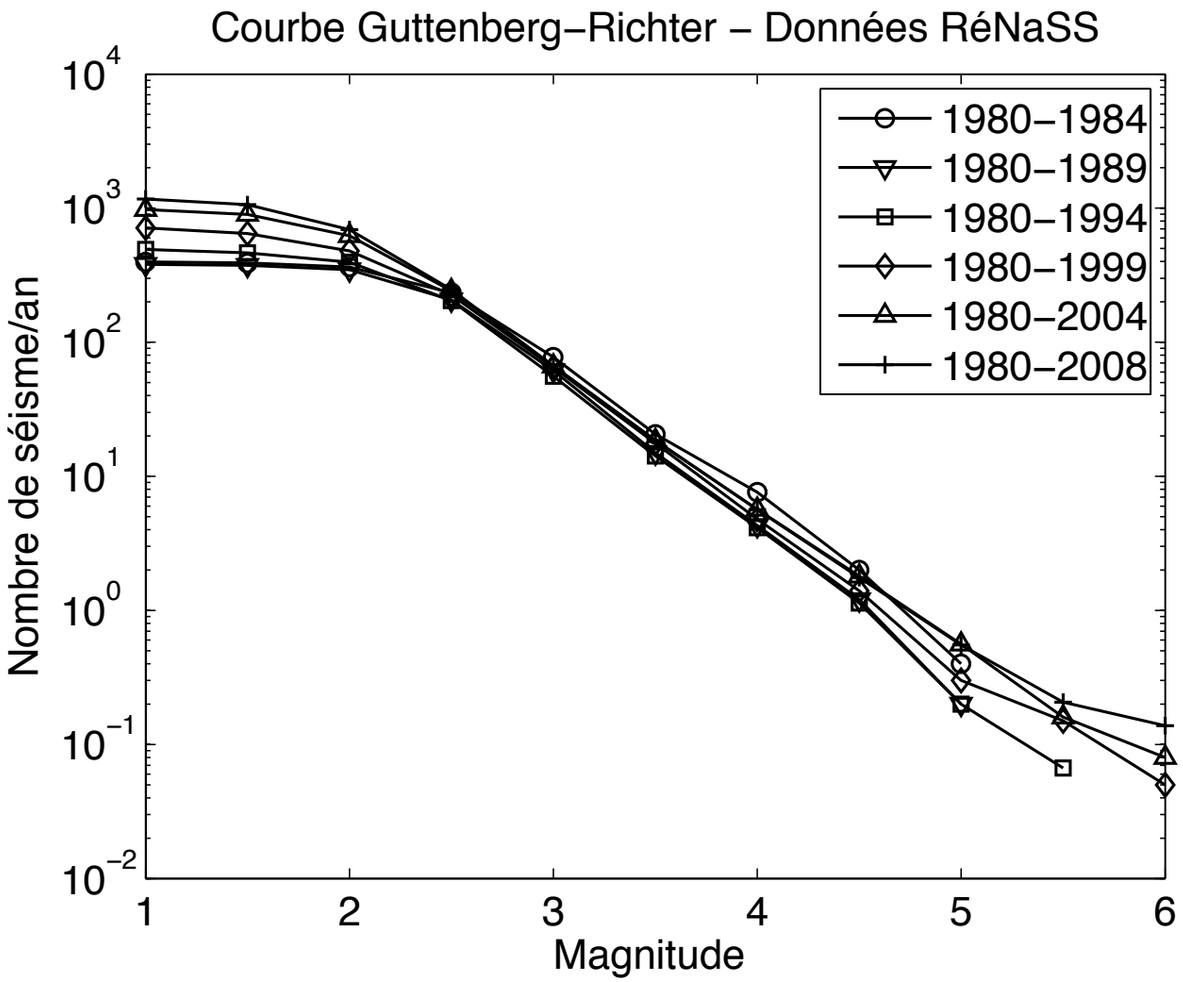
Source: ISC

Monde

- 3 000 séismes de M > 2 par jour
- 30 séismes de M > 4 par jour
- 1 séisme de M > 6 tous les 3 jours
- 1 séisme de M > 7 par mois
- 1 séisme de M > 9 tous les 10 ans

Quel est le séisme contre lequel se protéger ?

Cycle sismique en France



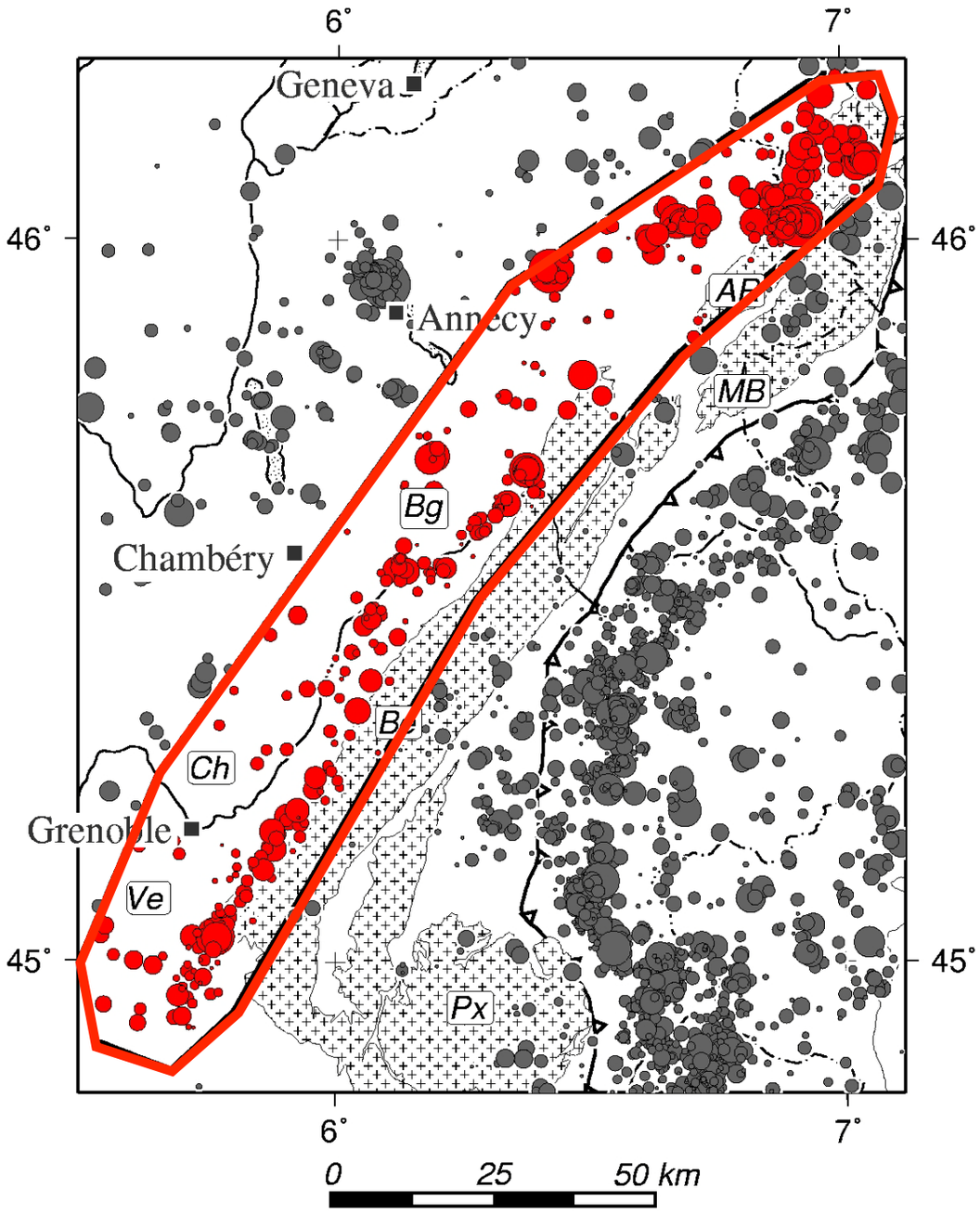
France

- 600 séismes de M > 2 par an
- 60 séismes de M > 3 par an
- 6 séismes de M > 4 par an
- 1 séisme de M > 5 tous les 10 ans
- 1 séisme de M > 6 tous les 100 ans

Sud-Est

- 300 séismes de M > 1 par an
- 30 séismes de M > 2 par an
- 3 séismes de M > 3 par an
- 1 séisme de M > 4 tous les 3 ans
- 1 séisme de M > 5 tous les 30 ans
- 1 séisme de M > 6 tous les 300 ans

Quel est le séisme contre lequel se protéger ?



