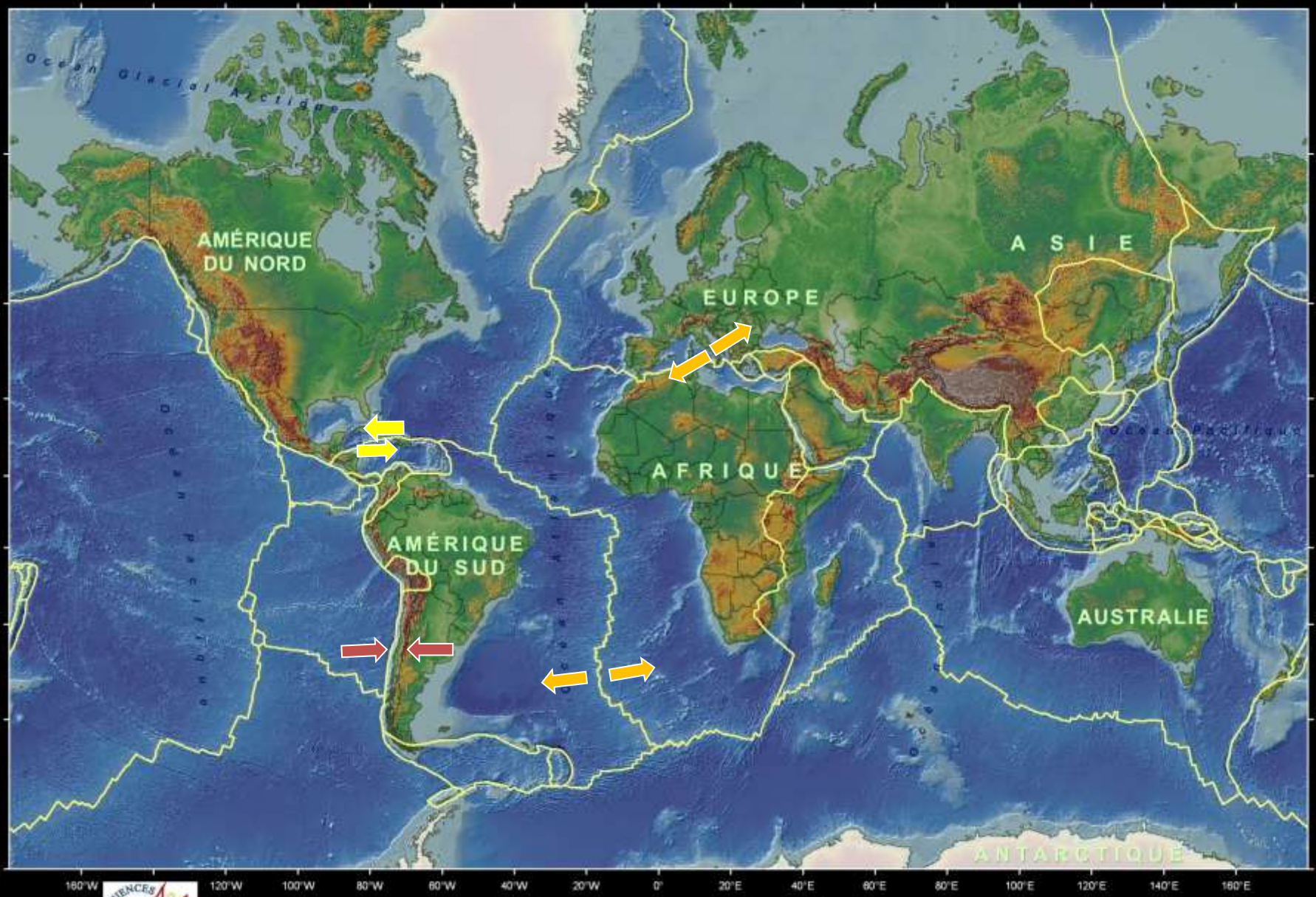
A quoi servent les petits séismes ?

Françoise Courboulex, chercheuse CNRS

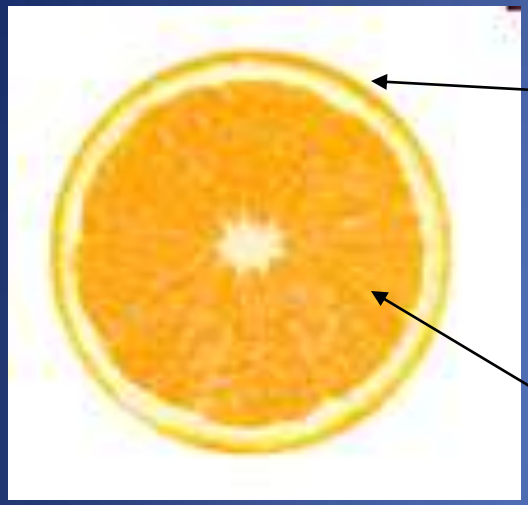
Ensemble par delà les frontières



Limites des plaques tectoniques

Bird P. : An updated digital model of plate boundaries, Geochemistry Geophysics Geosystems, 4(3), 1027, 2003.

Quelle est l'origine des séismes ?

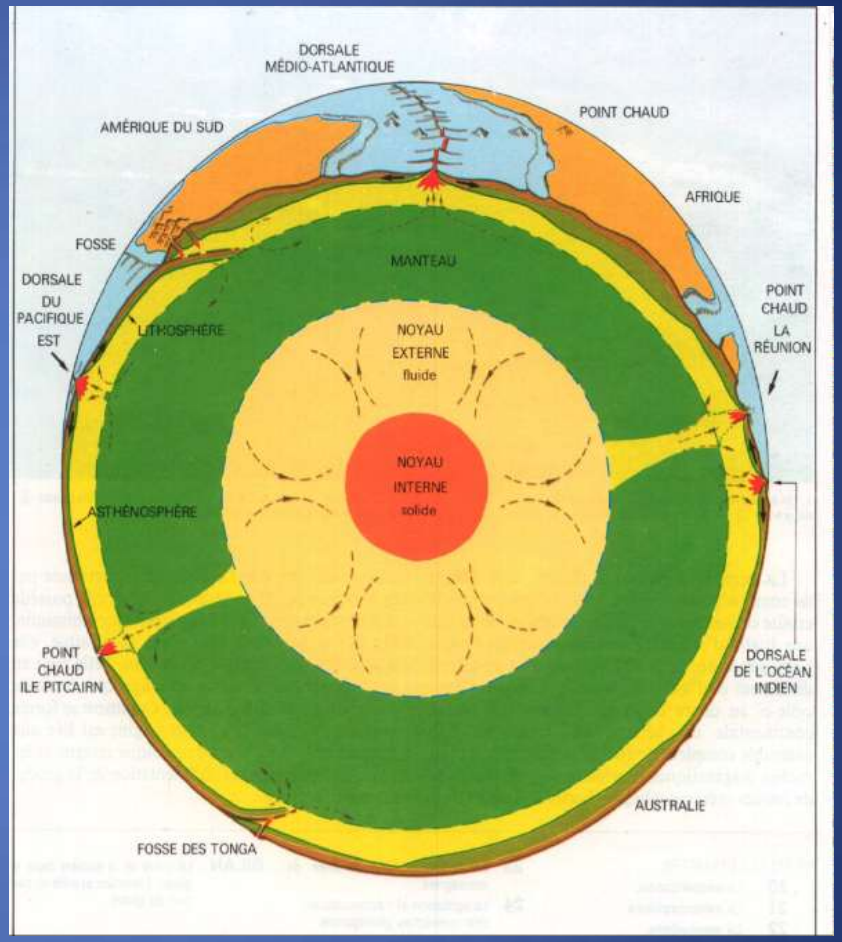


écorce

lithosphère

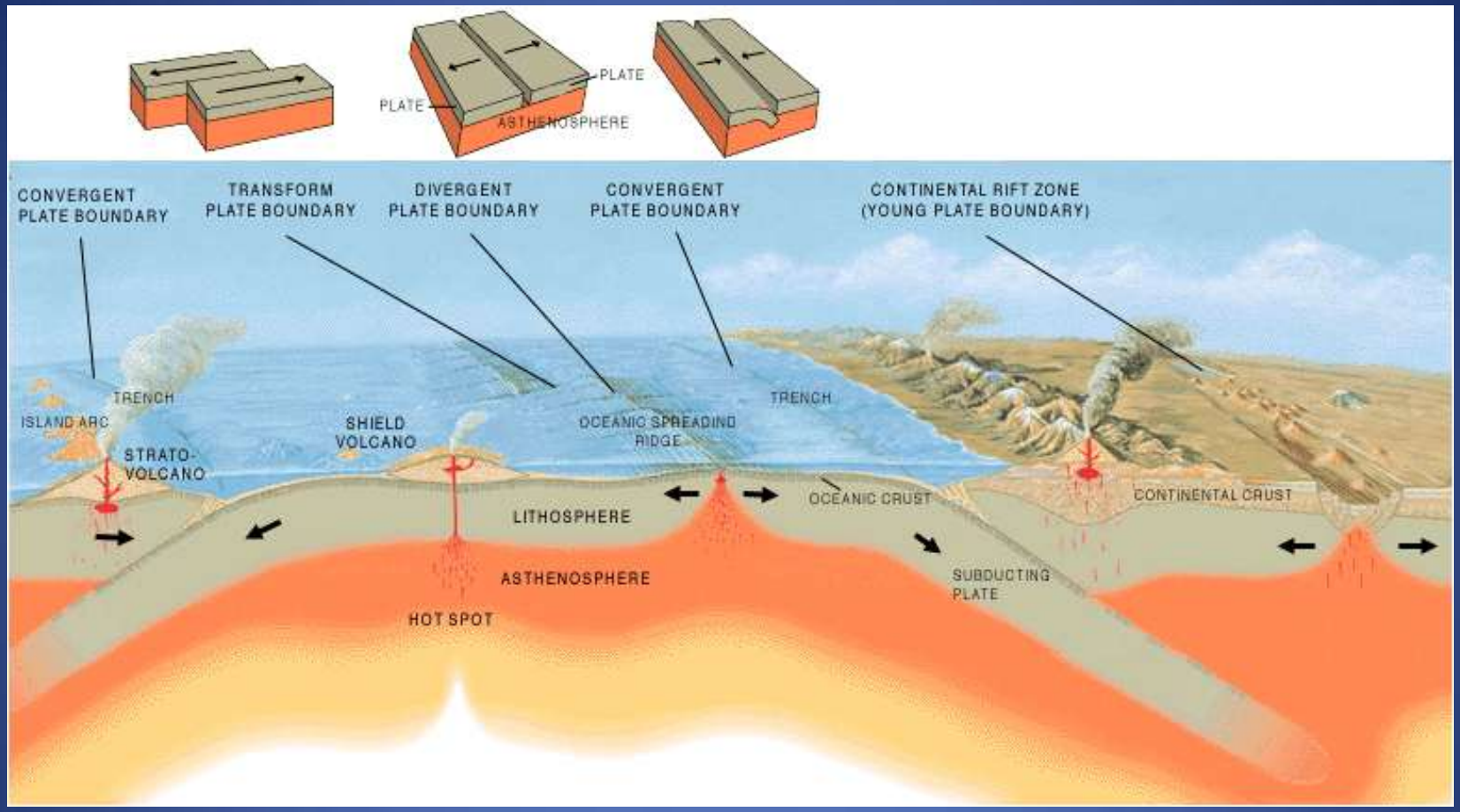
orange

« interne »



→Une enveloppe externe rigide : la lithosphère … qui bouge TOUT DOUCEMENT !

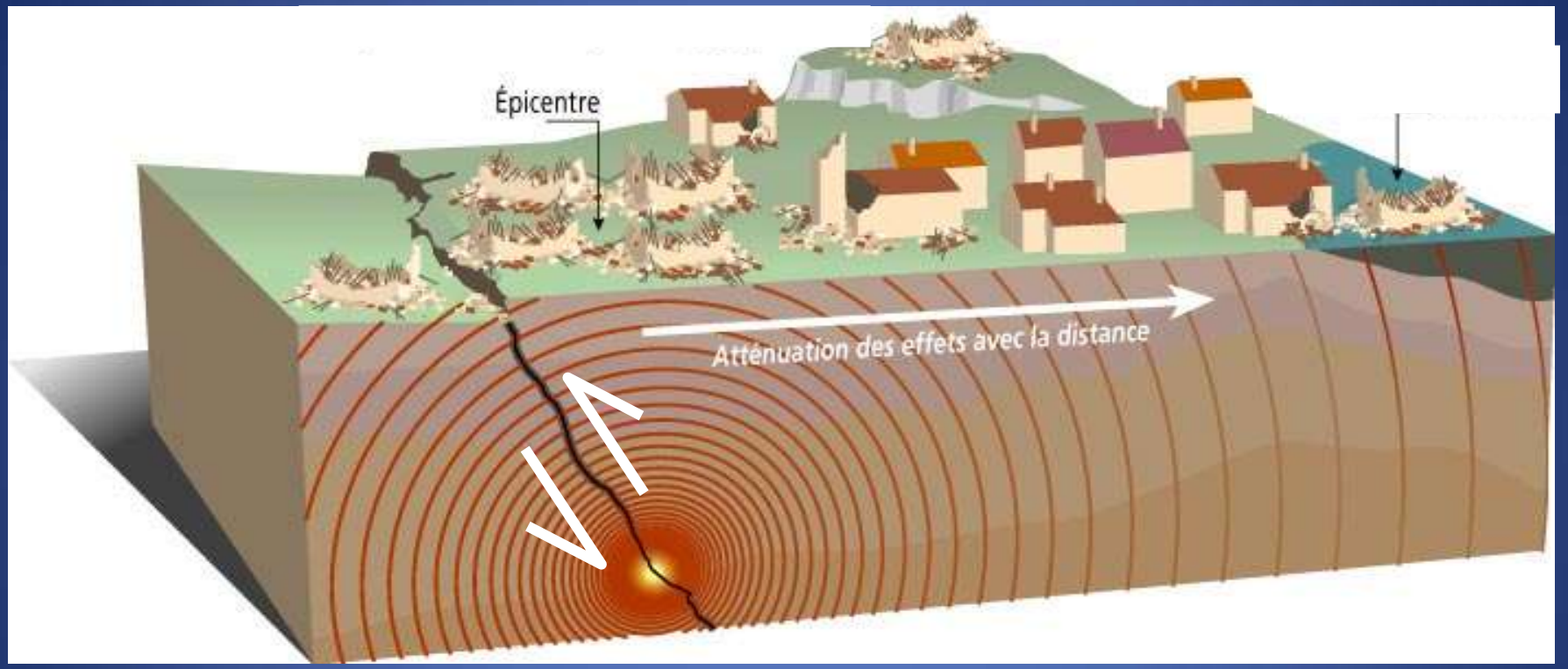
→ Cette enveloppe est découpée en « plaques » qui bougent les unes par rapport au autres



→ Les contraintes s'accumulent surtout au niveau des limites de plaques

Accumulation des contraintes.

Quand on dépasse le seuil de résistance des matériaux… il y a rupture



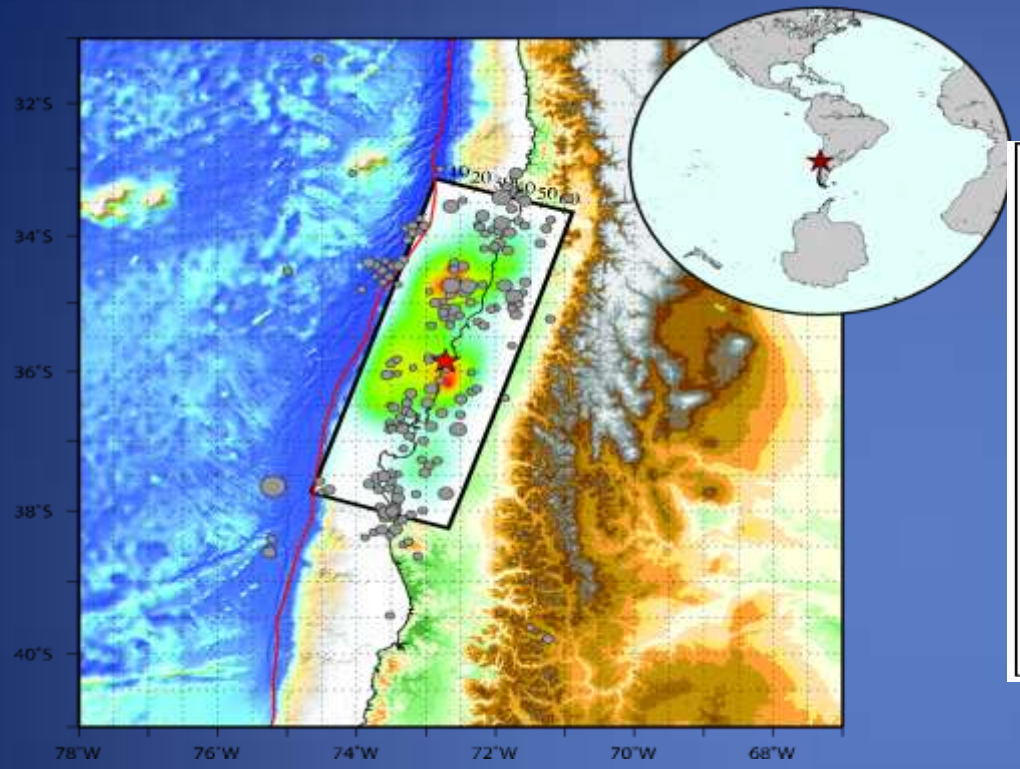
→ les vibrations naissent lors du glissement de 2 blocs de part et d'autre d'une faille

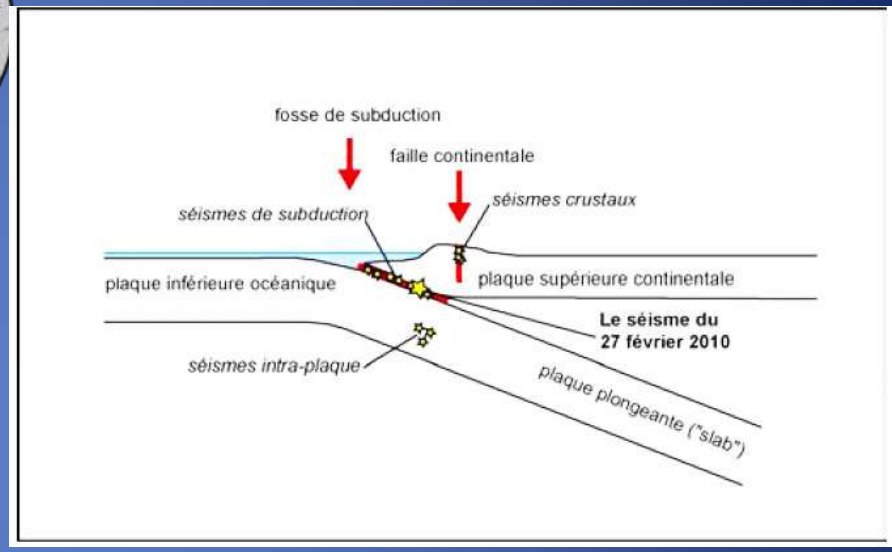
→ les vibrations se propagent dans la Terre car elle a le comportement d'un corps élastique