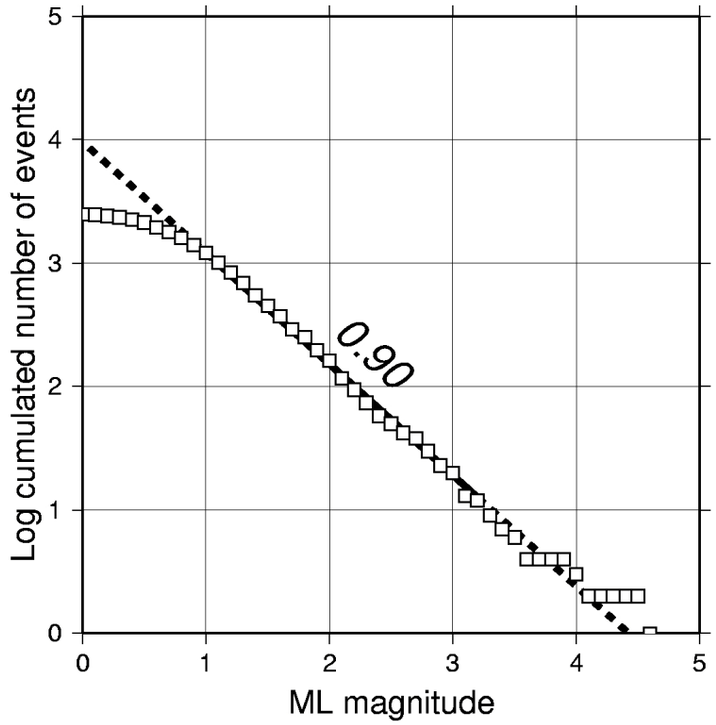
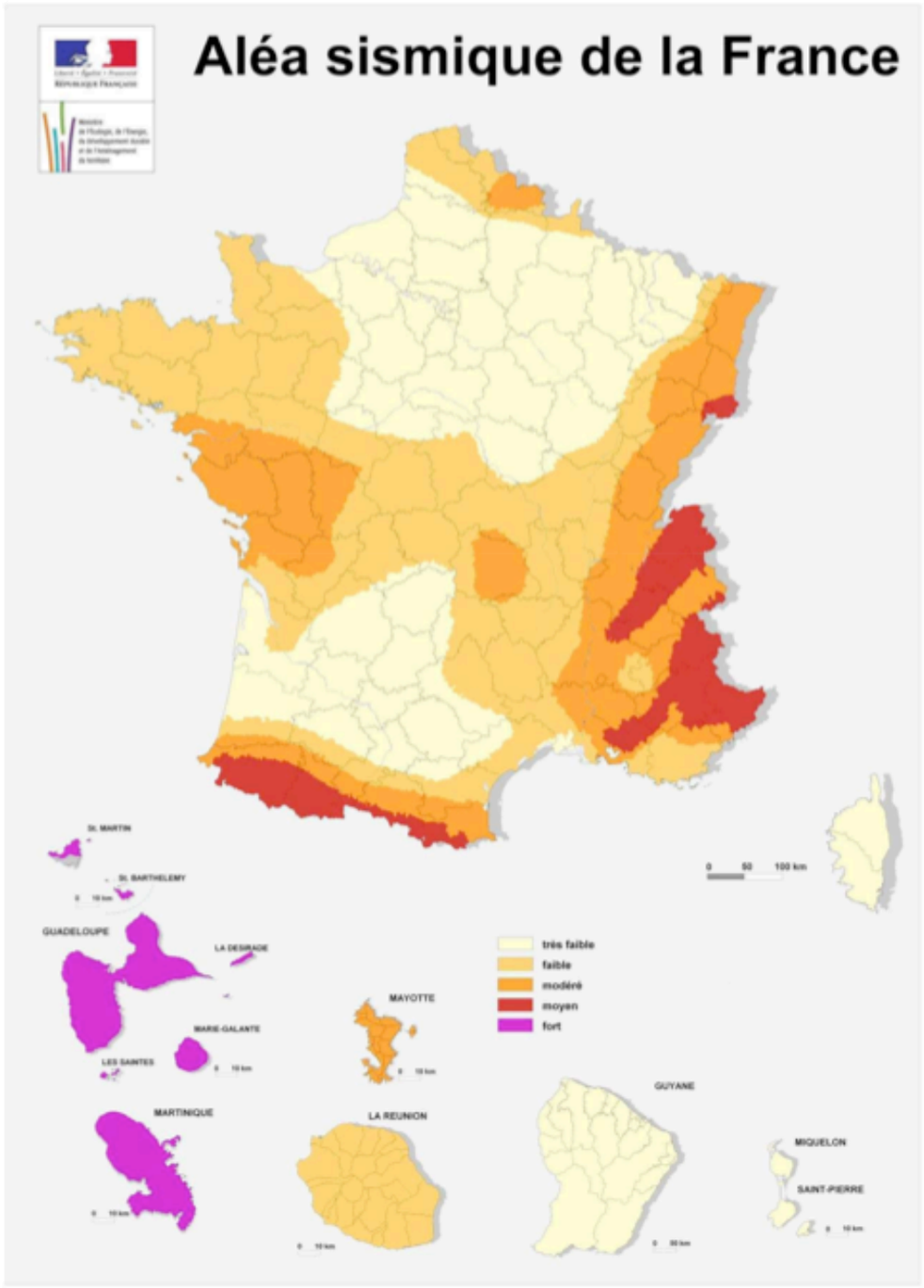


Figure 12. Diagramme de Gutenberg-Richter pour la totalité des séismes du domaine d'étude.

Magnitude	Domaine d'étude	Avant-pays	Domaine pennique	Subalpin	Subalpin S	Subalpin N
b	0.90 ± 0.05	0.89 ± 0.14	0.97 ± 0.08	0.78 ± 0.09	0.85 ± 0.15	0.72 ± 0.11
3.5	3	18	7	5	15	7
4	8	50	20	12	40	15
5	60	400	200	70	300	80
6	500	3 000	2 000	400	2 000	400
7	4 000	20 000	20 000	3 000	14 000	2 000

Thouvenot ISTerre

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?



La réglementation Française (EC8, 2011) impose pour le bâti courant :

P (10%) = risque accepté ou toléré

t (50) = durée de vie d'un ouvrage à construire

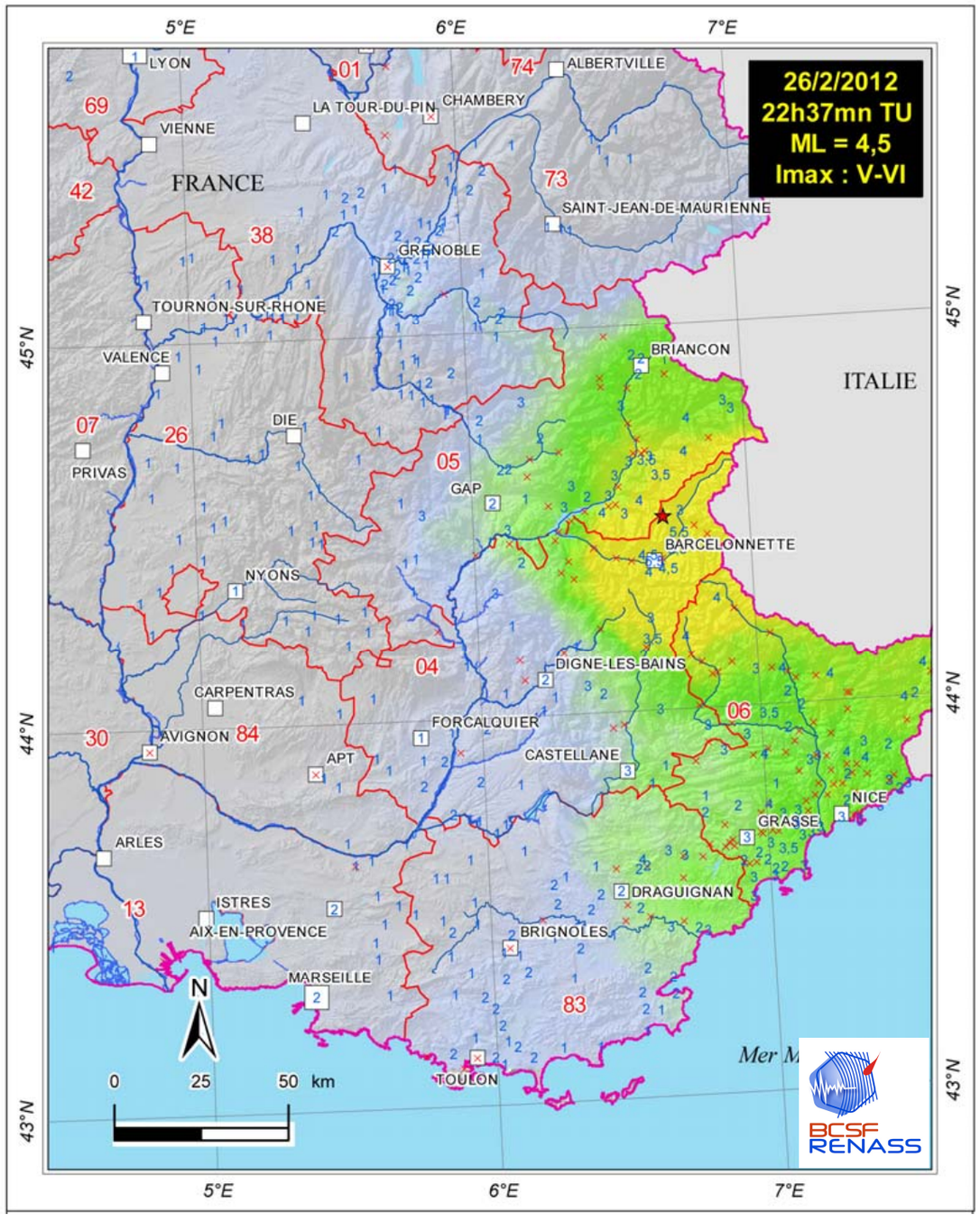
Période de retour de 475 ans.

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

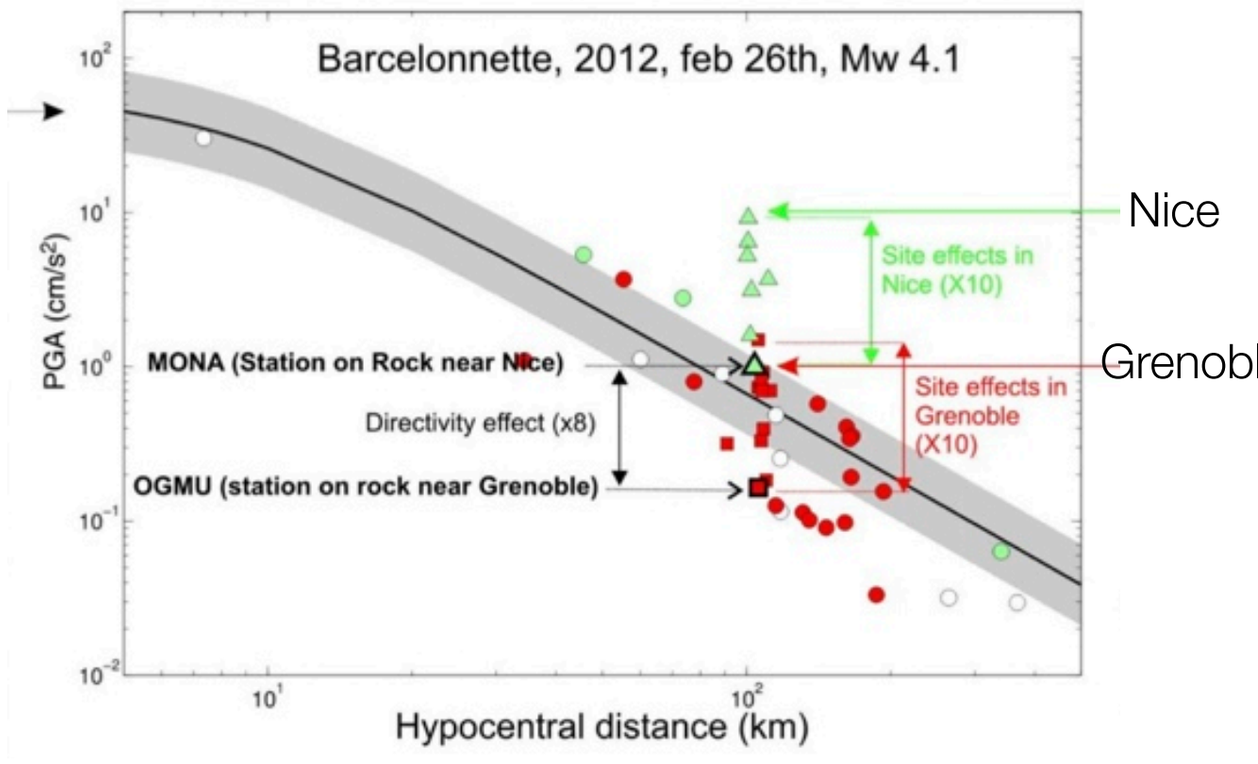
Le mouvement du sol généré par les séismes est à l’origine des conséquences