Animation faille

Quelques séismes récents bien connus

Séisme du Chili, 27 février 2010, Magnitude 8.8

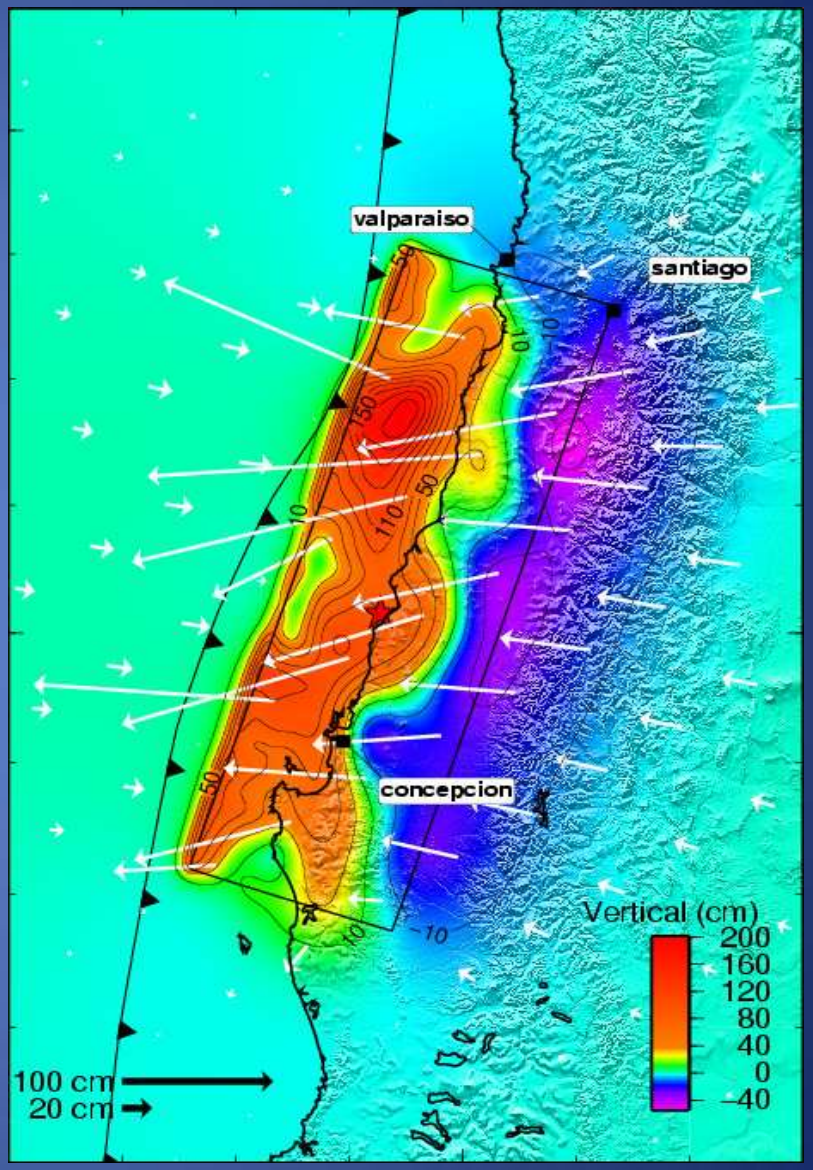




Faille qui a glissé :

longueur : 500 à 600 km
largeur 100 km.
Glissement ~ 10 mètres

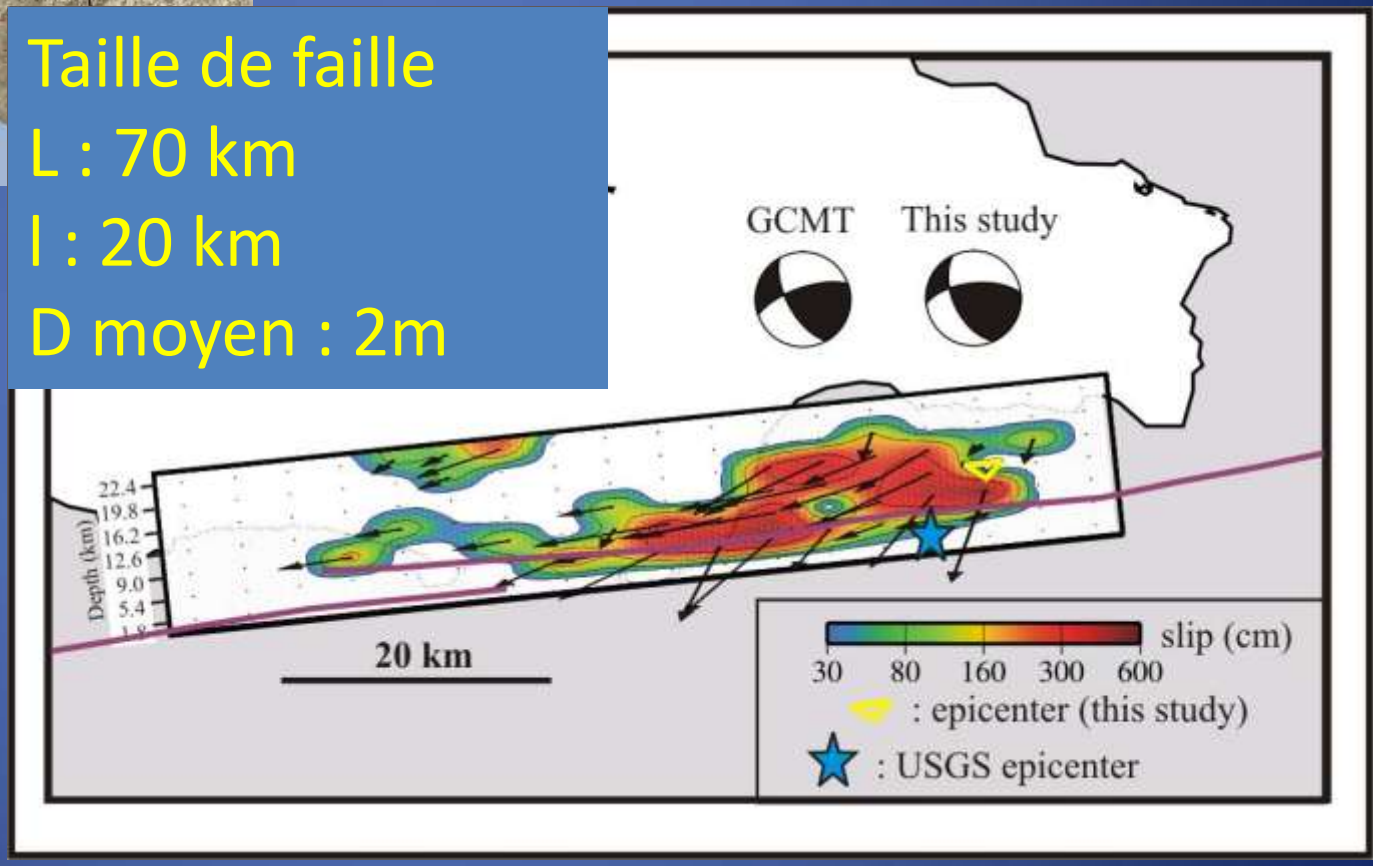
Faille inverse
(raccourcissement)



(Delouis, Nocquet, Vallée, GRL, 2010)

Séisme d'Haiti (12 janvier 2010): magnitude 7

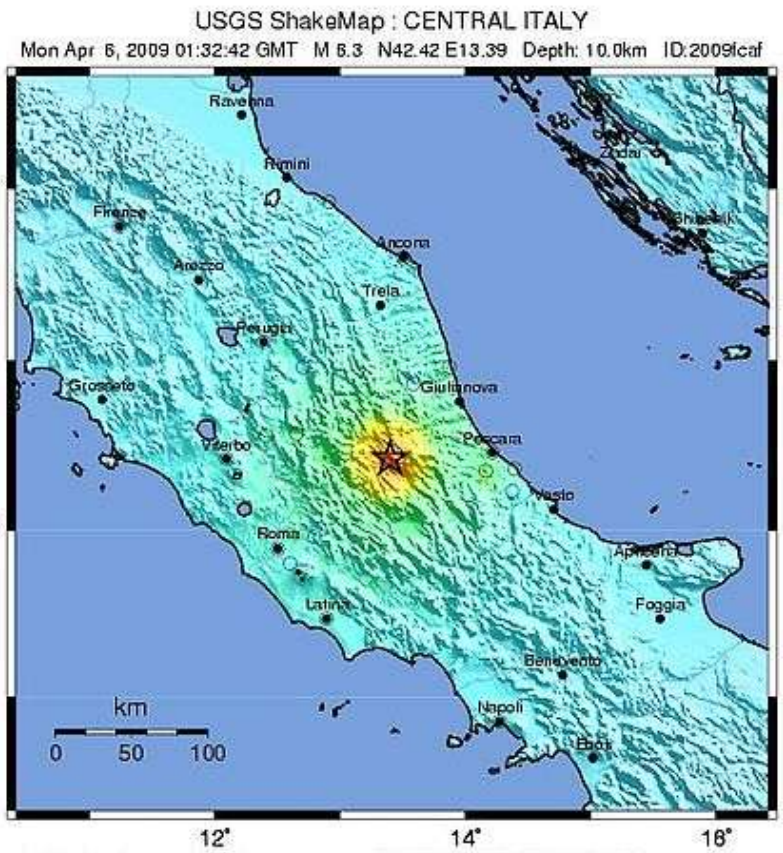
Taille de faille
L : 70 km
l : 20 km
D moyen : 2m



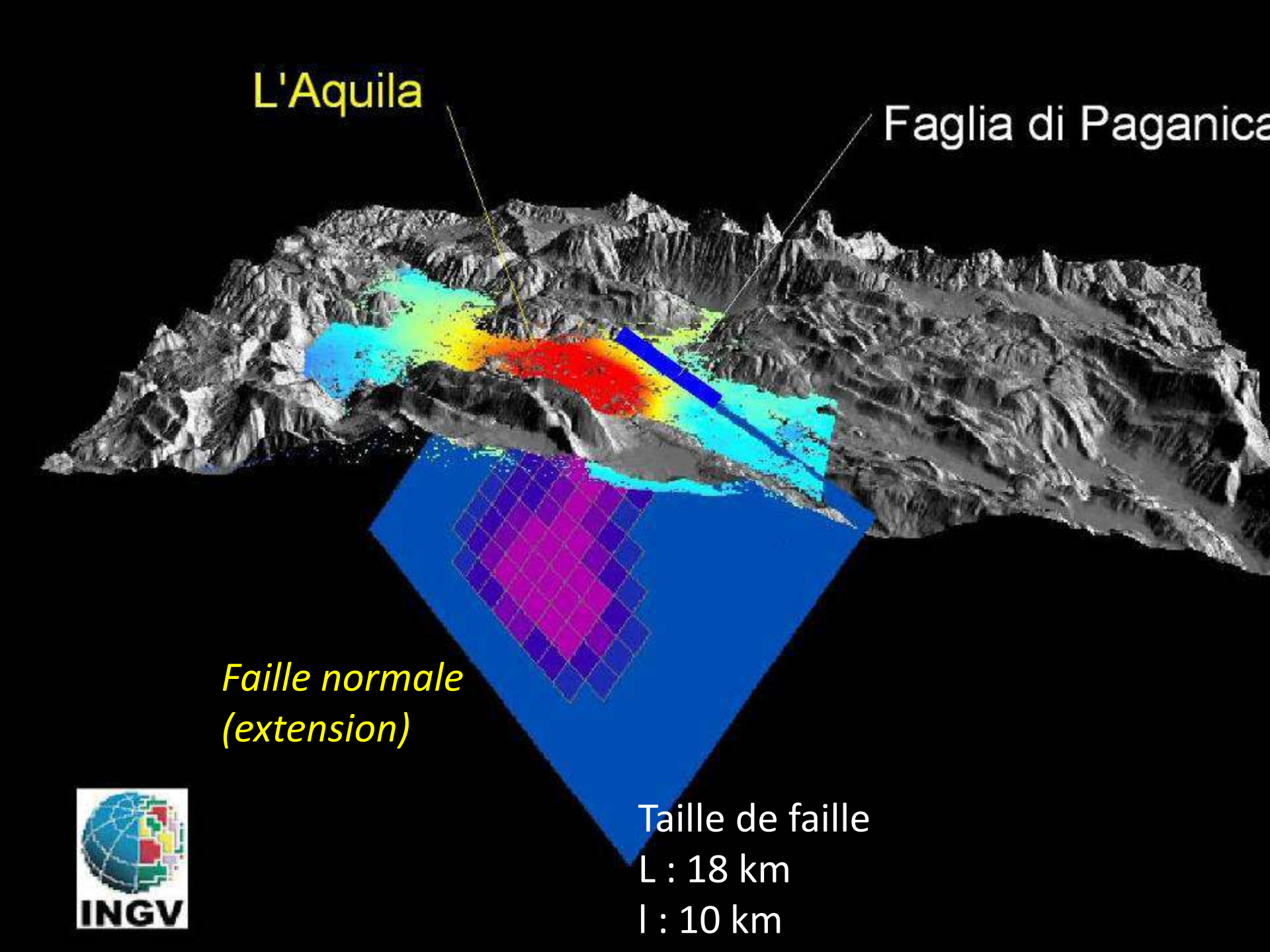
Faille décrochante (coulissage)

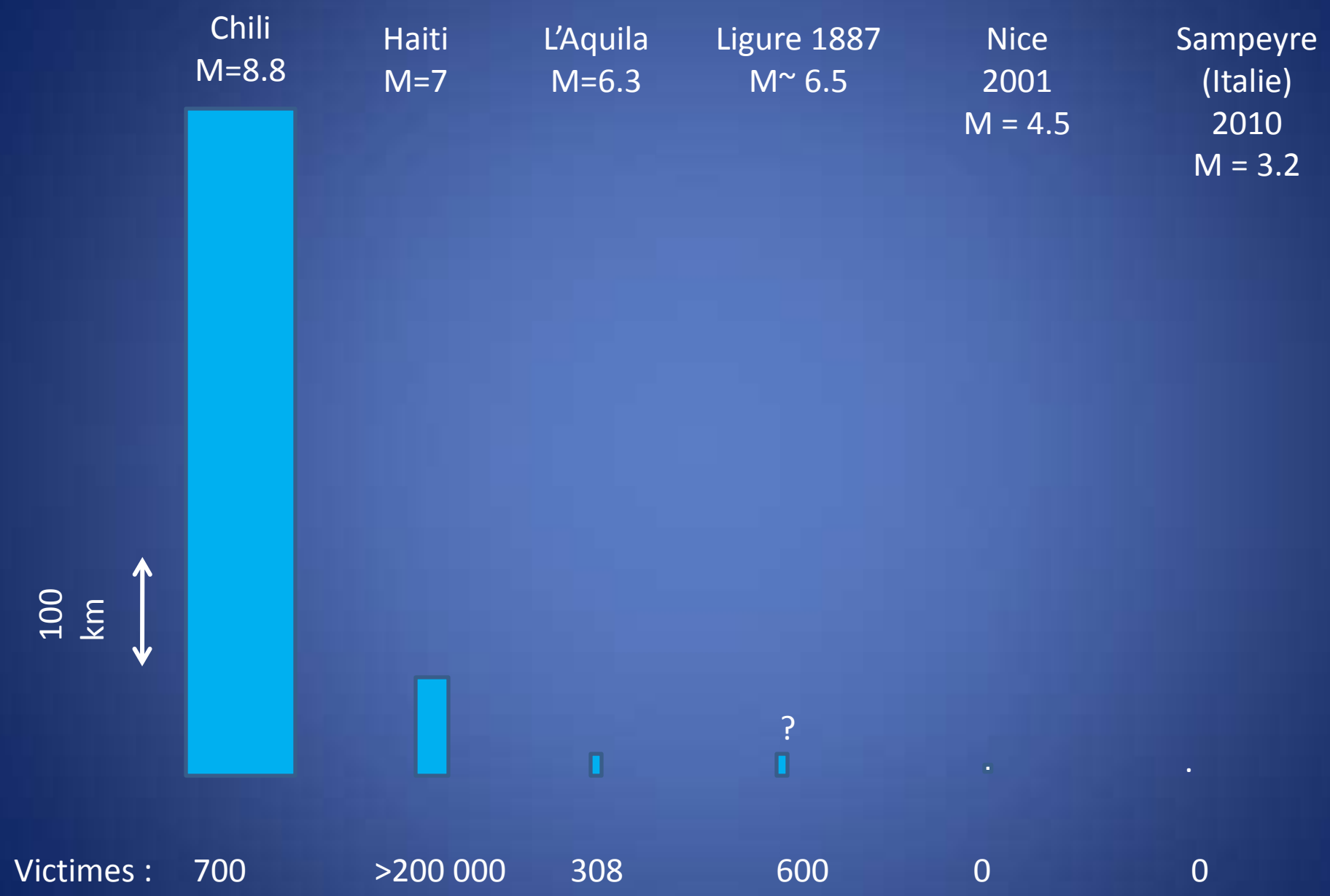
From Delouis et al (2010)