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

Prédire le mouvement du sol



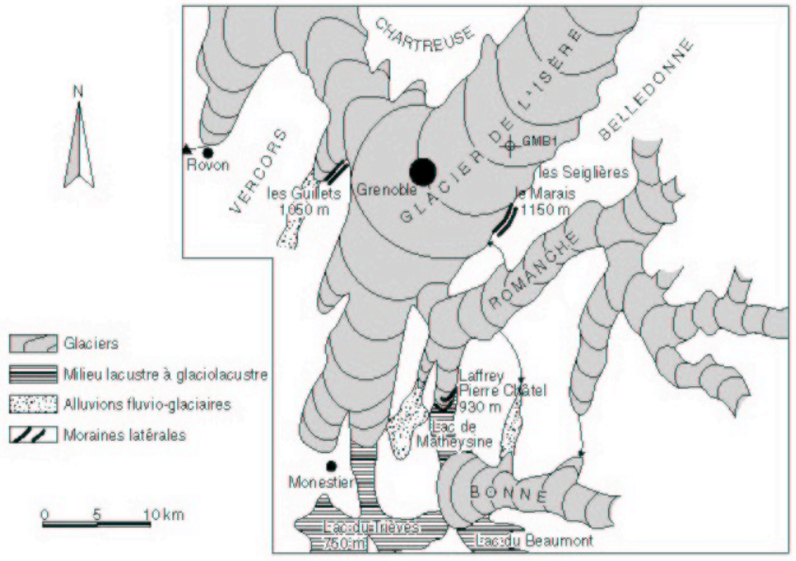
Modèle de prédiction Akkar/Bommer 2010



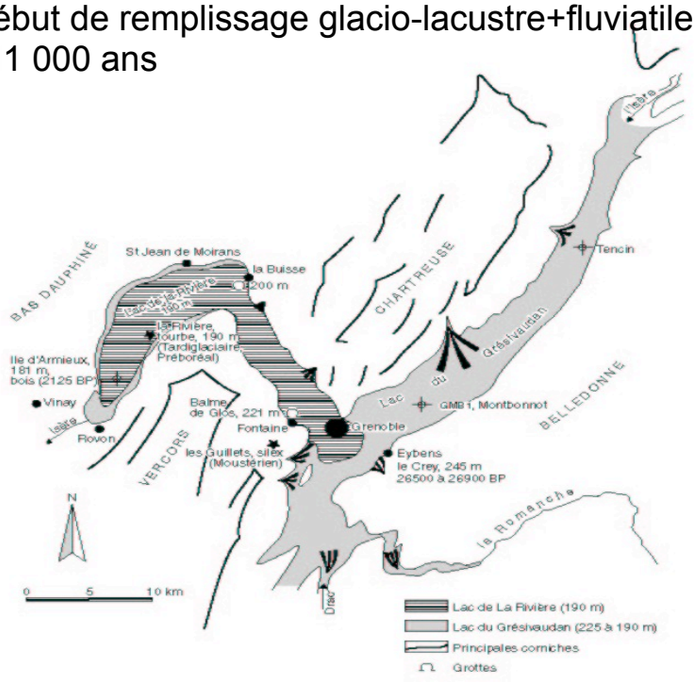
Courboulex et al. 2013

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

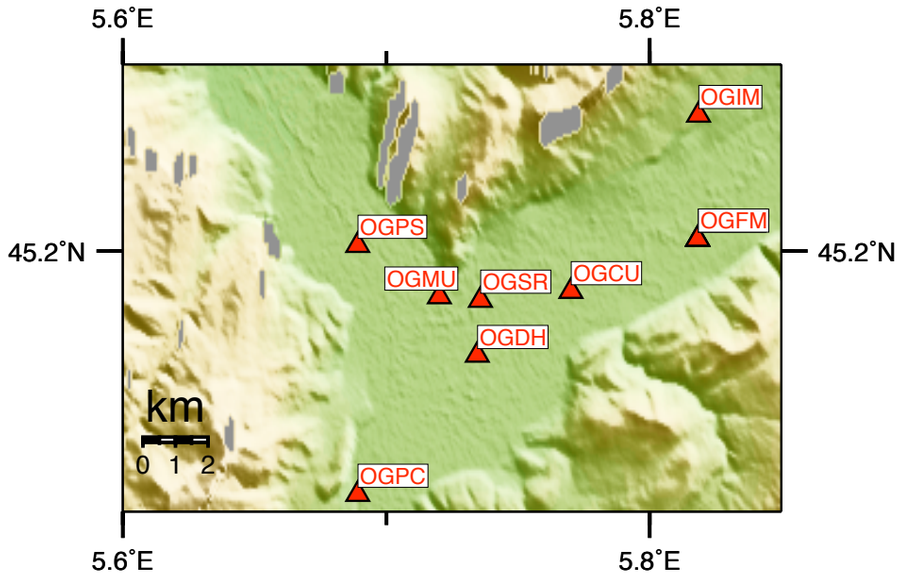
Extension maximale des glaciers du Würm autour de Grenoble
>40 000 ans

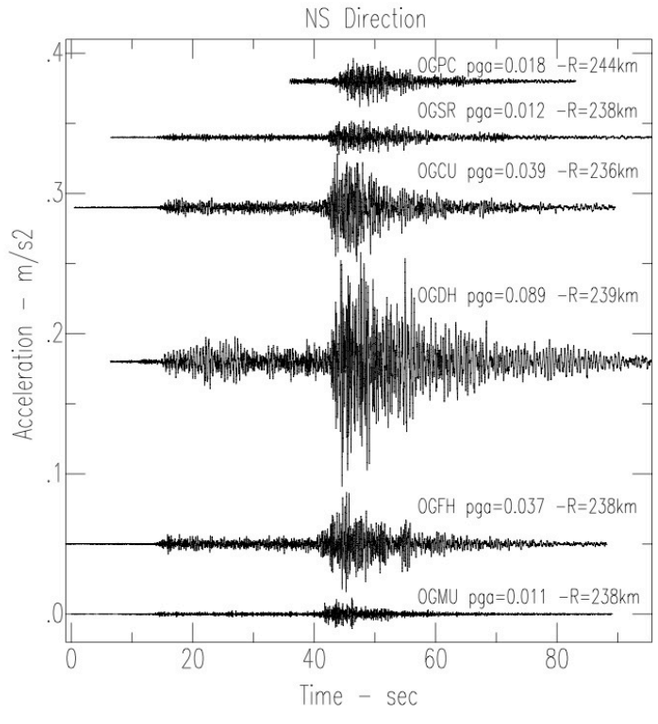


Début de remplissage glacio-lacustre+fluviatile
#11 000 ans



Nicoud et al, 2002

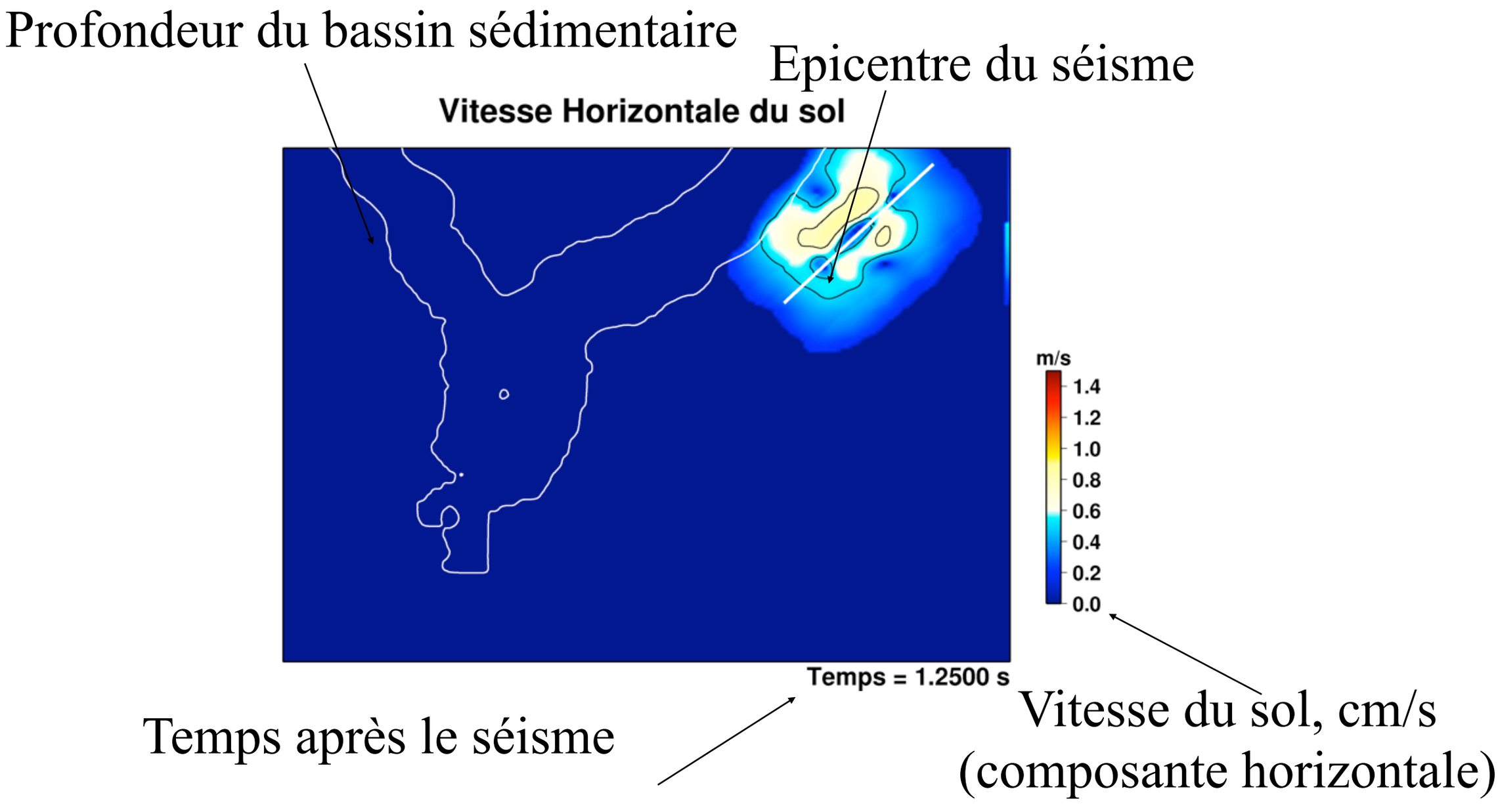




Lebrun et al., 2001; Cornou et al., 2003; Cornou and Bard, 2003
Chaljub et al., 2006; Guéguen et al., 2007; Guéguen et al., 2008