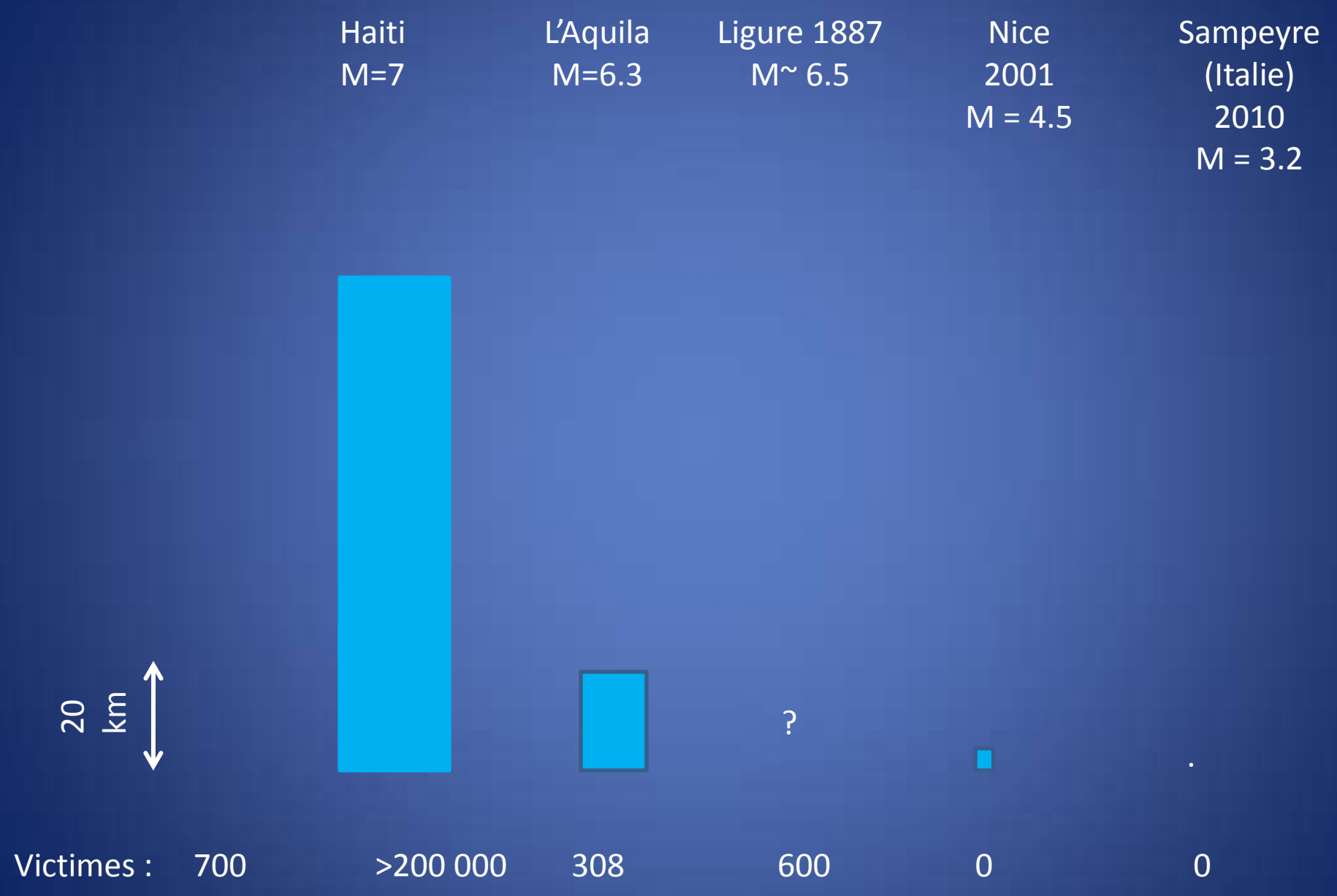
Séisme de l'Aquila (Italie), 6 avril 2009, Magnitude 6.6



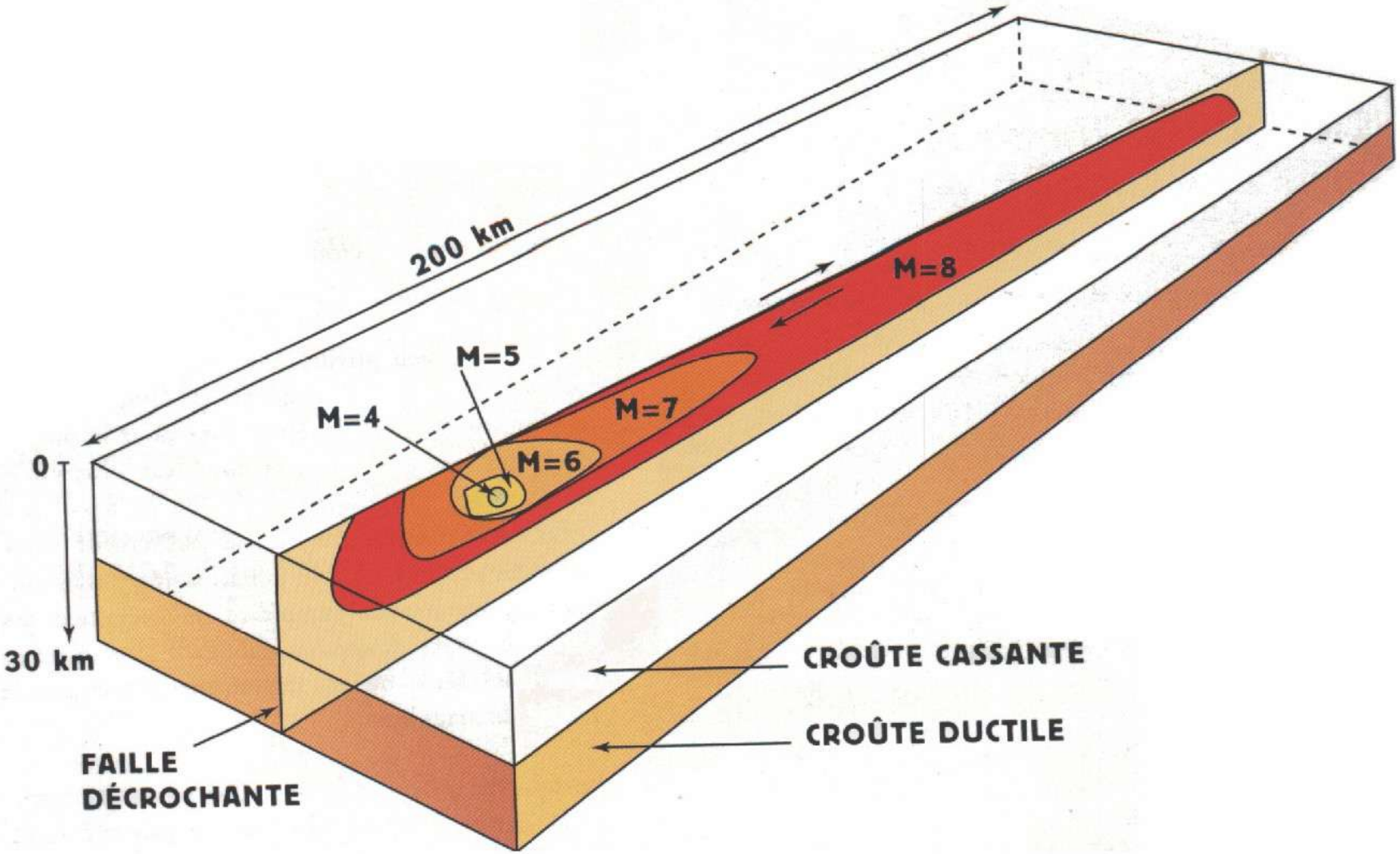
PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+


L'Aquila
Faglia di Paganica
Faille normale (extension)
Taille de faille
L : 18 km
l : 10 km
INGV


Chili
M=8.8
Haiti
M=7
L'Aquila
M=6.3
Ligure 1887
M~ 6.5
Nice
2001
M = 4.5
Sampeyre
(Italie)
2010
M = 3.2
100
km
?
Victimes :
700
>200 000
308
600
0
0


Haiti
M=7
L'Aquila
M=6.3
Ligure 1887
M~ 6.5
Nice
2001
M = 4.5
Sampeyre
(Italie)
2010
M = 3.2
20 km
?
Victimes :
700
>200 000
308
600
0
0

MAGNITUDE ET SURFACE DE RUPTURE



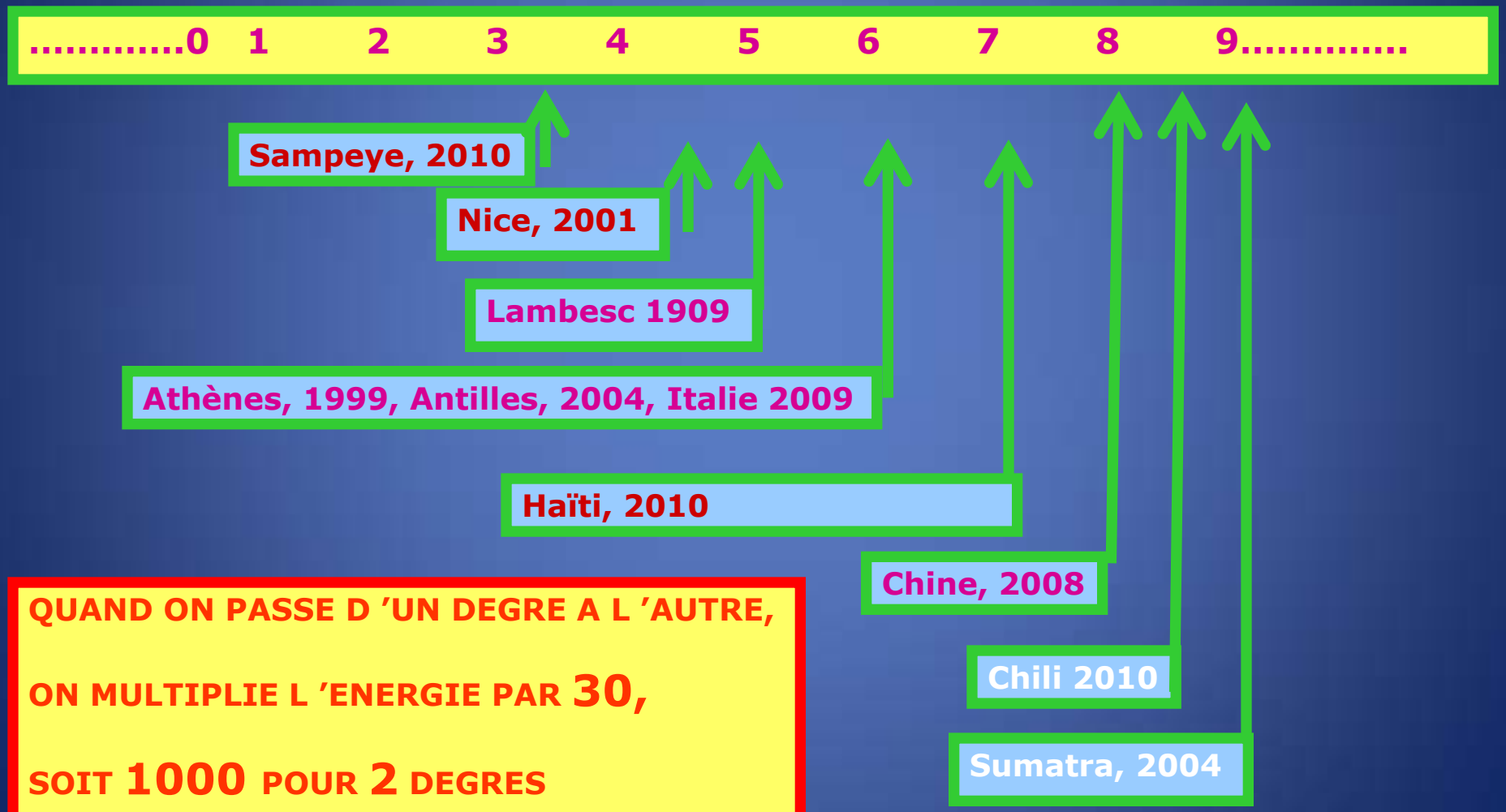
- Les failles actives génèrent les séismes

- La taille de la faille activée détermine la magnitude du séisme

→ Il est donc important de mieux connaitre ces failles actives

MAGNITUDE

"échelle" ouverte de Richter (1935)



QUAND ON PASSE D 'UN DEGRE A L 'AUTRE,

ON MULTIPLIE L 'ENERGIE PAR 30,

SOIT 1000 POUR 2 DEGRES

Des grandeurs liées entre elles

Magnitude	Durée rupt	dep-moyen	Taille de la faille
9	250sec	15m	800 km
8	60 sec	5m	150 km
7	15sec	1m	50km
6	4sec	15cm	10km
5	1 sec	4cm	3km
4	0.3sec	1cm	1km
3	< 0.1 sec	<0,5 cm	150m

Heureusement …

Combien de séismes ?

Réponse :

ça dépend !

Les **petits** (magnitude entre 4 et 5) : **1 par heure**

Les **moyens** (magnitude entre 5 et 6) : **1 par jour**

Les **gros** (magnitude entre 7 et 8) : **1 par mois**

Les **très gros** (magnitude entre 8 et 9) : **1 par an**

Les **énormes** (magnitude > 9) : **1 tous les 10 ans**

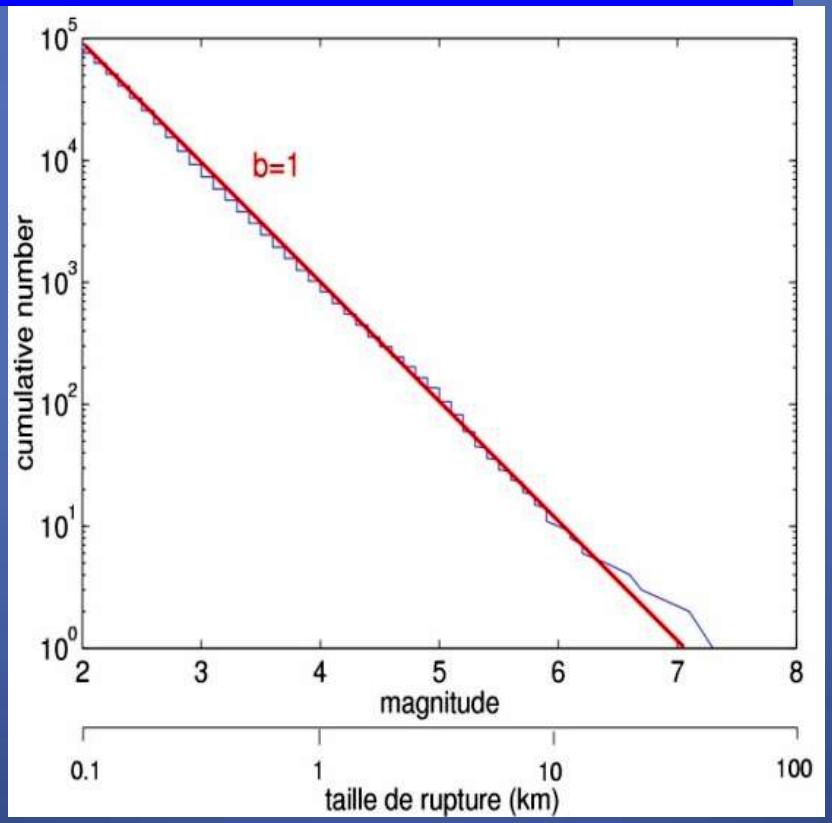
Beaucoup plus de petits que de gros !

Magnitude	Nombre moyen par an	Description
8 et plus	1	Séisme majeur
7 à 7.9	18	Séisme très fort
6 à 6.9	120	Séisme fort
5 à 5.9	800	Séisme modéré
4 à 4.9	6500	Séisme faible
3 à 3.9	50000 (estimé)	microséisme
2	environ 1000/jour(estimé)	
1	environ 8000/jour(estimé)	

Statistiques de 1900 à nos jours

Loi de Gutenberg-Richter

$$\mathrm{Log}(N(m>M)) = a - bM$$

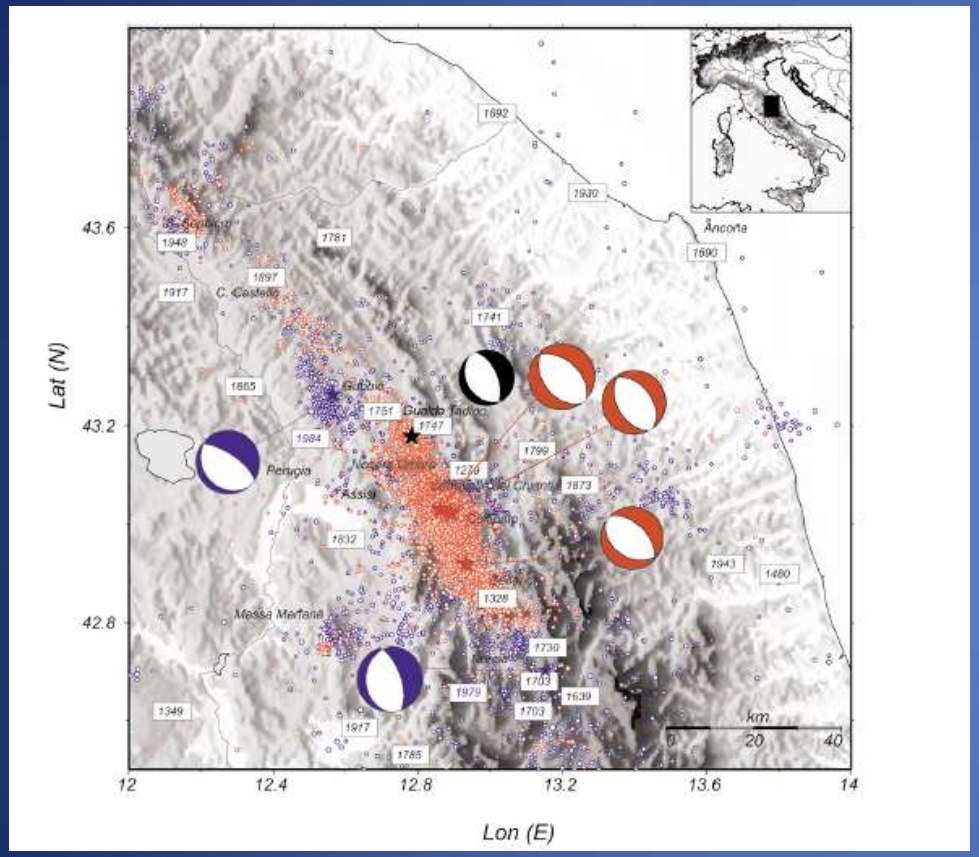


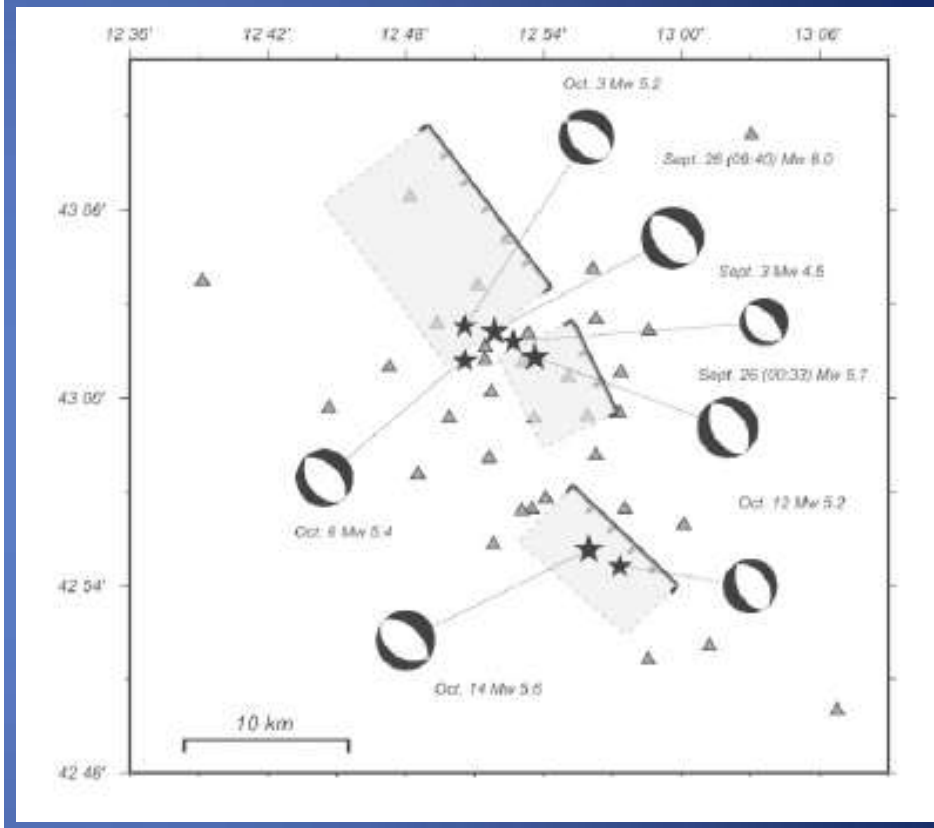
Une multitude de petits séismes chaque année

Pourquoi les étudier ?