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

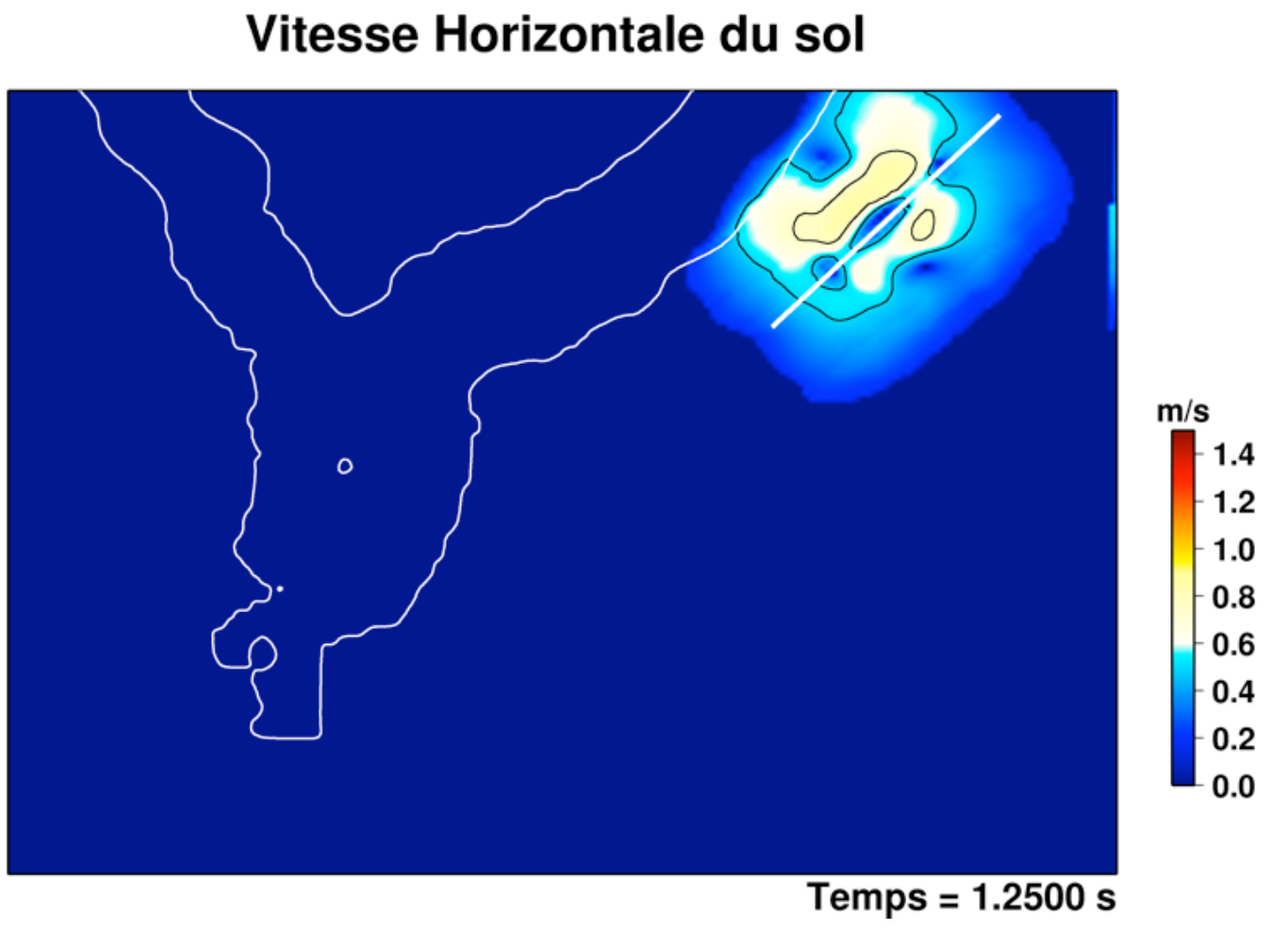
Prédire le mouvement du sol



Chaljub, ISTerre

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

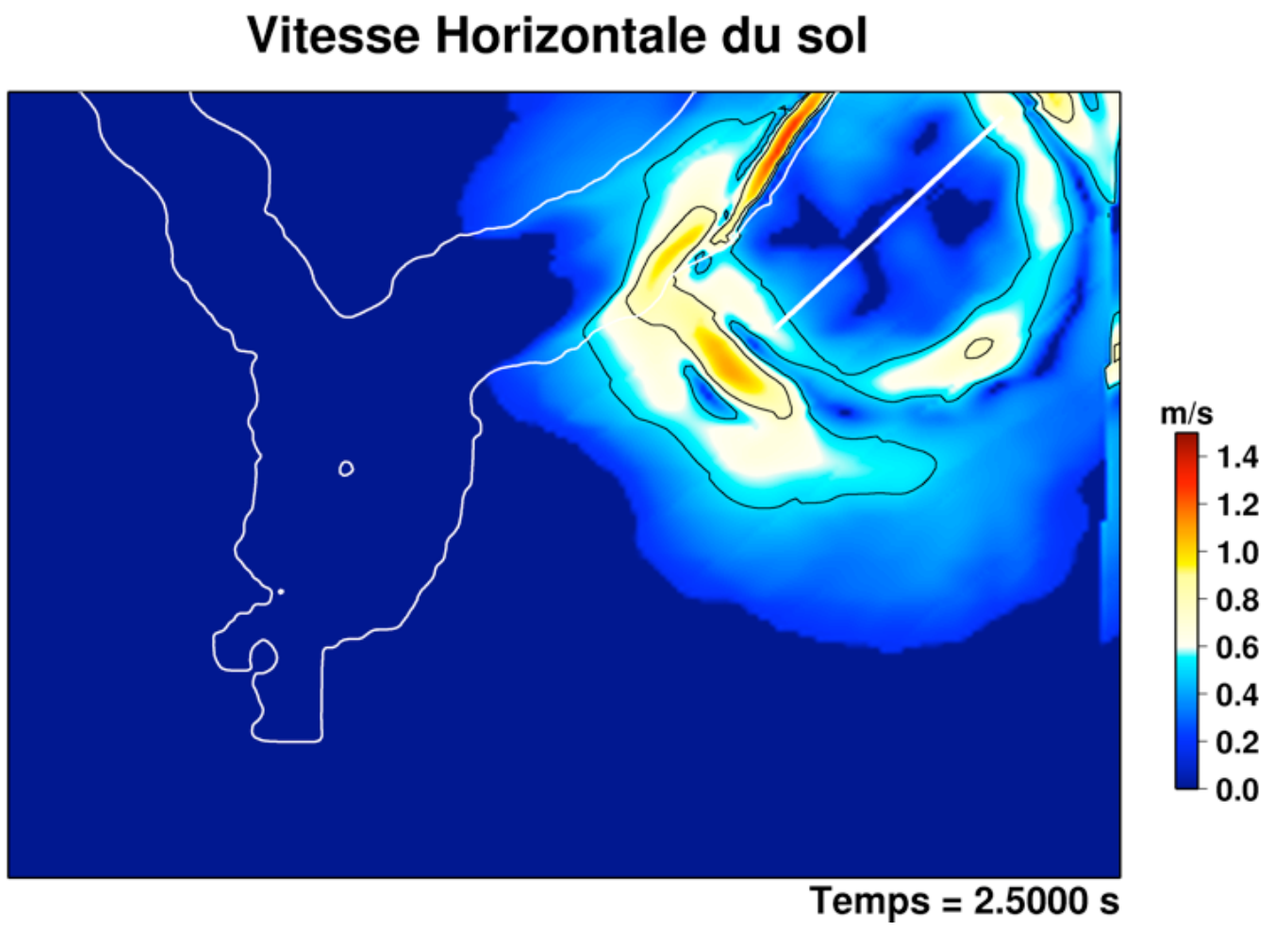
Prédire le mouvement du sol



Chaljub, ISTerre

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

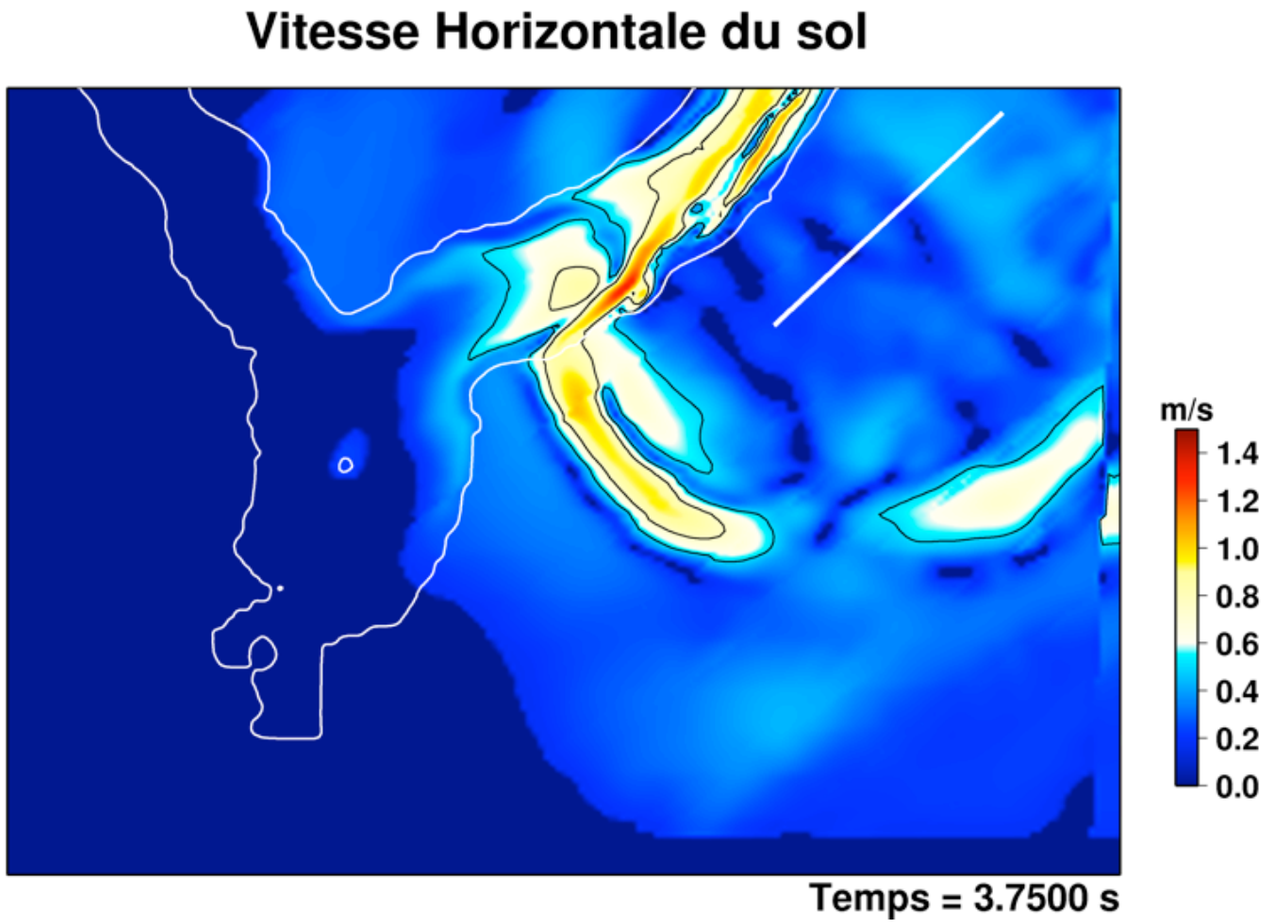
Prédire le mouvement du sol



Chaljub, ISTerre

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

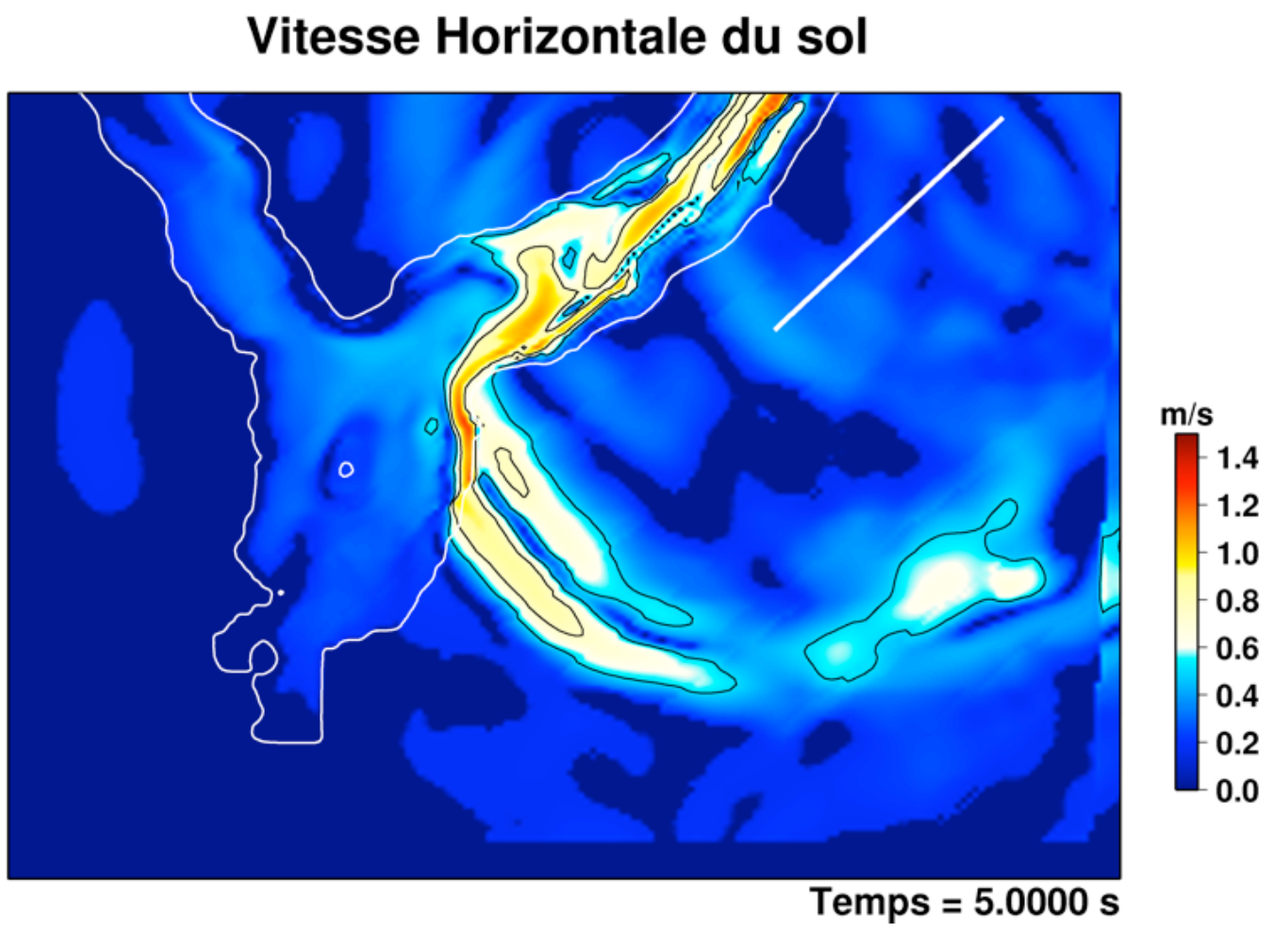