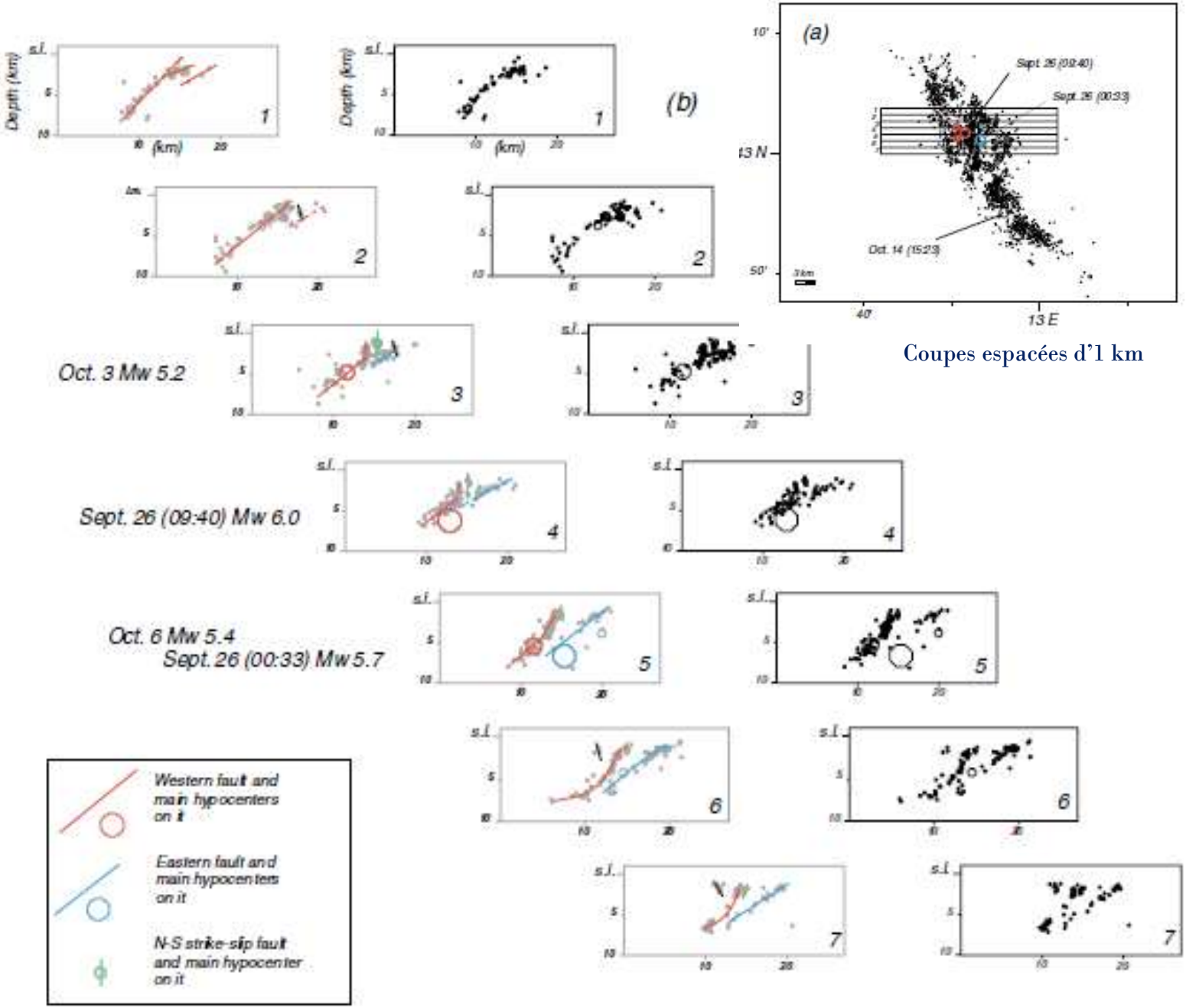
Que peuvent ils nous apprendre ?

L'exemple de la crise de Colfiorito, Italie centrale





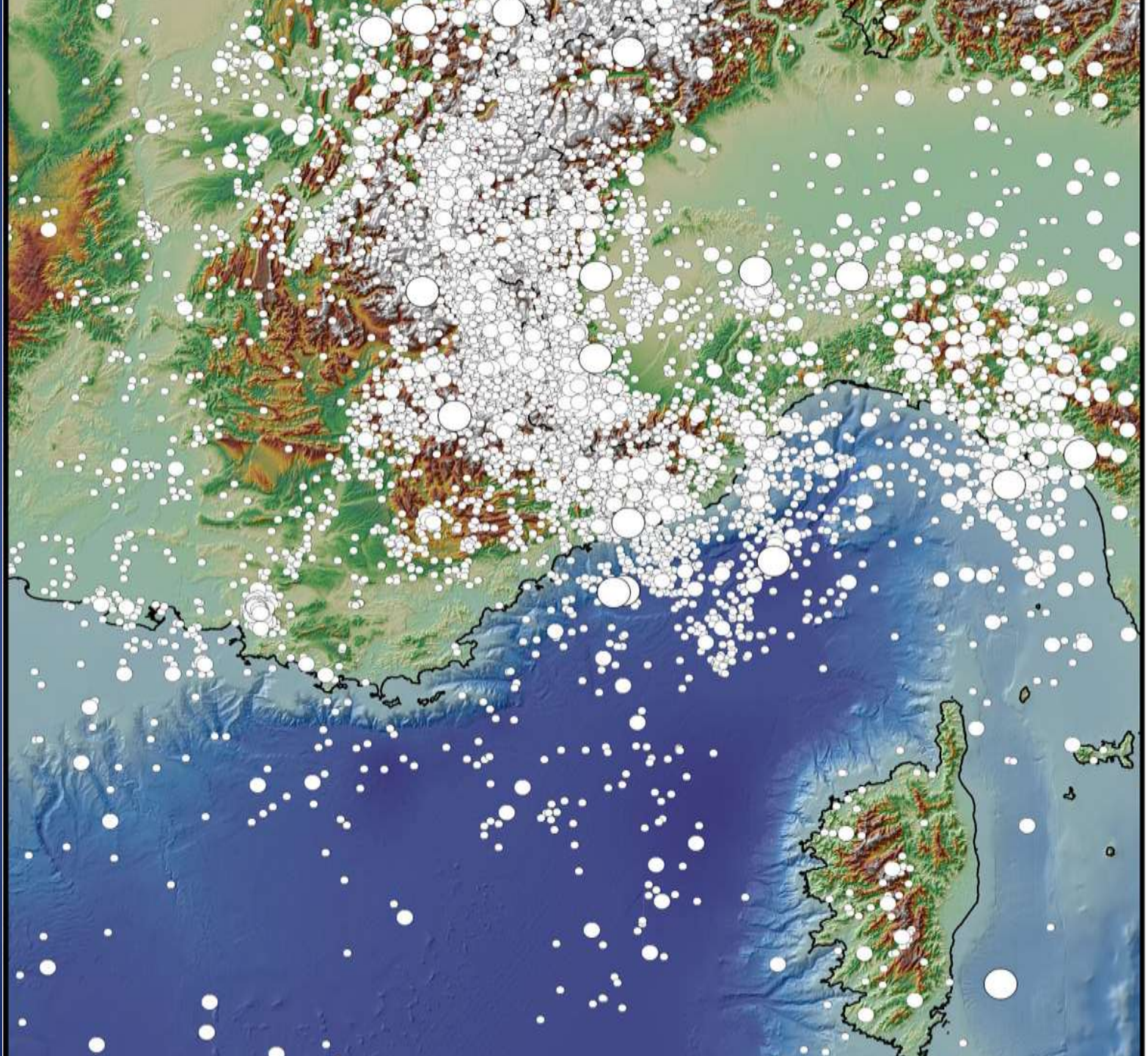
Chiaraluce et al. (2004)

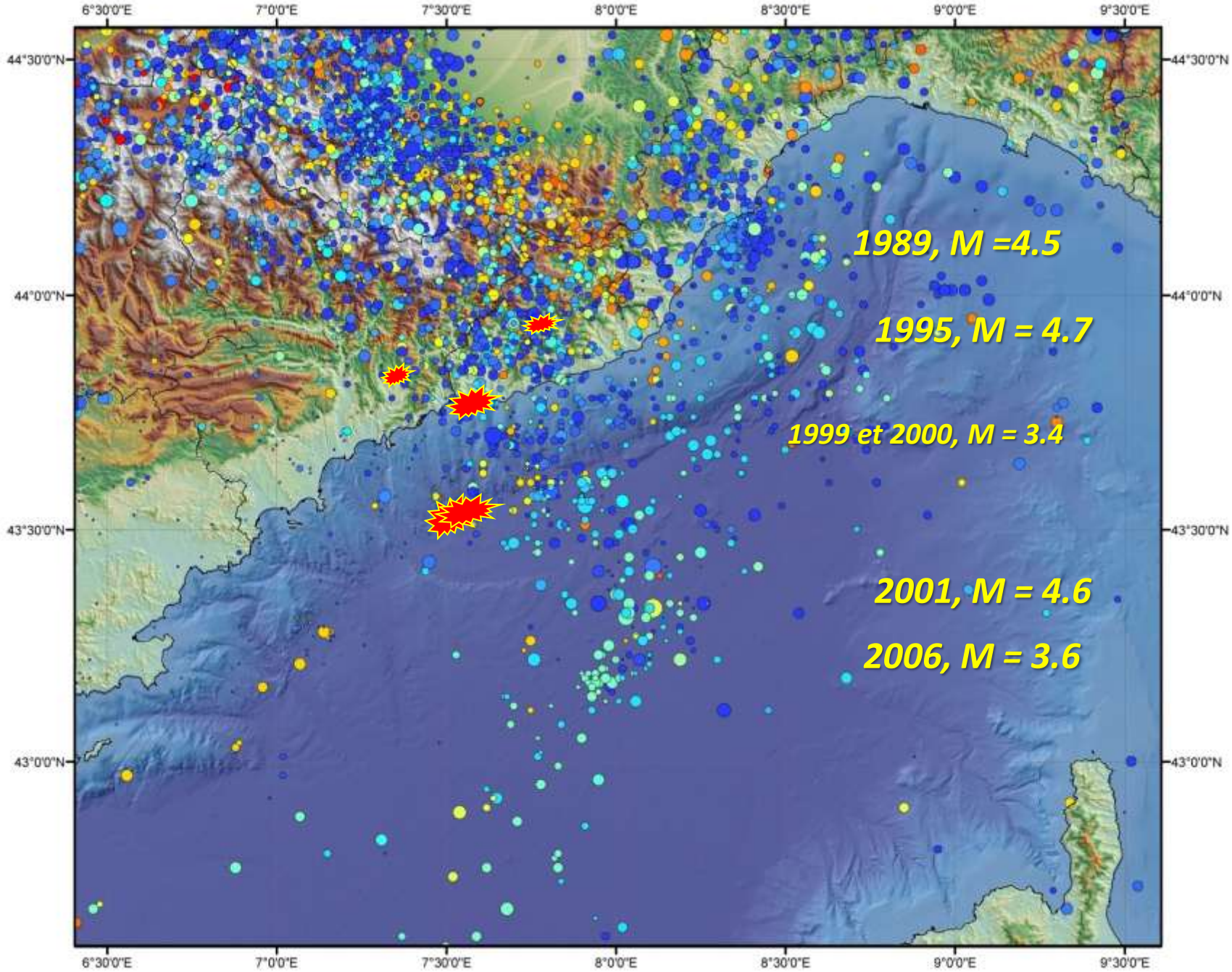


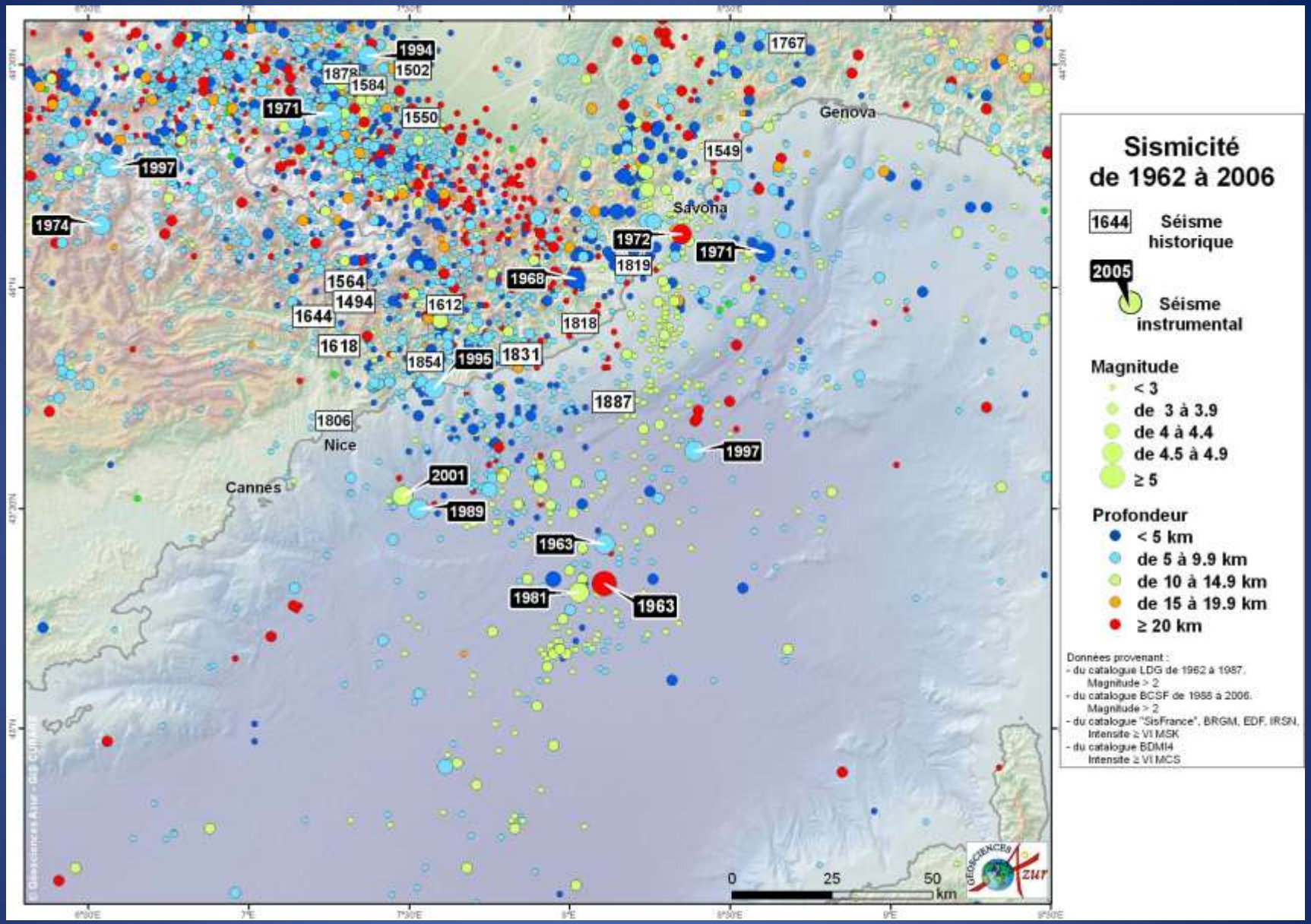
Coupes espacées d'1 km

Chiaraluce et al. (2004)

Peut-on faire la même chose chez nous ?




6°30'0"E
7°0'0"E
7°30'0"E
8°0'0"E
8°30'0"E
9°0'0"E
9°30'0"E
44°30'0"N
44°0'0"N
43°30'0"N
43°0'0"N
1989, M =4.5
1995, M = 4.7
1999 et 2000, M = 3.4
2001, M = 4.6
2006, M = 3.6

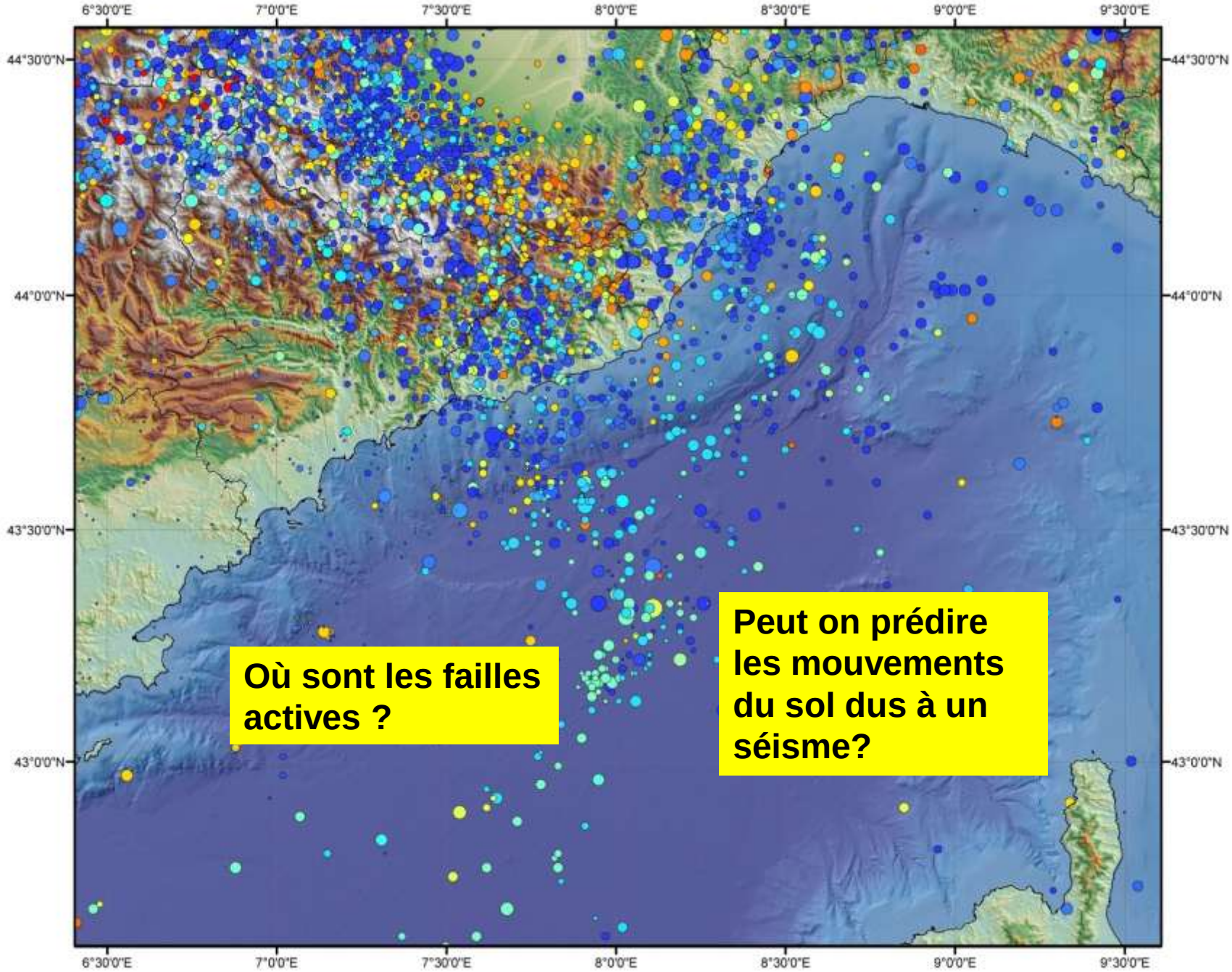

Sismicité
de 1962 à 2006
1644 Séisme historique
2005 Séisme instrumental
Magnitude
< 3
de 3 à 3.9
de 4 à 4.4
de 4.5 à 4.9
≥ 5
Profondeur
< 5 km
de 5 à 9.9 km
de 10 à 14.9 km
de 15 à 19.9 km
≥ 20 km
Données provenant :
- du catalogue LDG de 1962 à 1987, Magnitude > 2
- du catalogue BCSF de 1988 à 2006, Magnitude > 2
- du catalogue "SisFrance", BRGM, EDF, IRSN, Intensite ≥ VI MSK
- du catalogue BDMI4 Intensite ≥ VI MCS
Genova
Savona
Nice
Cannes
1994
1502
1878
1584
1971
1550
1997
1974
1767
1549
1972
1971
1819
1968
1564
1494
1644
1612
1818
1618
1854
1995
1831
1887
1806
1997
2001
1989
1963
1981
1963
0
25
50
km

Séisme Ligure : 23 Fev 1887 (magnitude estimée: 6 à 6.5)

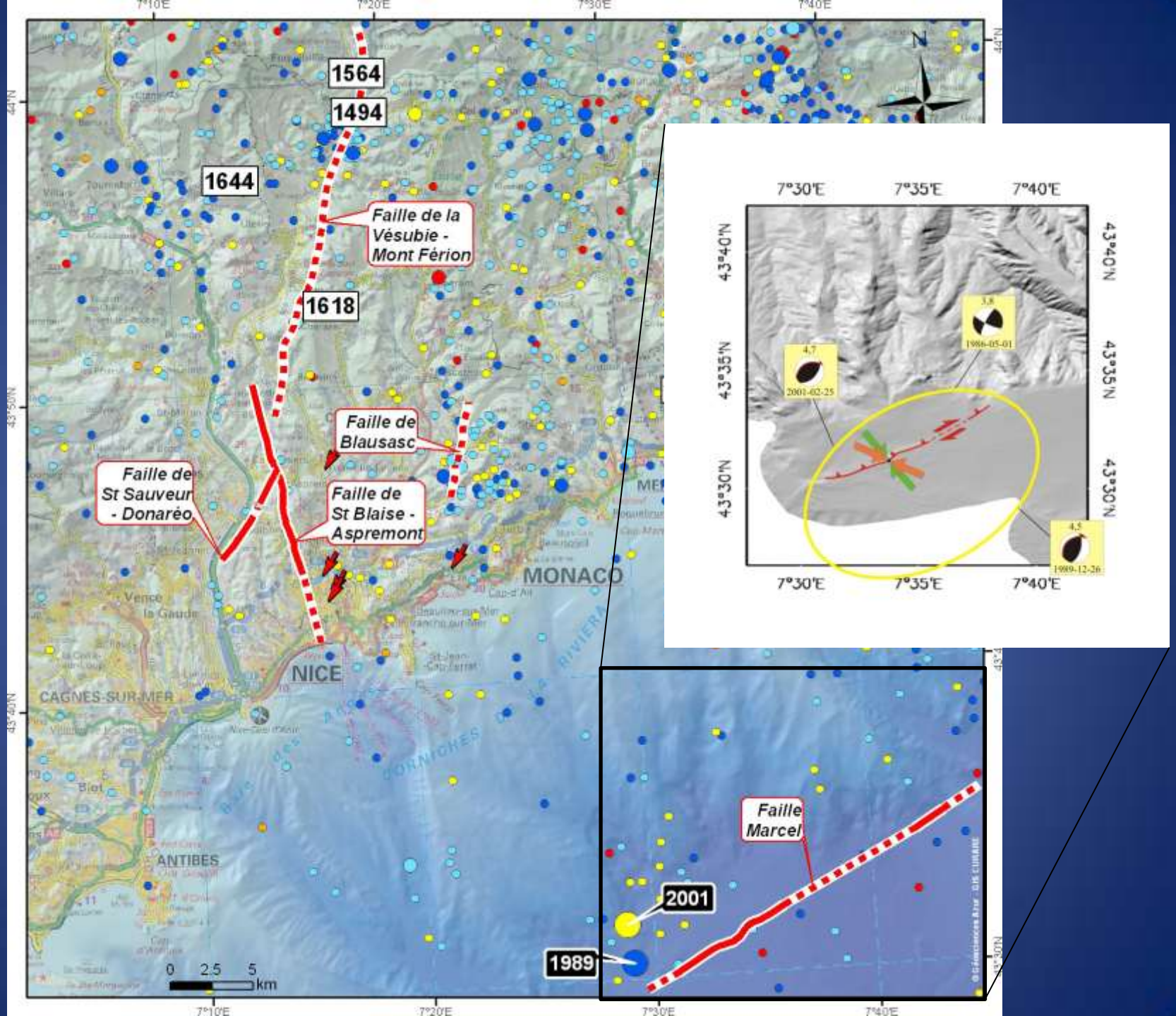
De graves dégâts et plus de 600 victimes du côté italien

Quelques questions que les chercheurs se posent …

… et comment les petits séismes vont nous aider à y répondre:

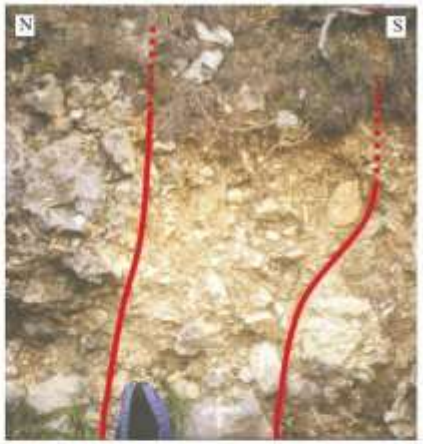

6°30'0"E
7°0'0"E
7°30'0"E
8°0'0"E
8°30'0"E
9°0'0"E
9°30'0"E
44°30'0"N
44°0'0"N
43°30'0"N
43°0'0"N
Où sont les failles actives ?
Peut on prédire les mouvements du sol dus à un séisme?

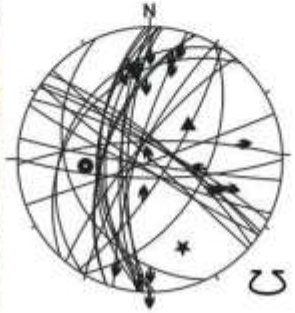
Ou sont les failles actives ?