Prédire le mouvement du sol



Chaljub, ISTerre

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

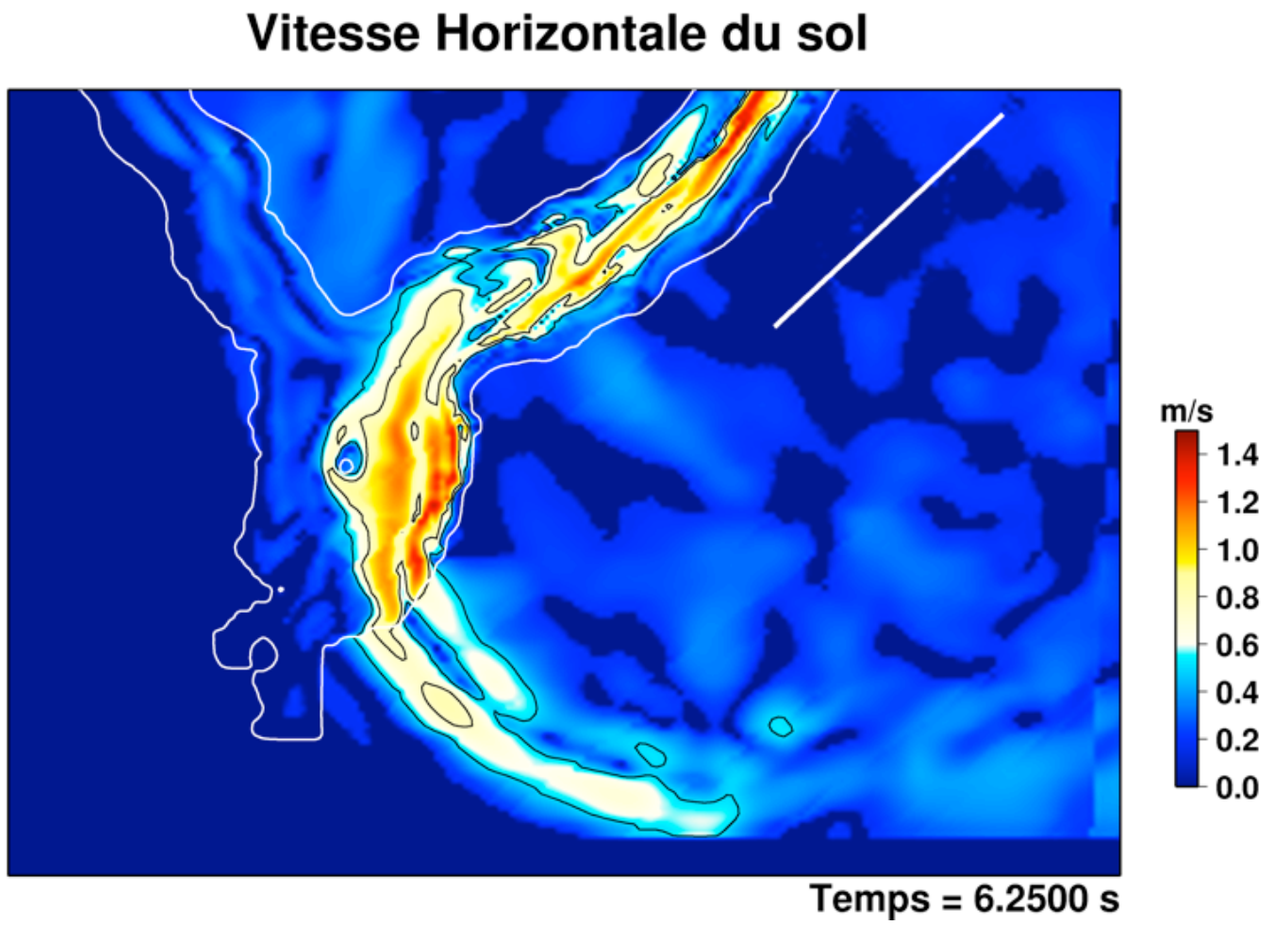
Prédire le mouvement du sol



Chaljub, ISTerre

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

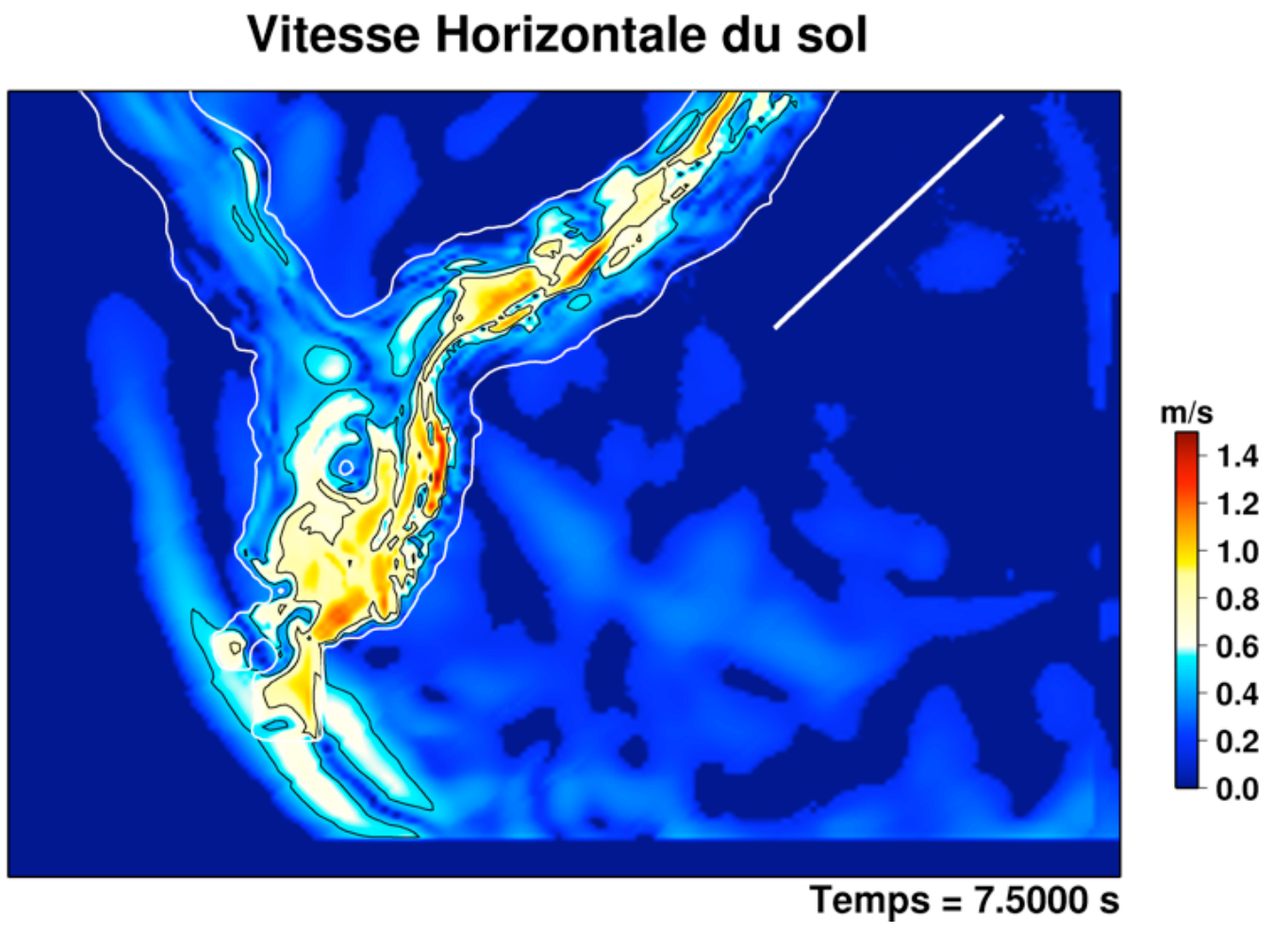
Prédire le mouvement du sol



Chaljub, ISTerre

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

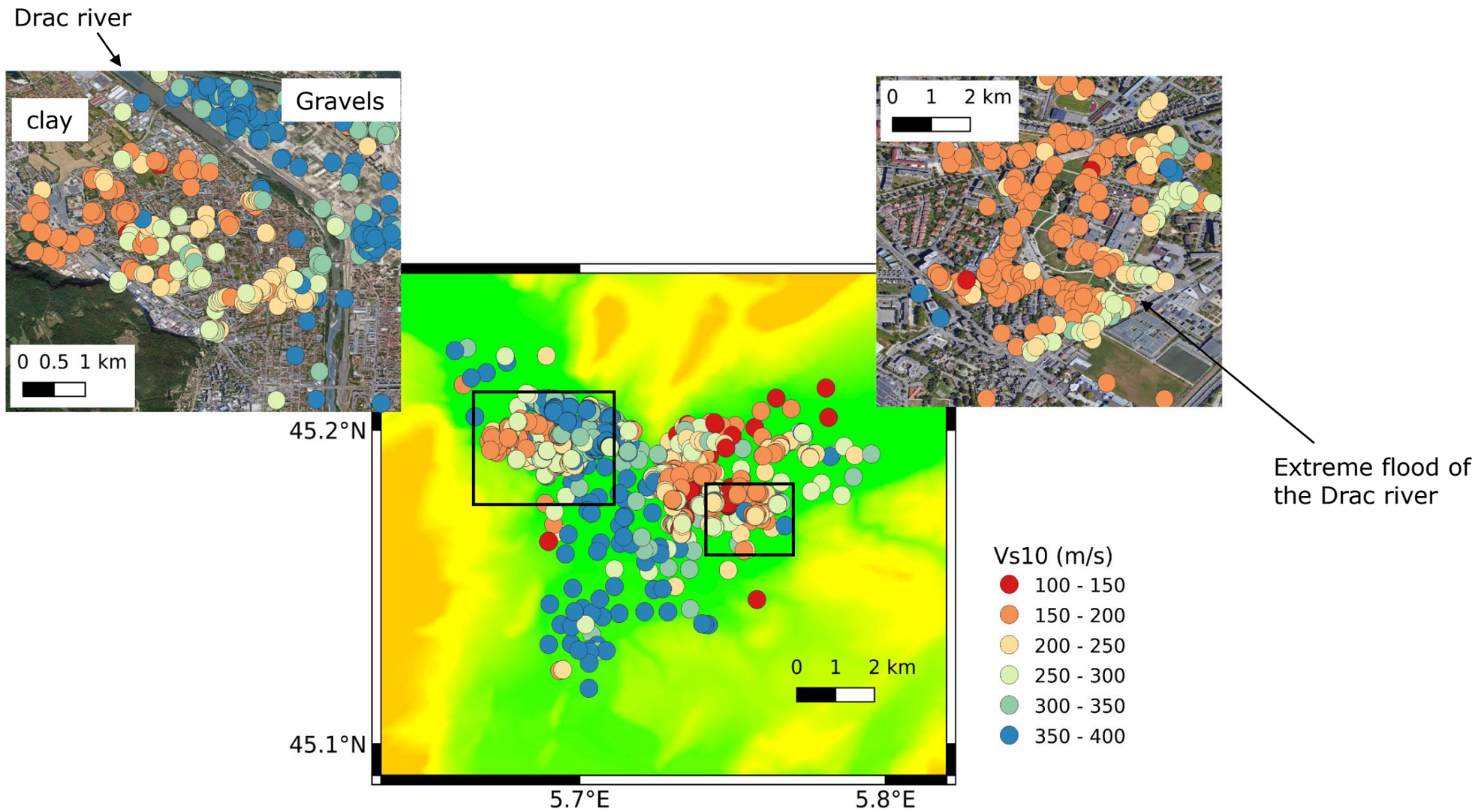
Prédire le mouvement du sol



Chaljub, ISTerre

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