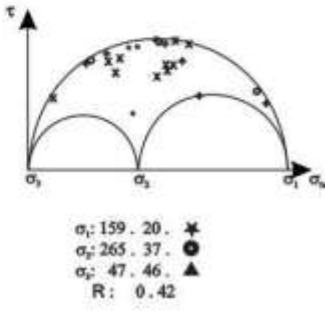


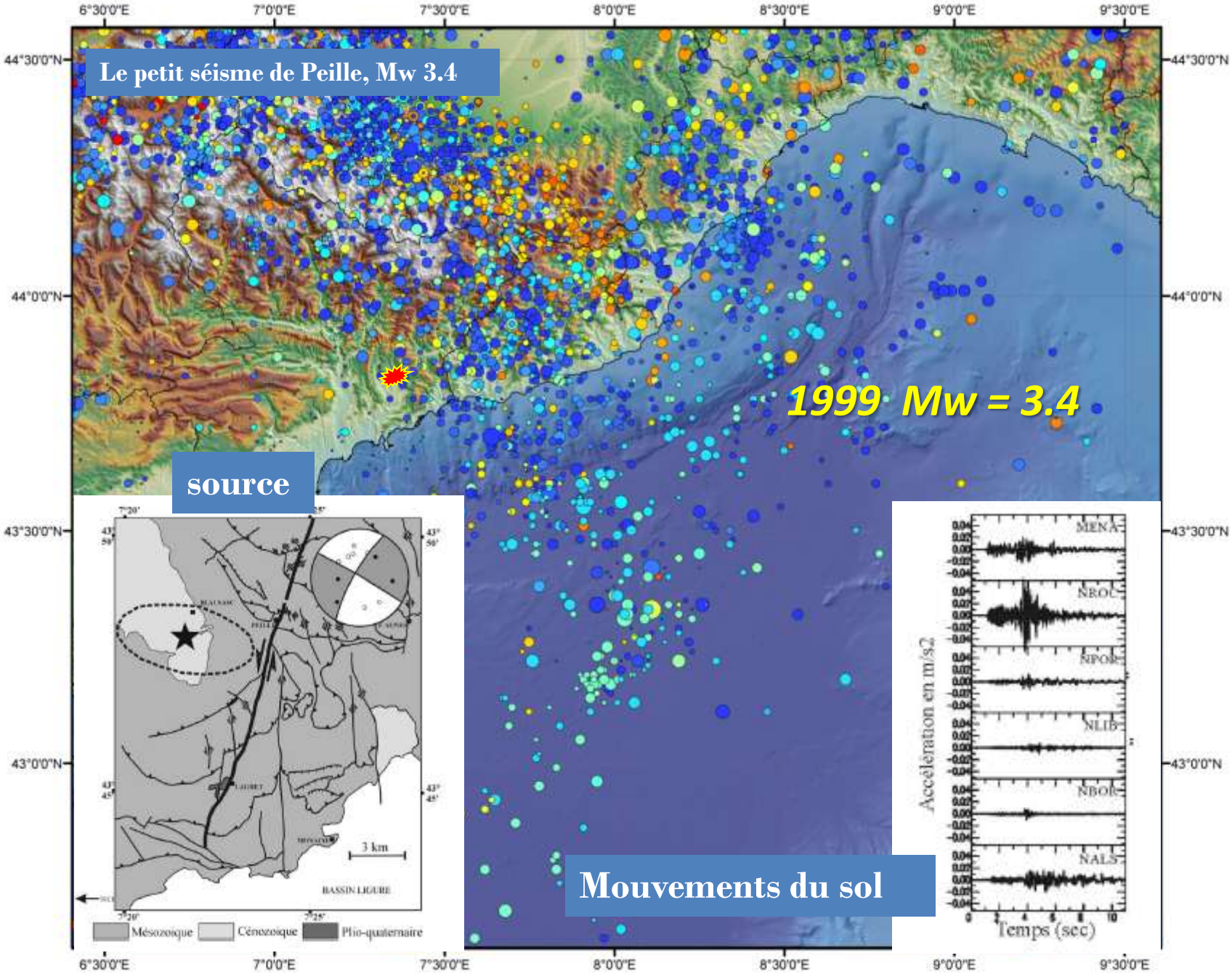
ANR QSHA

La faille de Peille - Laghet

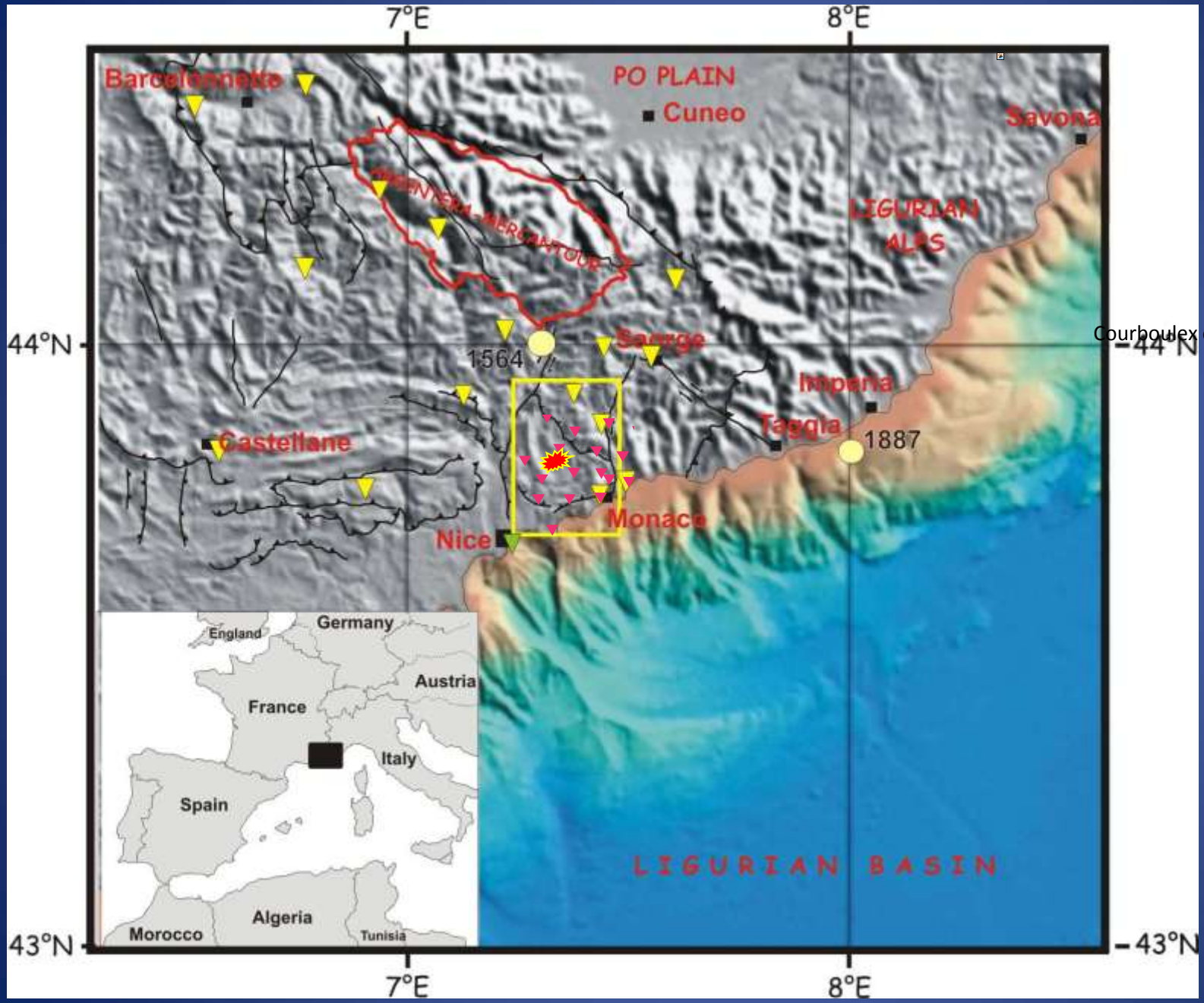




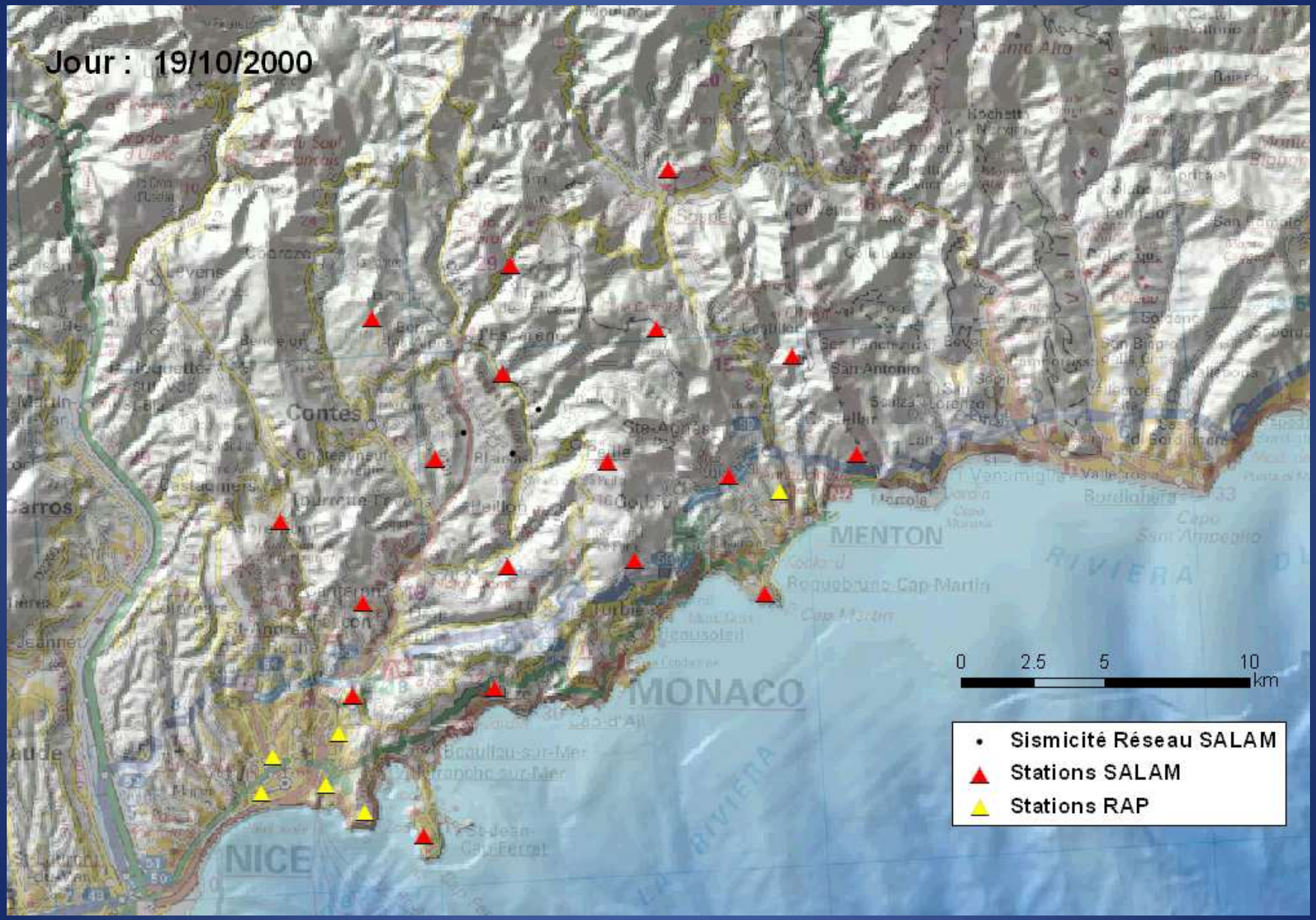




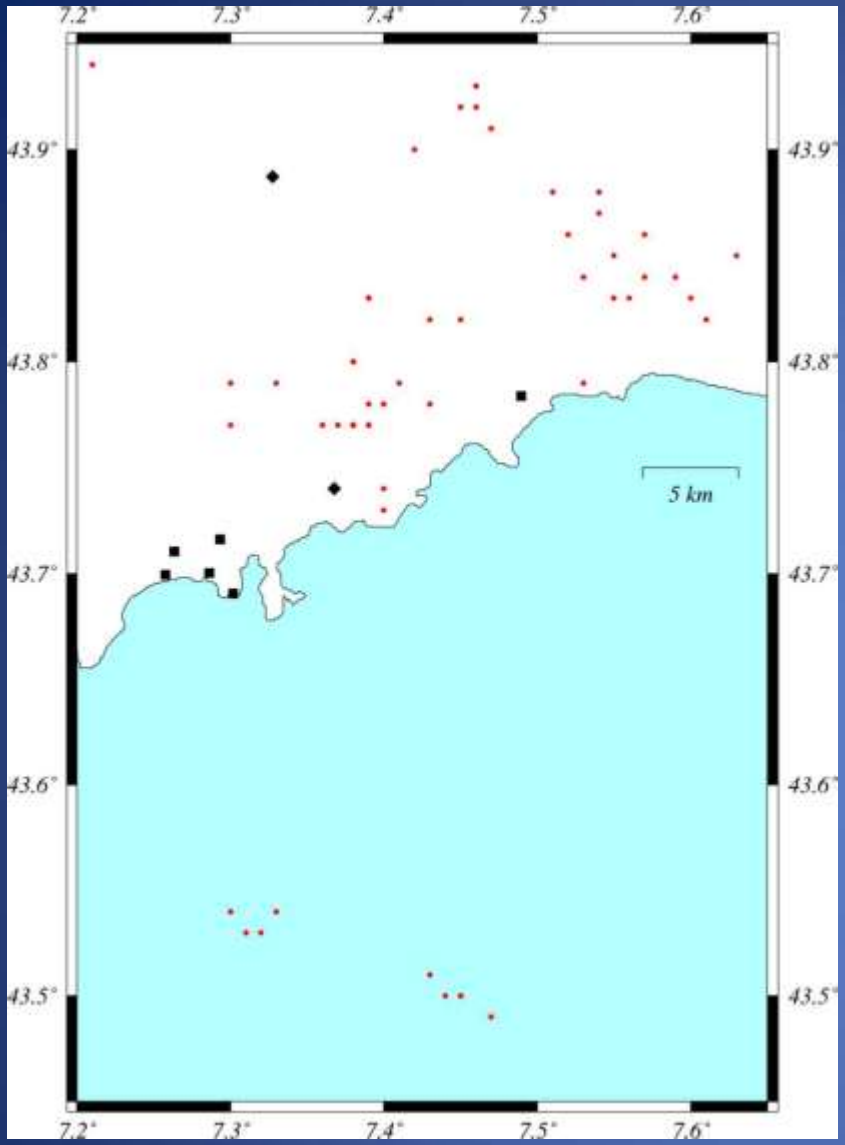
Courboulex F, Duval A.M., Deschamps A., Lomax A., Larroque C.(2001)

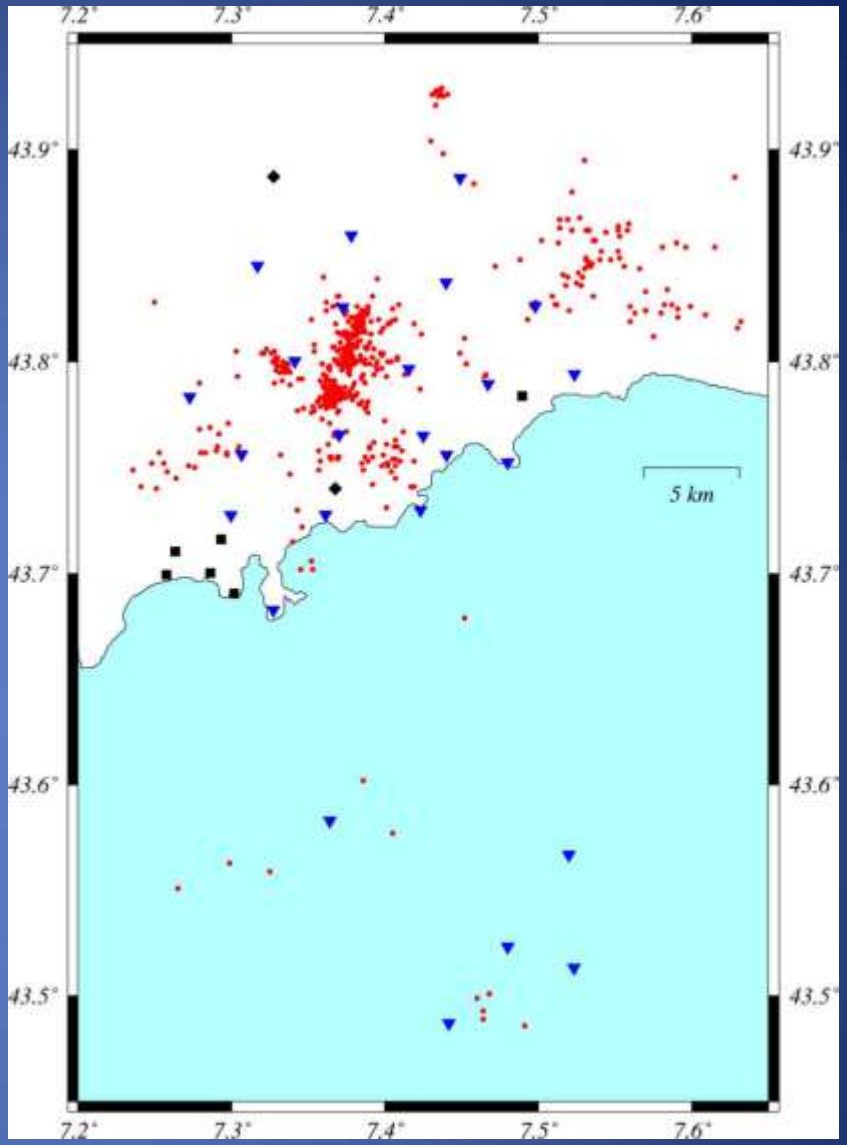


Courboulex et al (GRL, 2003)



Cartographie et animation Jenny Trévisan





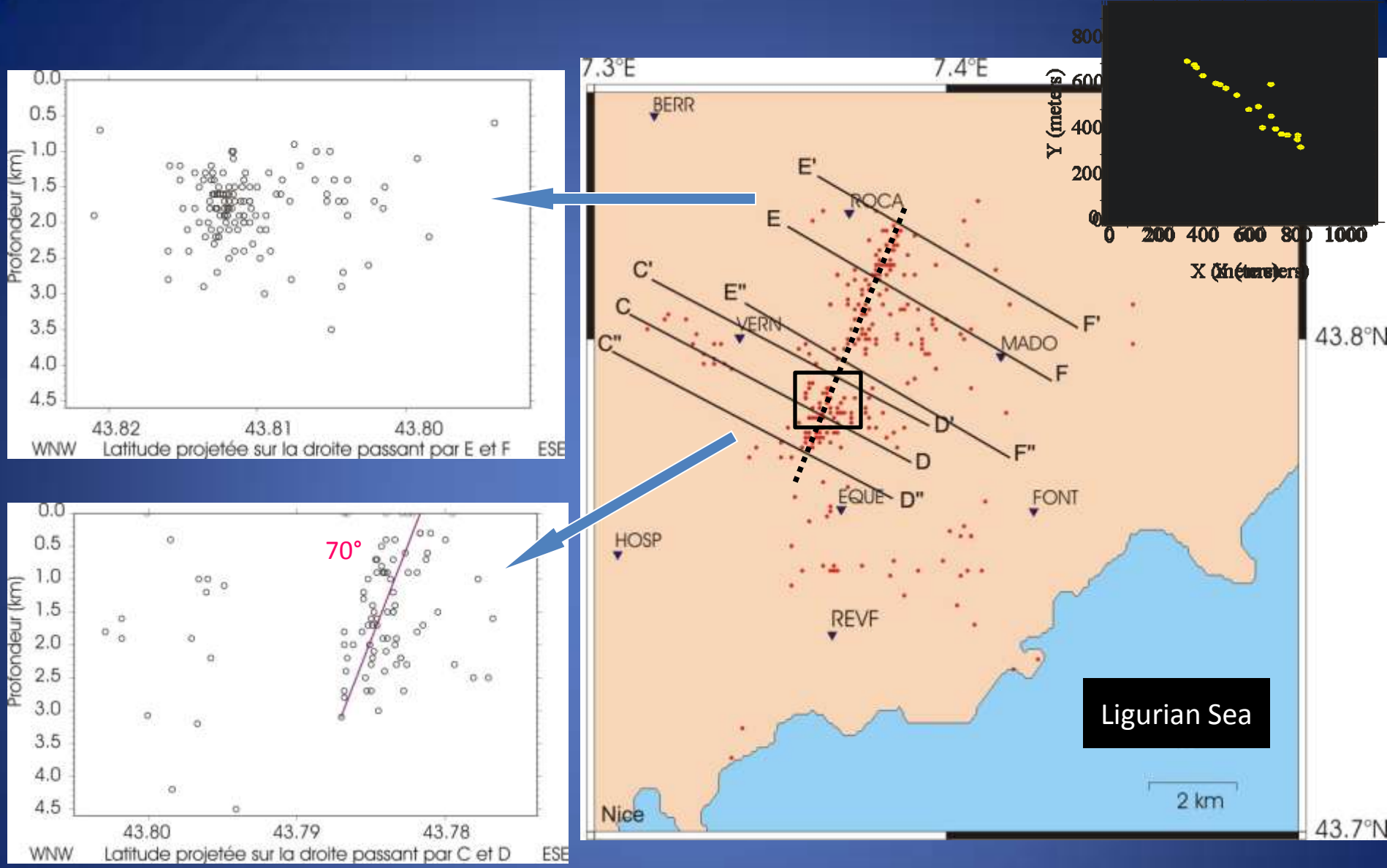
6 mois

Réseau Permanent (ReNaSS)

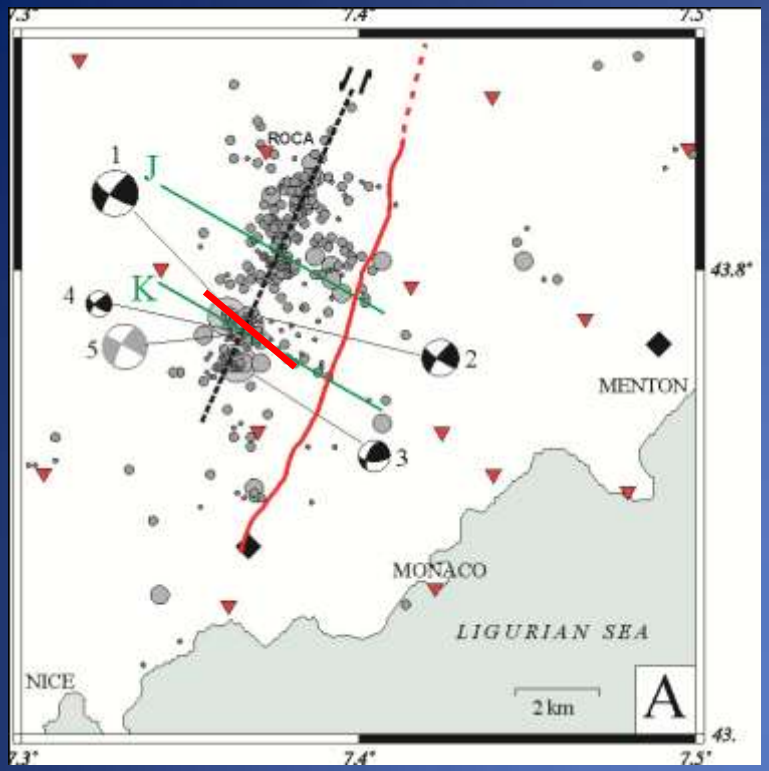
6 mois

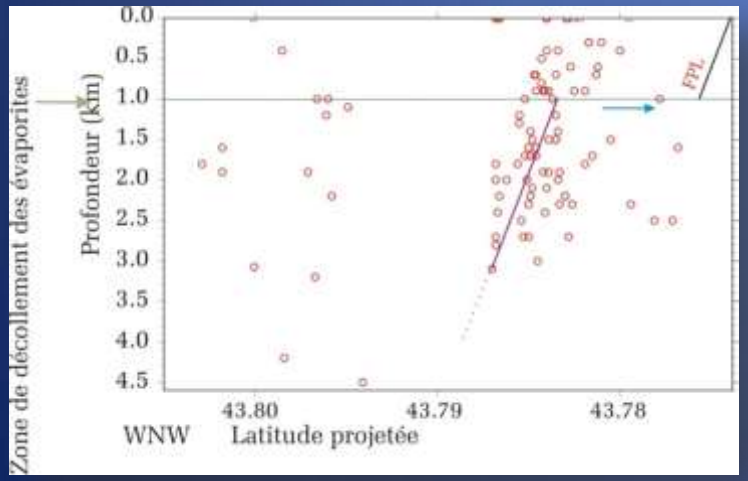
Réseau dense temporaire

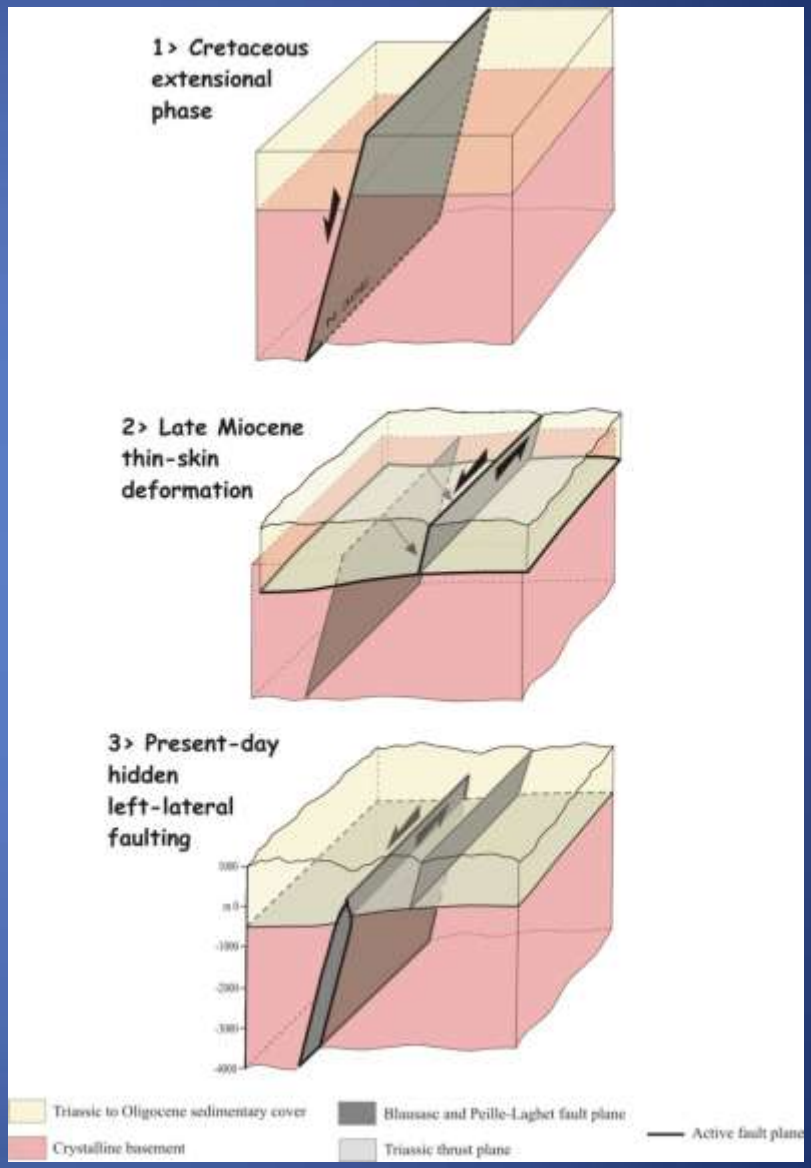
Courboulex, C. Larroque, A. Deschamps, C. Gelis, J. Charreau, J.F. Stephan (2003)


Profondeur (km)
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
43.82
43.81
43.80
WNW
Latitude projetée sur la droite passant par E et F
ESE
70°
43.80
43.79
43.78
Latitude projetée sur la droite passant par C et D
7.3°E
7.4°E
43.8°N
43.7°N
BERR
ROCA
VERN
MADO
EQUE
FONT
HOSP
REVF
Nice
E'
E
C'
E"
C
C"
F'
F
D'
D
F"
D"
2 km
Ligurian Sea
Y (mètres)
X (mètres)
0
200
400
600
800
1000

Evolution structurale de la faille de Blausasc depuis le Crétacé





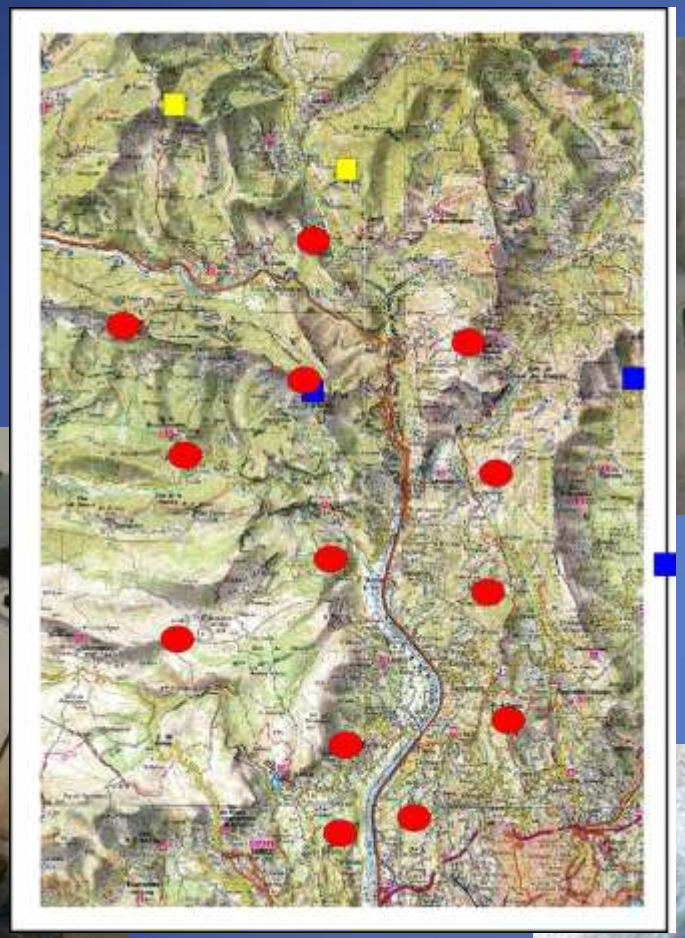


Courboulex F., C. Larroque, A. Deschamps, C. Kohrs-Sansorny, C. Gélis, J.L. Got, J. Charreau, J.F. Stéphan, N. Béthoux, J. Virieux, D. Brunel, C. Maron, A.M. Duval, S. Vidal, and P. Mondielli (2007)

→ Les petits séismes nous permettent parfois d’imager les segments de faille actifs

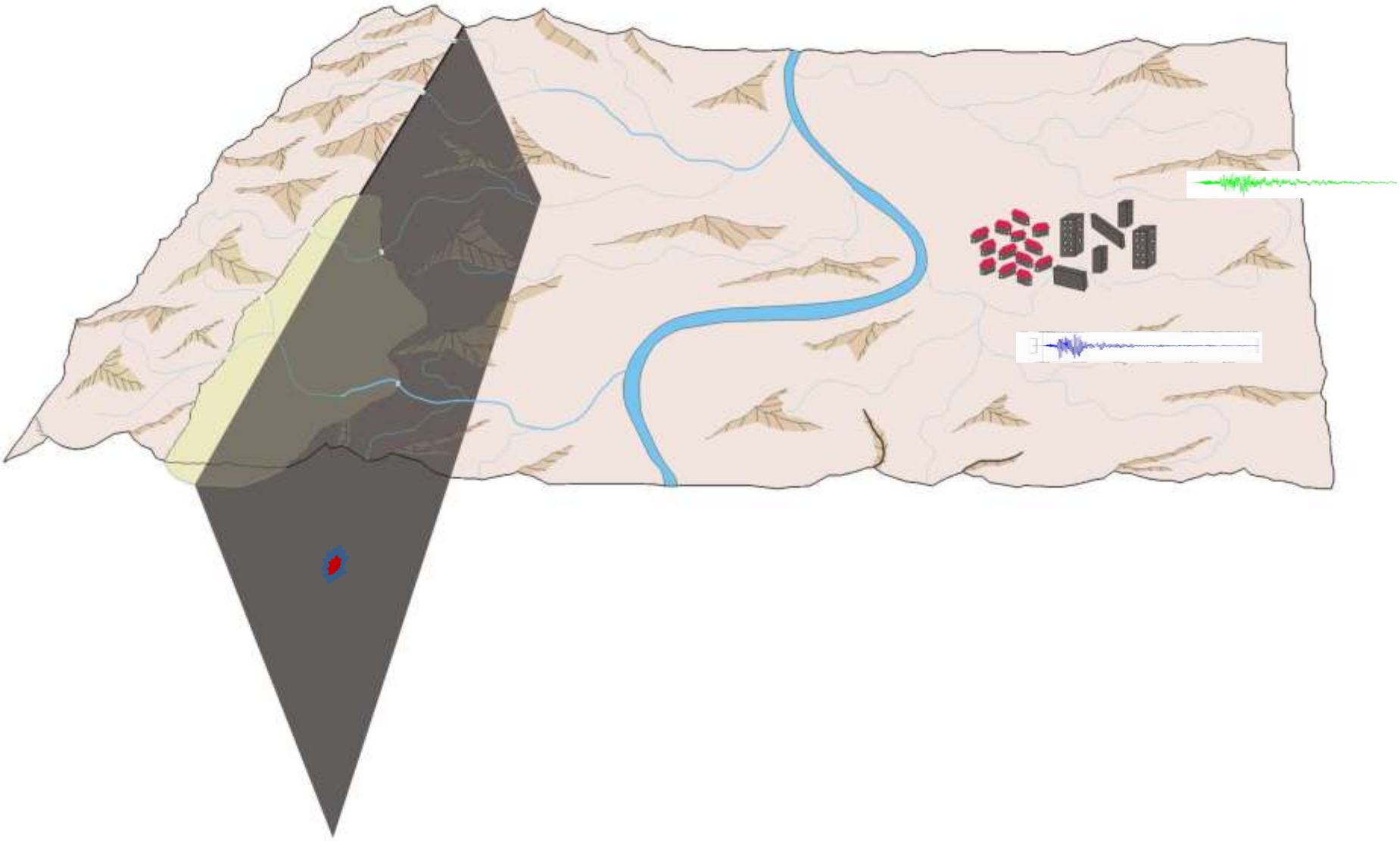
Mais ça ne marche pas à tous les coups !

CAMPAGNE PASIS (PROJET PASSERELLE)

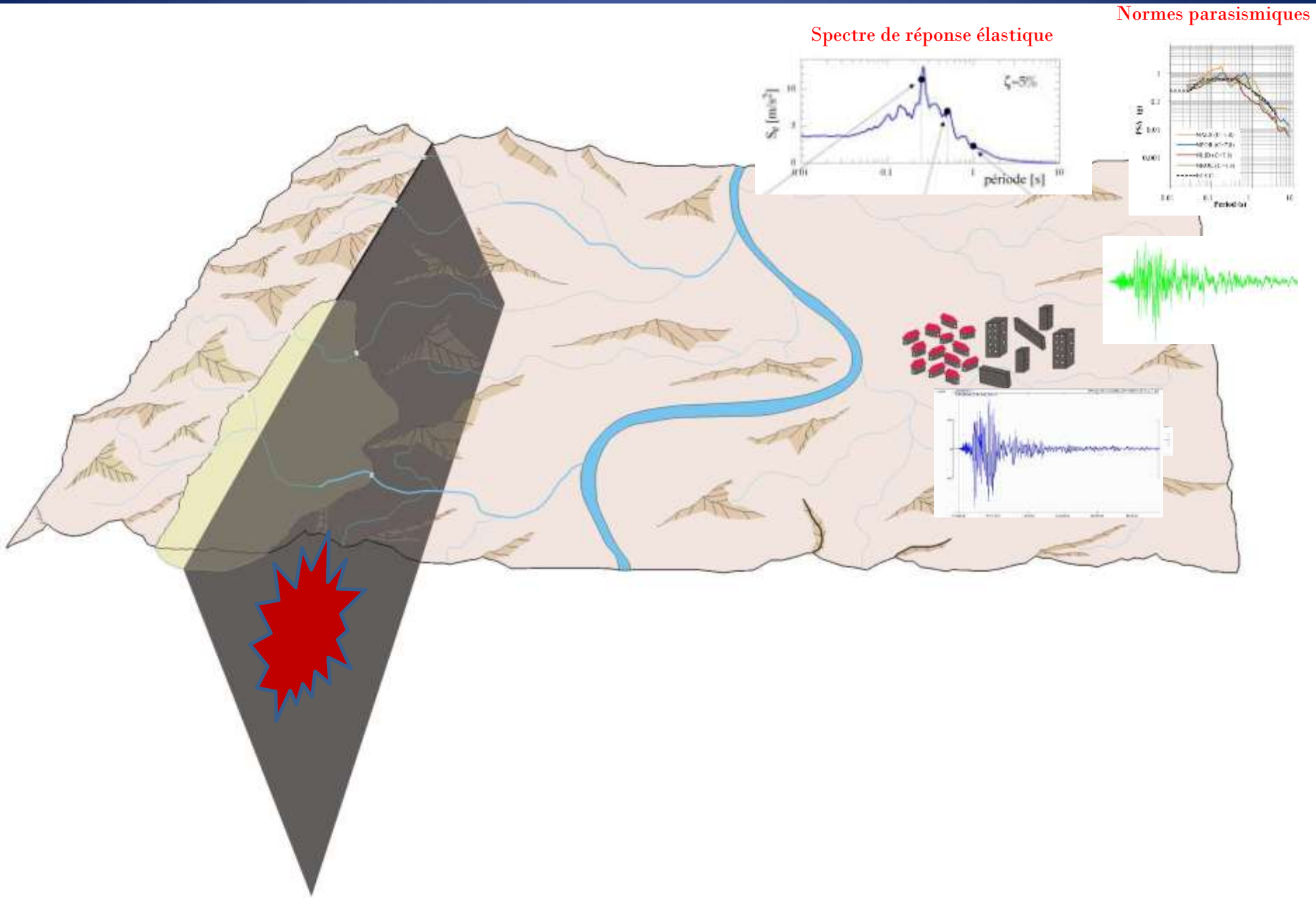


Installation de 13 stations temporaires autour de la vallée du Var (2004-2005)

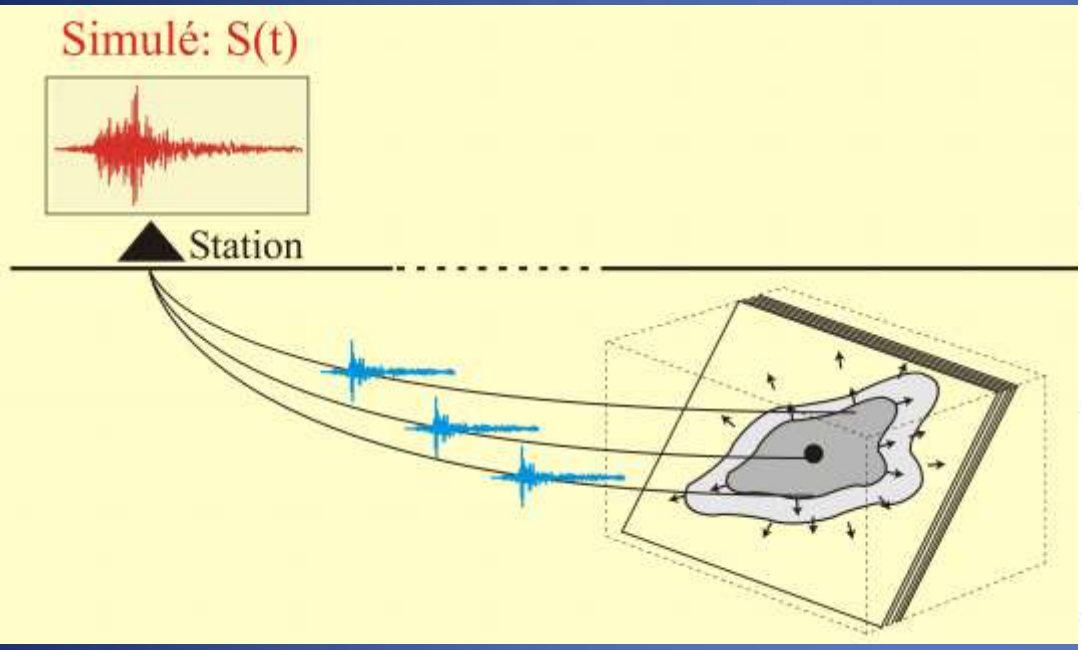
Peut on prédire à l'avance les mouvements du sol d'un fort séisme ?

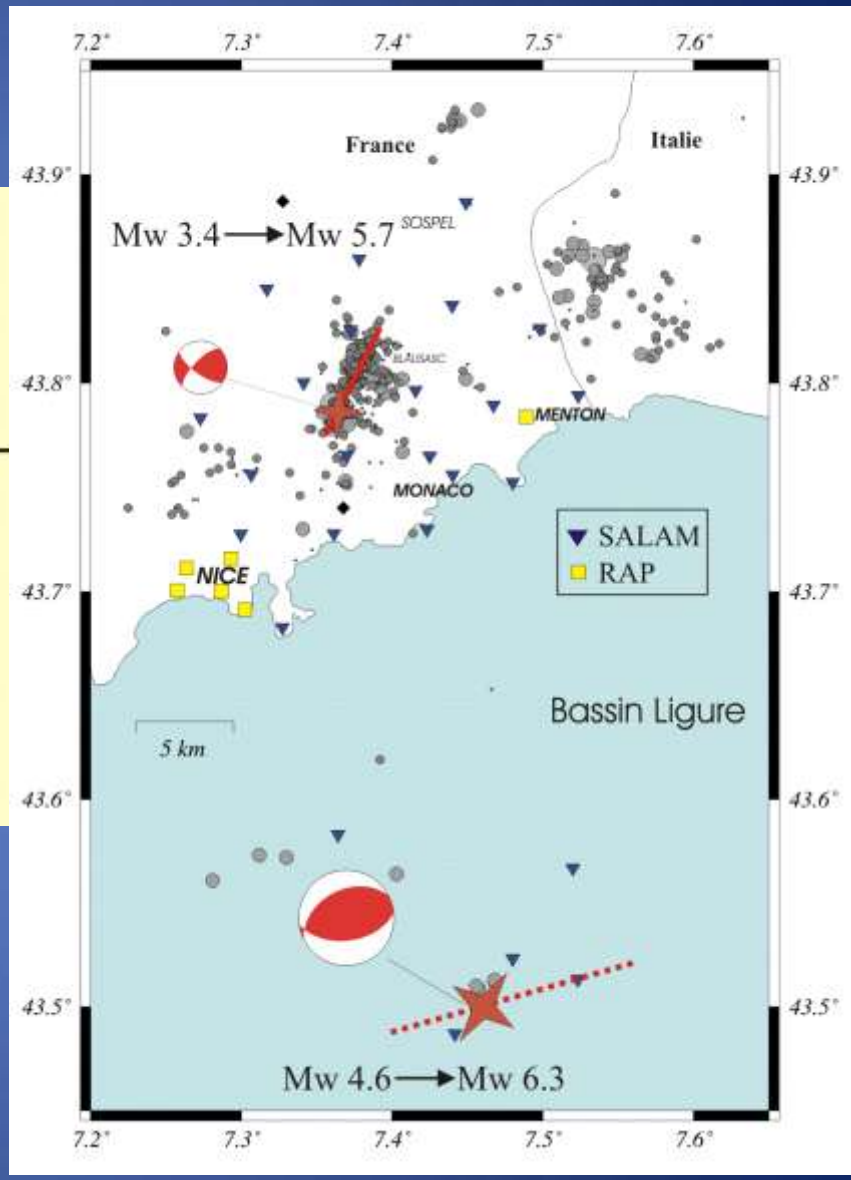


Peut on prédire à l'avance les mouvements du sol d'un fort séisme ?



On simule donc de gros séismes en utilisant les plus petits !



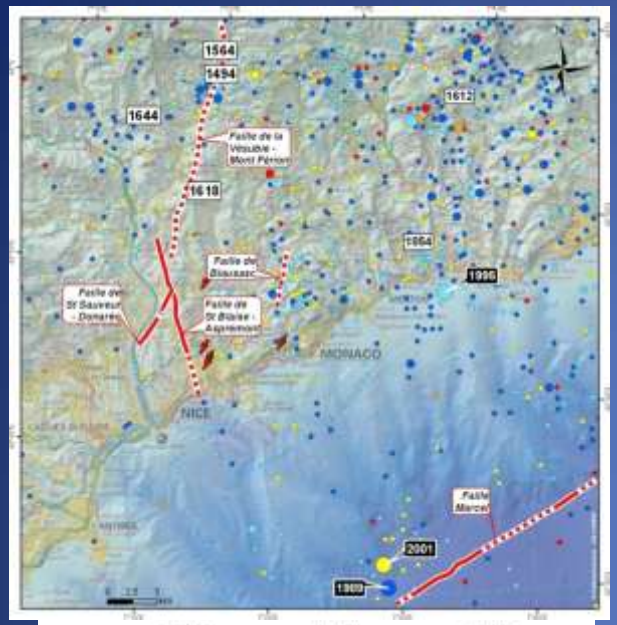


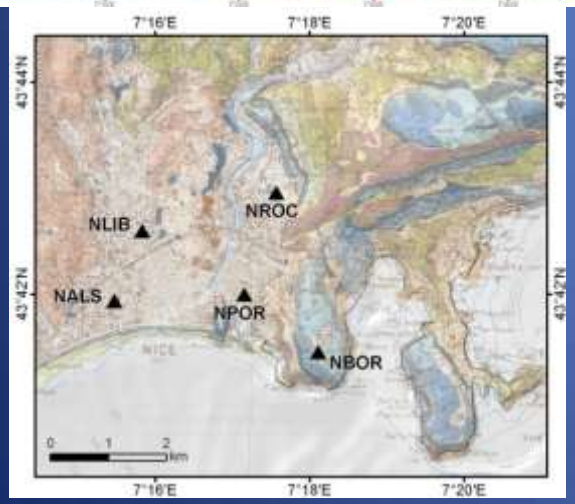
2 Simulations :