Prédire le mouvement du sol

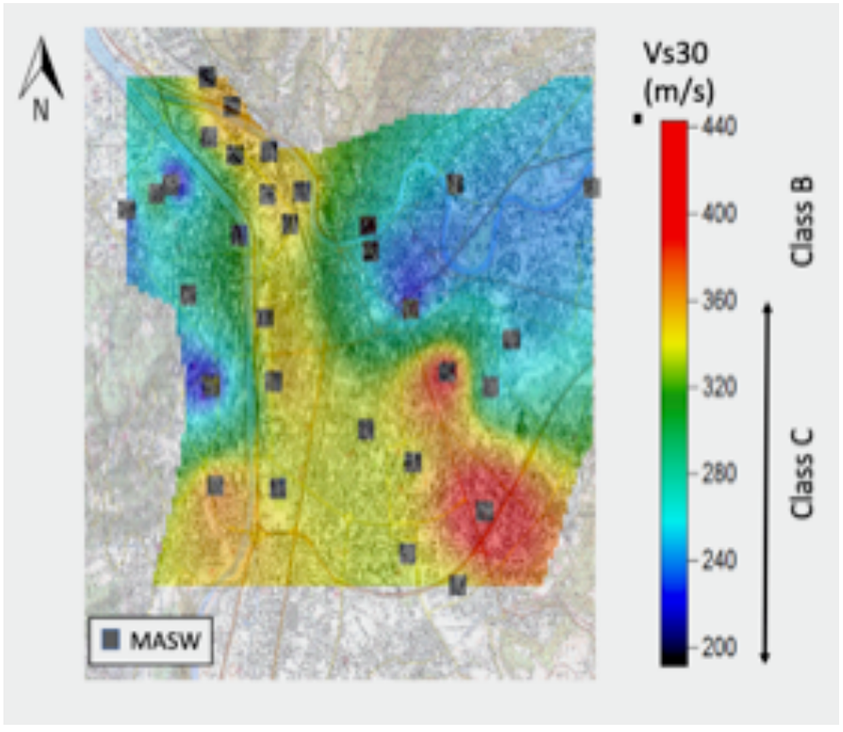


Compilation de l’ensemble des données pour construire un modèle géologique (géophysique, géologique, forages…)

Cornou, ISTerre

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

Prédire le mouvement du sol



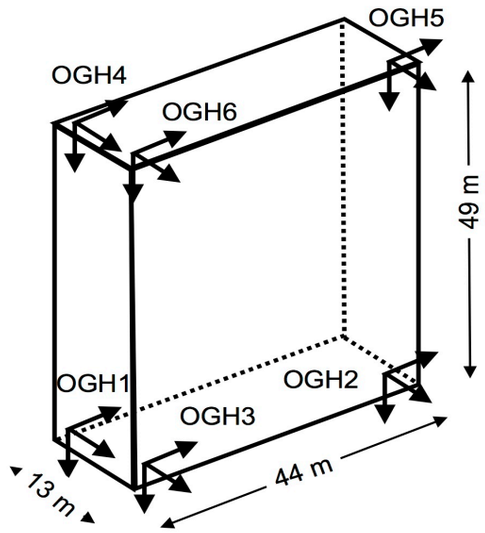
Classification Vs30 (réglementaire) dans la cuvette grenobloise

Cartier and Cornou, 2016

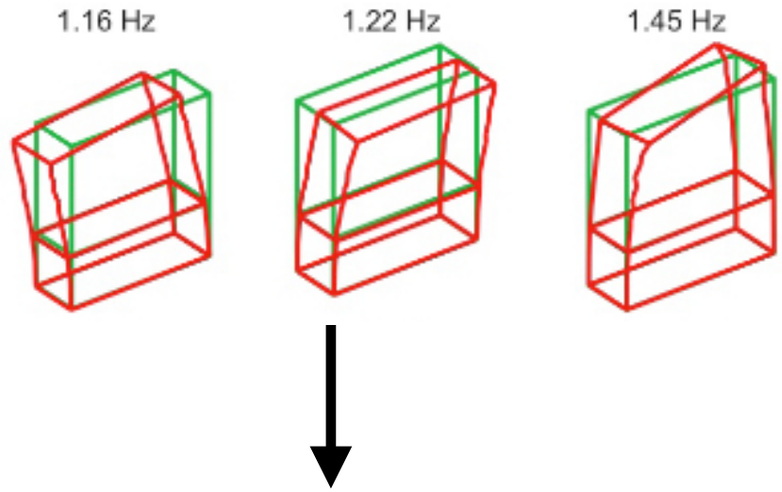
A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

Conséquences humaines et économiques

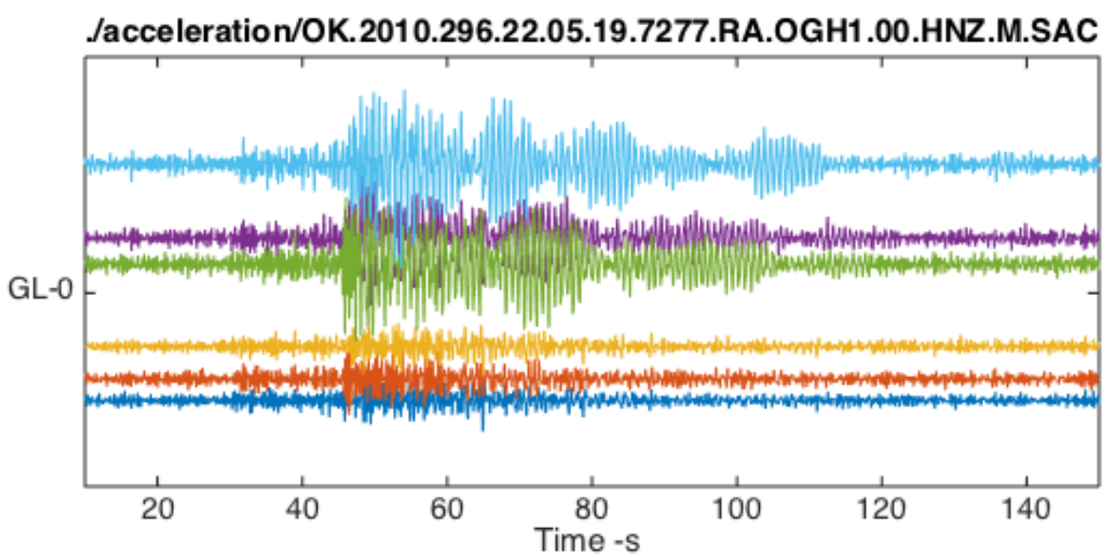


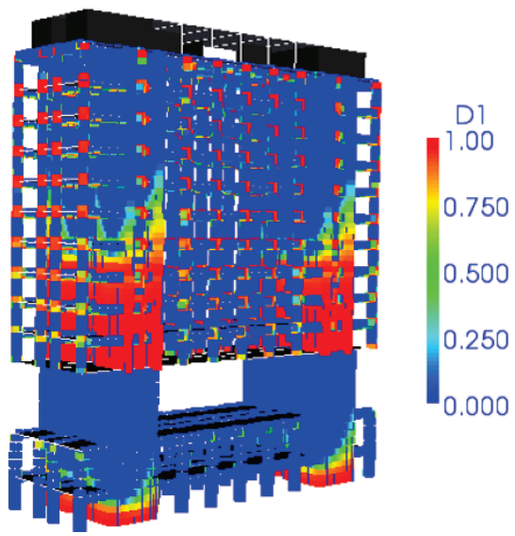


Ambient vibration test



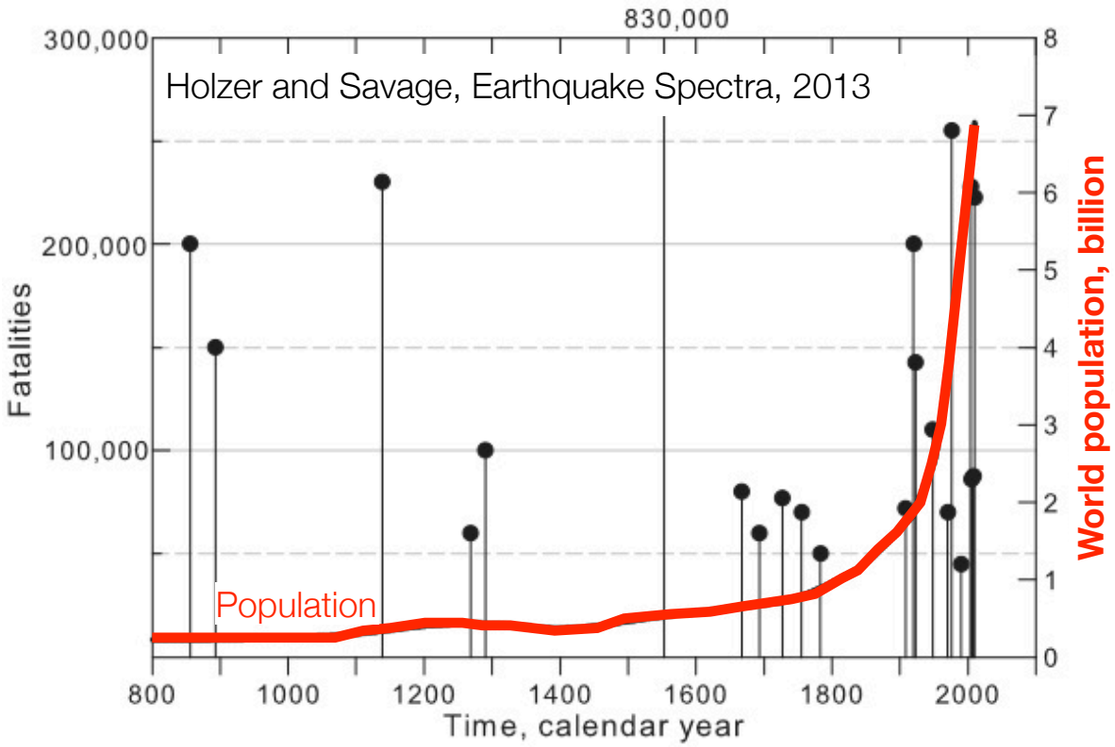
M 5.5 - 15 km Grenoble





A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

Conséquences humaines et économiques



En supposant le même nombre de séismes destructeurs entre le XXème et le XXIème siècle:
2.8 million de victimes d'ici 2100



Téhéran:
1950: 1 million d'habitants
2010: 10 million d'habitants

Ville détruite en 850 AC, 958, 1177, 1830

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

Conséquences humaines et économiques

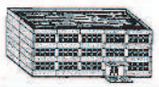
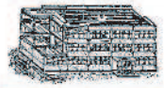
En fonction de la qualité sismique (vulnérabilité) des constructions

Source : EMS98

Typologie des Structures		Classe de Vulnérabilité A	B	C	D	E	F
MAÇONNERIE	Moellon brut - pierre tout-venant	○					
	Brique crue (adobe)	○	⊢				
	Pierre brute	⊢	○				
	Pierre Massive		⊢	○	⊣		
	Maçonnerie non armée avec des éléments préfabriqués	⊣	○	⊣			
	Maçonnerie non armée avec des planchers en béton armée		⊢	○	⊣		
	Maçonnerie renforcée ou chaînée			⊢	○	⊣	
BÉTON ARMÉ	Ossature sans conception parasismique	⊢	┄	○	⊣		
	Ossature avec un niveau moyen de conception parasismique		⊢	┄	○	⊣	
	Ossature avec un bon niveau de conception parasismique			⊢	┄	○	⊣
	Murs en béton armé sans conception parasismique		⊢	○	⊣		
	Murs en béton armé avec un niveau moyen de conception parasismique			⊢	○	⊣	
	Murs en béton armé avec un bon niveau de conception parasismique				⊢	○	⊣
ACIER	Bâtiments en charpente métallique			⊢	┄	○	⊣
BOIS	Bâtiments en bois de charpente		⊢	┄	○	⊣	

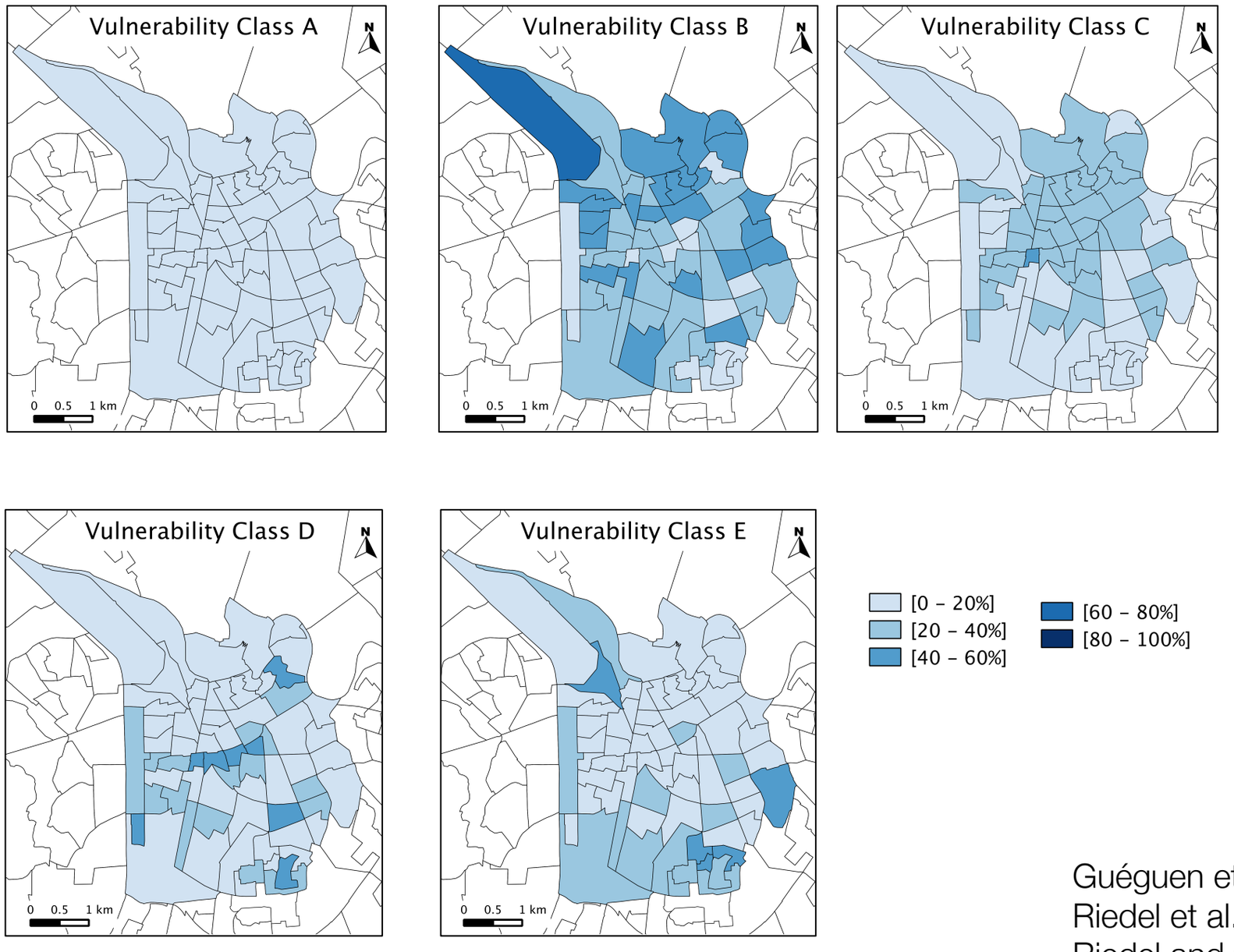
○ classe de Vulnérabilité — gamme la plus probable
--- gamme la moins probable, cas exceptionel

Intensité VI : *de nombreux bâtiments des classes A et B subissent des* dégâts de degré 1.
Quelques uns de classes A et B subissent des dégâts de degré 2.
Quelques uns de classe C subissent des dégâts de degré 1.

Echelle EMS98	1	2	3	4	5
Structure en maçonnerie					
Structure en béton armé					
Dommage moyen	[0.0 – 0.2[	[0.2 – 0.4[	[0.4 – 0.6[	[0.6 – 0.8[	[0.8 – 1.0[

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

Conséquences humaines et économiques



Guéguen et al., 2007
Riedel et al., 2014, 2016
Riedel and Guéguen, 2018

fondation MAIF pour la recherche

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

Conséquences humaines et économiques

Probabilité des pertes humaines
pour un scénario sismique



Dommages légers

10^{-4} à 10^{-3}



10^{-6} à 10^{-4}

Effondrement des bâtiments



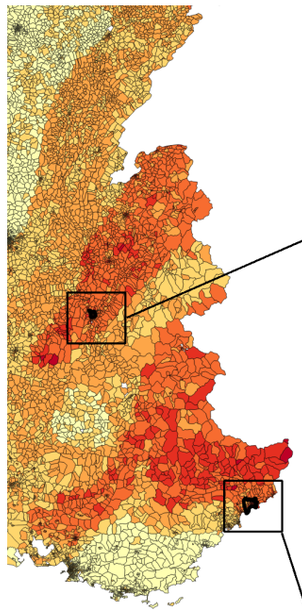
Mortalité individuelle

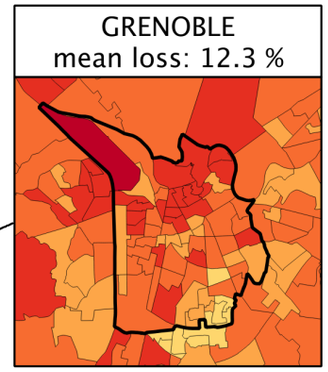
10^{-7} à 10^{-6} dans les quartiers périphériques

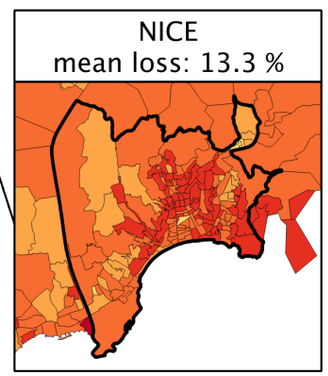
10^{-6} à 10^{-5} dans le centre ancien

Probabilité pertes économiques directes
exprimées en % de la valeur des biens

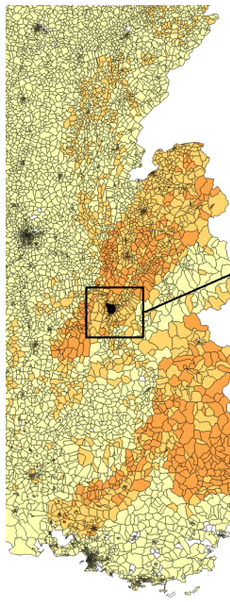
T=475 ans

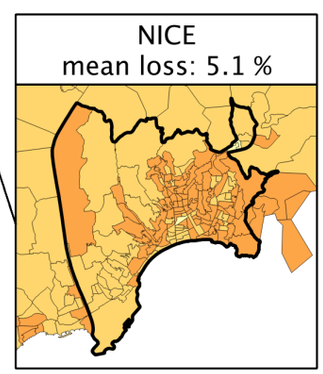






T=95 ans





Mortalité annuelle sur la route en 2008 : $7x10^{-5}$

Guéguen et al., 2007
Riedel et al., 2014, 2016
Riedel and Guéguen, 2018

fondation MAIF pour la recherche

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

Engagement de la responsabilité et des conséquences juridiques

$$ER = \sigma_{moyens} \times \mu_{cons}$$

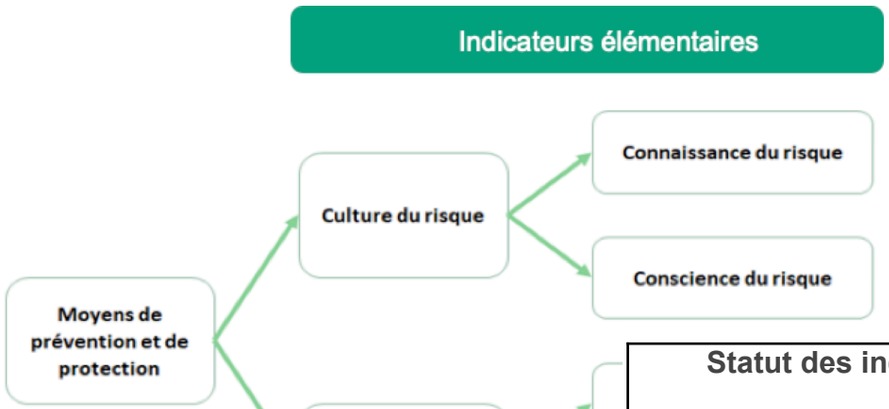
En fonction du préjudice, modélisation des conséquences juridiques

- analyse des jurisprudences (Tempête Cynthia, séismes de l'Aquila etc…)
- matrice des moyens (connaissance, conscience, mesures de prévention, mesures d'urbanisme)
- selon une démarche d'amélioration continue de la qualité (roue de Deming) et une représentation selon la méthode ALARP

Thématiques	Eléments d'appréciation du juge
Connaissance	Cadre juridique et décisionn missions de l'élu.
	Connaissances scientifiques
	Vulnérabilité territoire.
	Connaissance des rôles pré local, régional ou national pa
Appropriation du risque sismique	Frise historique.
	Compétences spécifiques p
	Politique de maîtrise de l'urb
	Etudes d'impacts socioécor
	Participation à des travaux d
	Stratégie de résilience intégr
	Information et prévention des populations.
	Contrôle de légalité de l'application des règles parasismiques par

Classe	Dommages humains	Dommages économiques	Coef cons
Incident	Aucun blessé	Moins de 0,3 M€	
Accident	Un ou plusieurs	Entre 0,3 M€ et 3 M€	
Accident grave	1 à 9 morts	Entre 3 M€ et 30 M€	
Accident très grave	10 à 99 morts	Entre 30 M€ et 300 M€	
Catastrophe	100 à 999	Entre 300 M€ et	4
Catastrophe majeure	1 000 morts et plus	3 000 M€ et plus	5

Mission d'inspection MTES, 2020



Statut des indicateurs	Niveau
Absent	1
Définir, Planifier, Réaliser et Mesurer	2
Analyser et Contrôler	3
Améliorer, Ajuster et Pérenniser	4

Dollet, 2021
Dollet and Guéguen, 2020

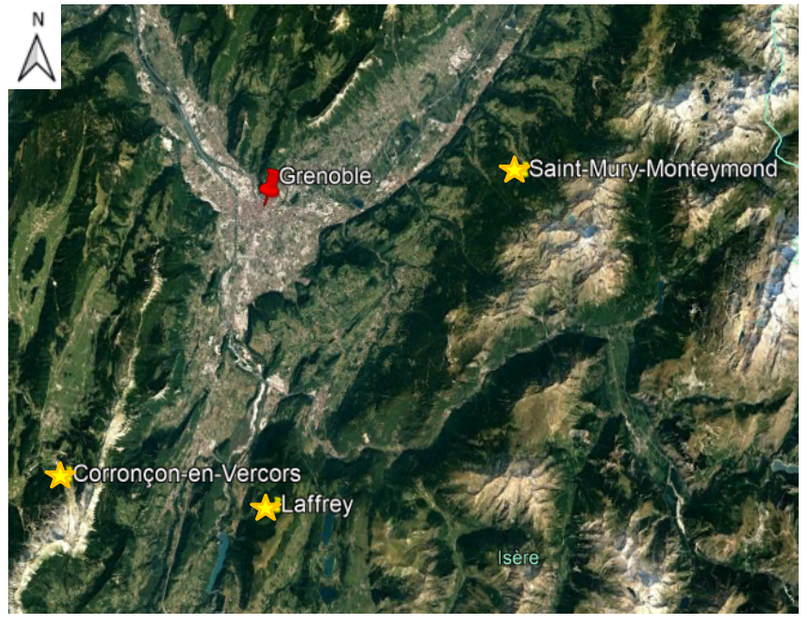
fondation MAIF pour la recherche

A quel niveau de risque sommes nous exposés ?

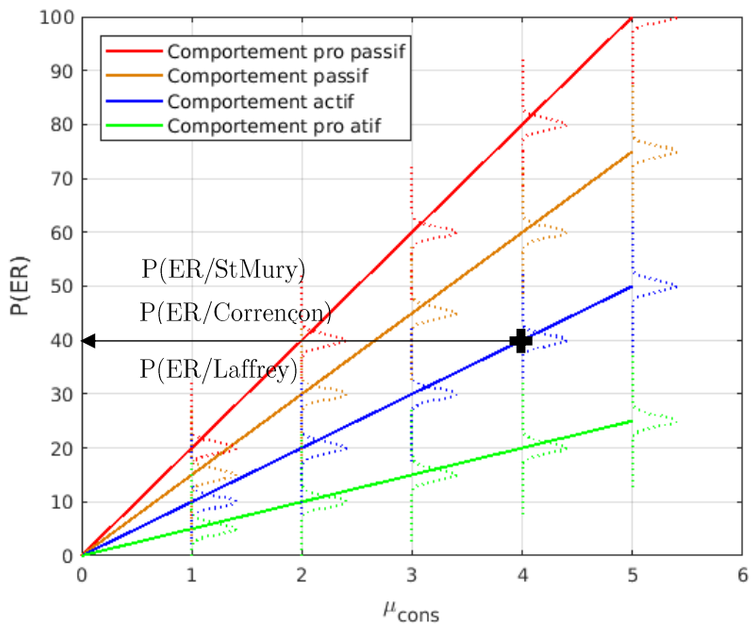
Pertes économiques et sociales et conséquences juridiques

3 scénarios sismiques

Mag/prof	Scénario	I0	F	J	L$US (Milliards)	Part L$US rapport au PIB_{exp} total
5.5/5km	**Laffrey**	VII	240	825	15.971	26 %
5.5/7km	**Corrençon-en-Vercors**	VII	154	789	5.998	8 %
5.7/7km	**Saint-Mury-Monteymond**	VII	156	837	5.323	6 %



Classe du Préjudice	Incident	Accident	Accident grave	Accident très grave	Catastrophe	Catastrophe majeure
Moyens < 25%						
25% ≤ Moyens < 50%						
50%≤Moyens <75%					(1) Laffrey (2) Corren. (3) St-Mury	
75% ≤ Moyens						



Dollet, 2021
Dollet and Guéguen, 2020

fondation MAIF pour la recherche

Conclusions

Grenoble est en zone sismique modérée
M5-6 à proximité de Grenoble

Configuration particulière des vallées alpines —> vers un zonage sismique?

Un bâti existant vulnérable

Une commune pro-active en terme d'évaluation et de prise en compte

Bien évidemment, peut mieux faire!

Risque sismique dans le bassin grenoblois

Philippe Guéguen
ISTerre @ Université de Grenoble Alpes/CNRS/UGE

philippe.gueguen@univ-grenoble-alpes.fr

Merci de votre attention

Avec le soutien de

URBASIS-Décision - Analyse multi-critères de la réglementation parasismique applicable aux bâtiments publics. Responsabilité acceptable

SISM@lp-Swarm: Processus et conséquence des essaims de sismicité dans les Alpes. Mieux informer pour mieux interpréter.

URBASIS-EU - New Challenges for Urban Engineering Seismology - ITN-MSCA H2020: grant number 813137