Séisme à Terre : magnitude 5,7

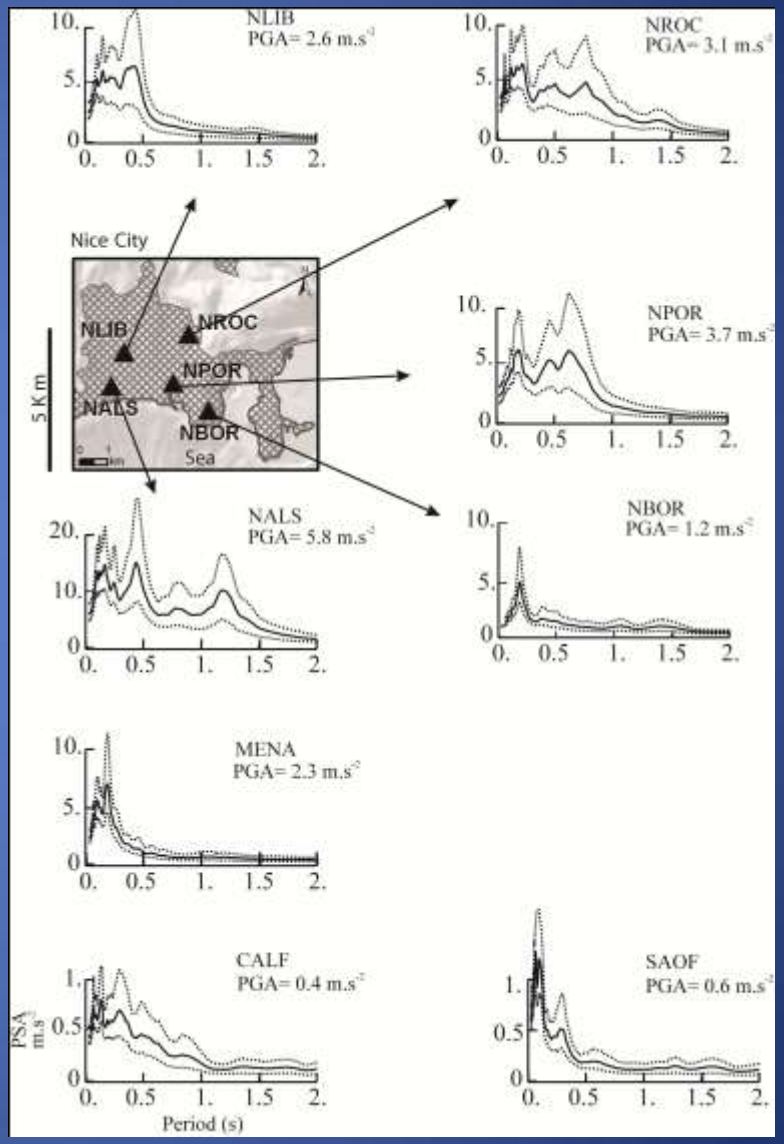
Séisme en mer : magnitude 6,3

Simulation en aveugle à Nice :
Un séisme de magnitude 6.3 sur la faille Marcel

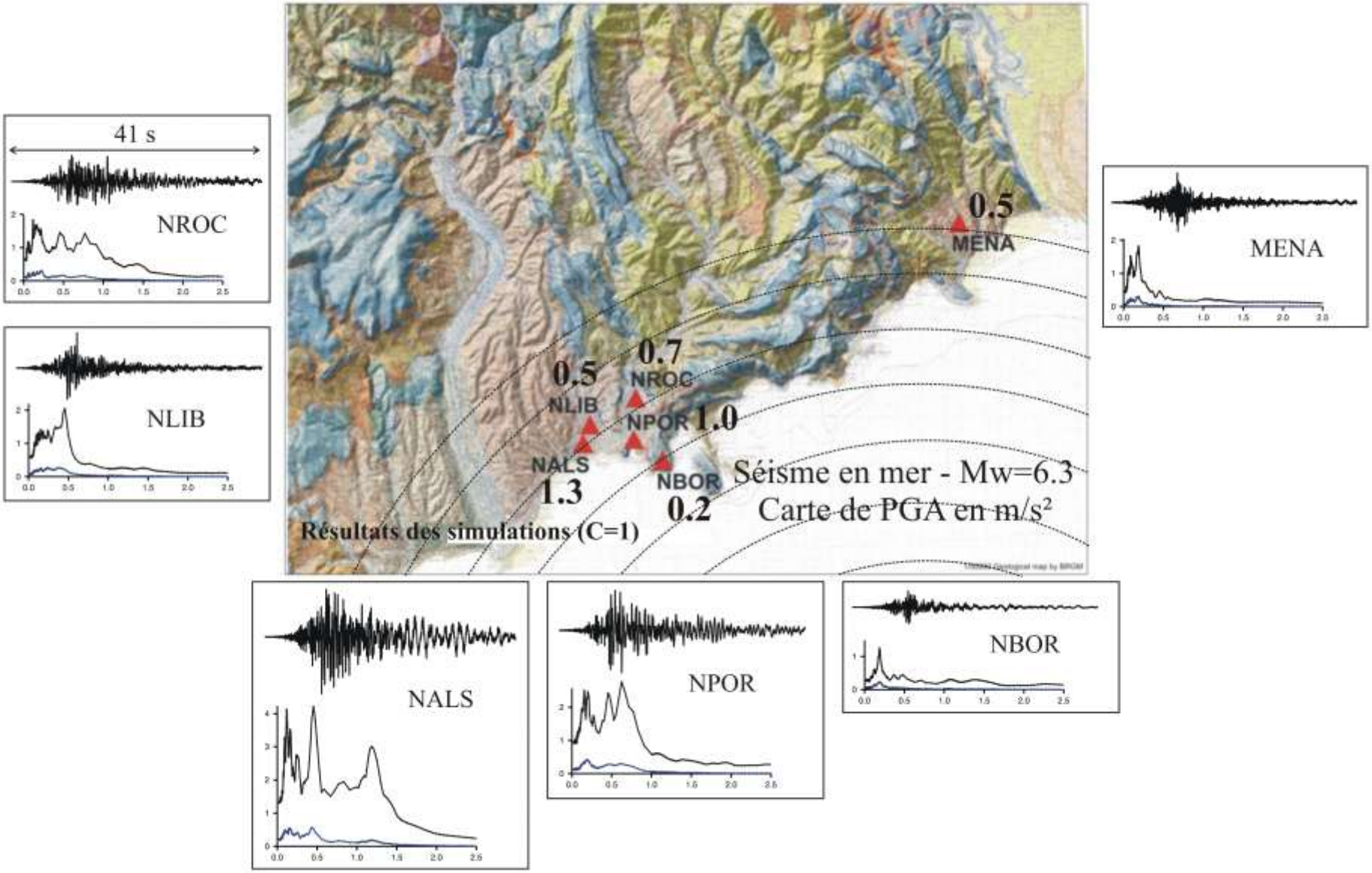




Mw 4.6 → Mw 6.3



Salichon, Kohrs-Sansorny, Bertrand, Courboulex (2010)



(Salichon et al, 2010)

→ Les petits séismes nous aident à simuler les mouvements du sol

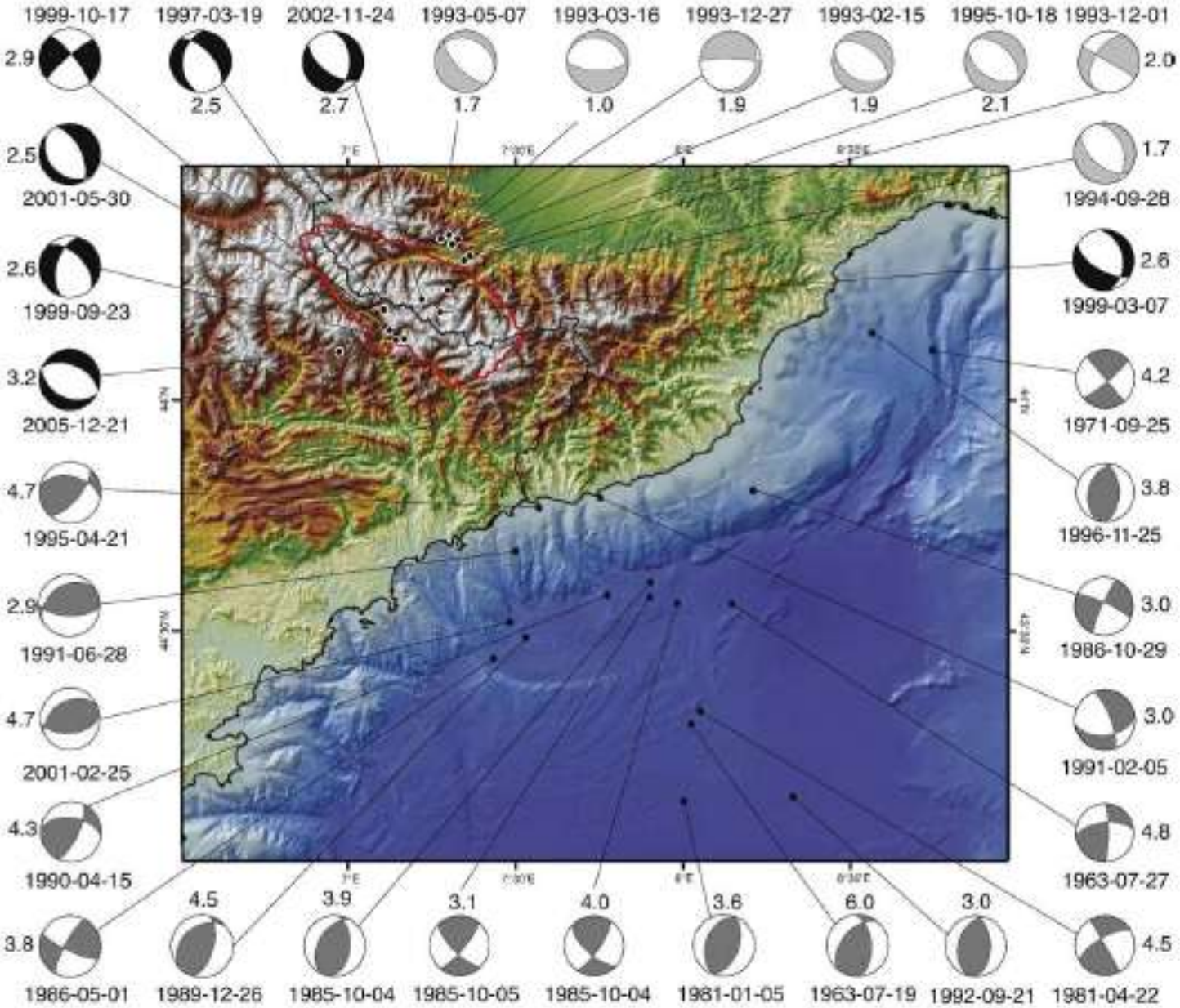


Fig. 9. Focal solutions and magnitude for the Argentera Massif and the northern Ligurian margin. In black are the new mechanisms listed in Table 1 and in grey are mechanisms from the literature (Table 2). The red line corresponds to the Argentera crystalline basement outcrop and the black line is the Italy–France boundary.

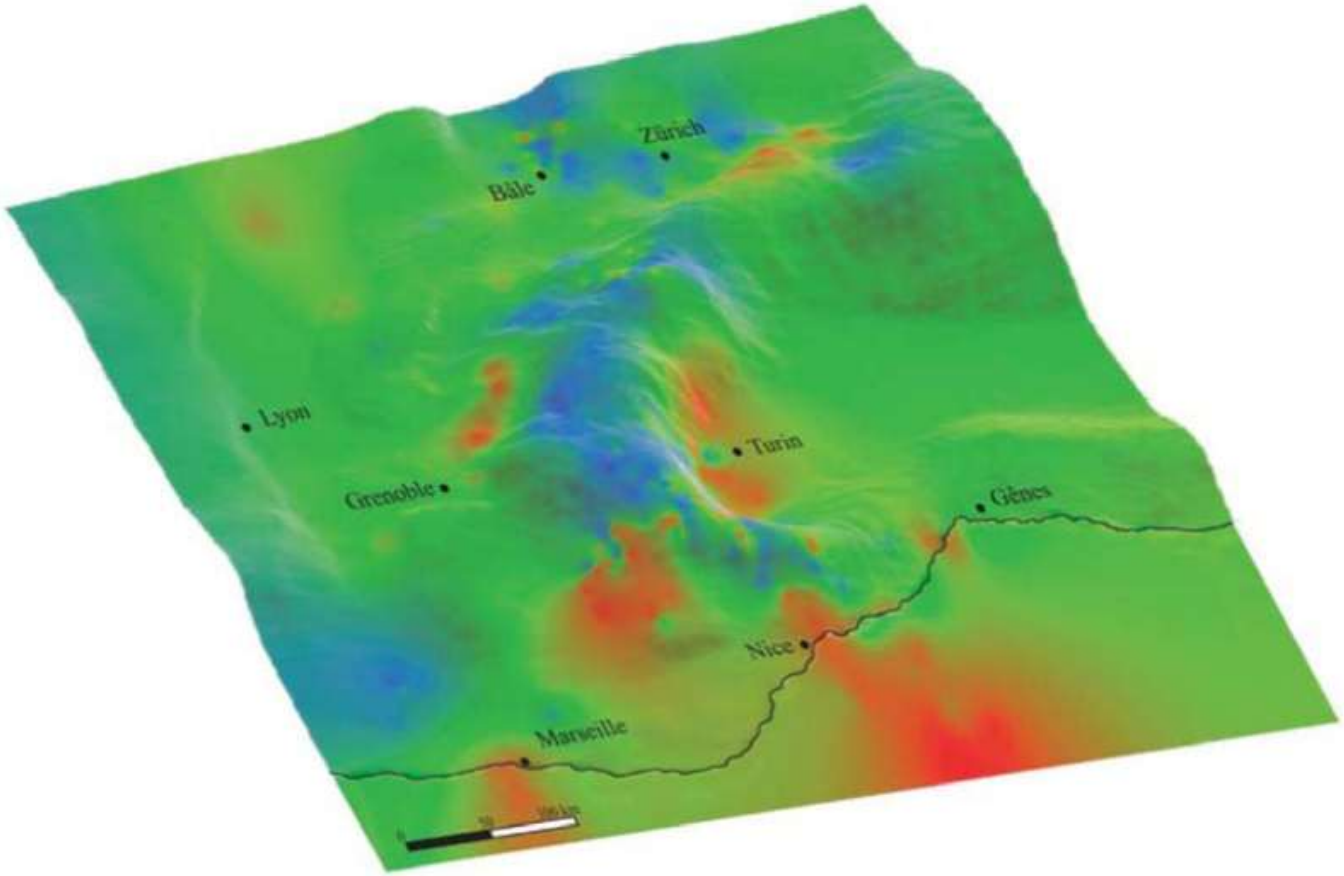


Figure I-19 : *Carte du régime de déformation dans les Alpes occidentales drapée sur un modèle numérique de topographie. Ce travail de Delacou et al. (2004) met en évidence la corrélation entre, d'une part, les régions présentant un régime de déformation extensif (en bleu) et les zones à topographie élevée et, d'autre part, les régions présentant un régime de déformation compressif ou transpressif (en rouge) et les zones à topographie basse au pied de la chaîne.*

Pourquoi la région est-elle sismique ?

- Parce qu'elle est proche de la limite diffuse des plaques Afrique et Eurasie ?

… mais le déplacement est très faible (<0.5 mm/an)

- Parce que des mouvements importants ont eu lieu au tertiaire : formation des Alpes, ouverture du bassin liguro-provençal …

- -à cause de forces de volume ?

→ Les petits séismes nous renseignent sur les contraintes tectoniques d’une zone

… chez nous il reste beaucoup de questions

Et aujourd’hui ?

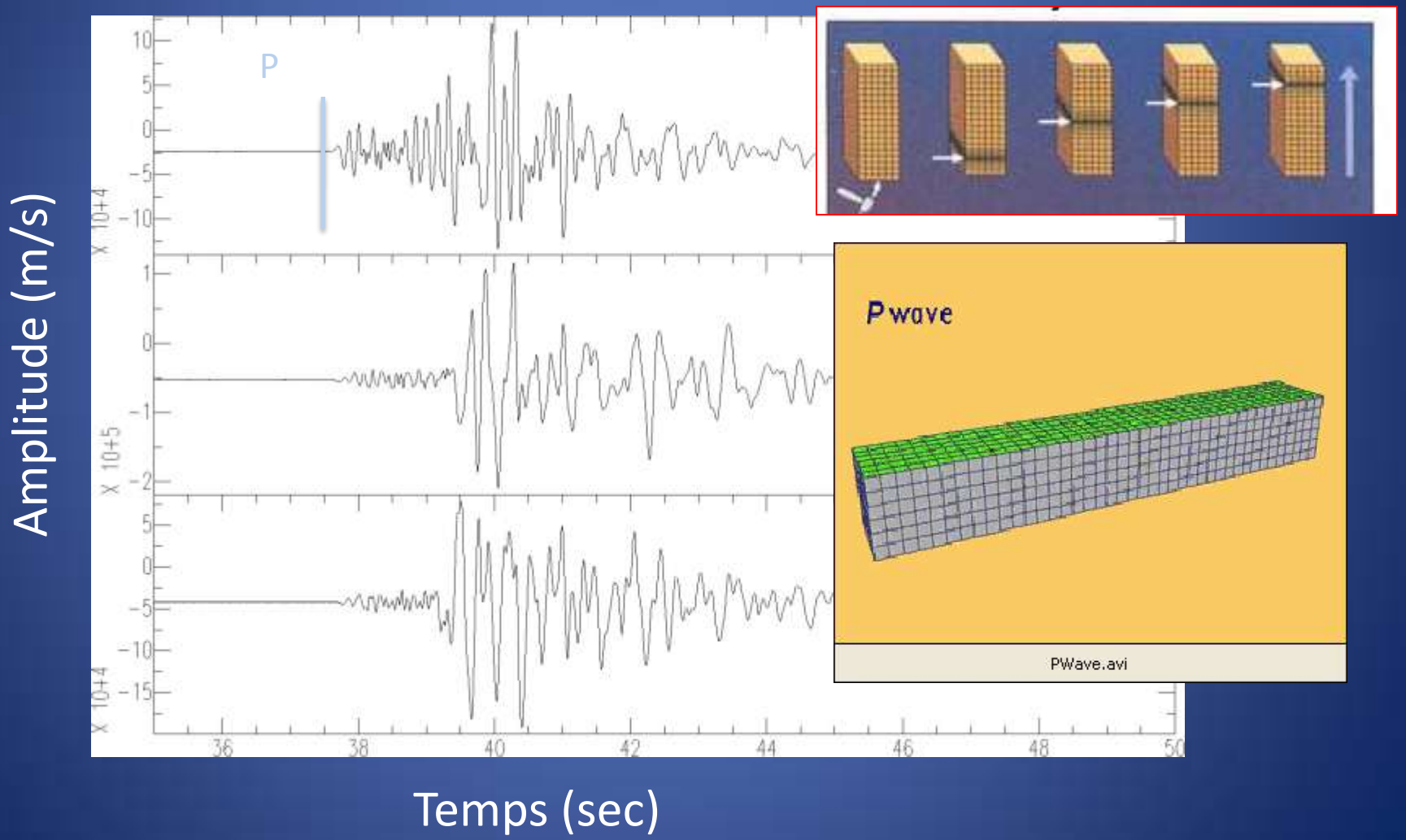
En octobre 2010, plus de 500 séismes ont eu lieu en Italie dans la zone du projet O3E

A vous de jouer !

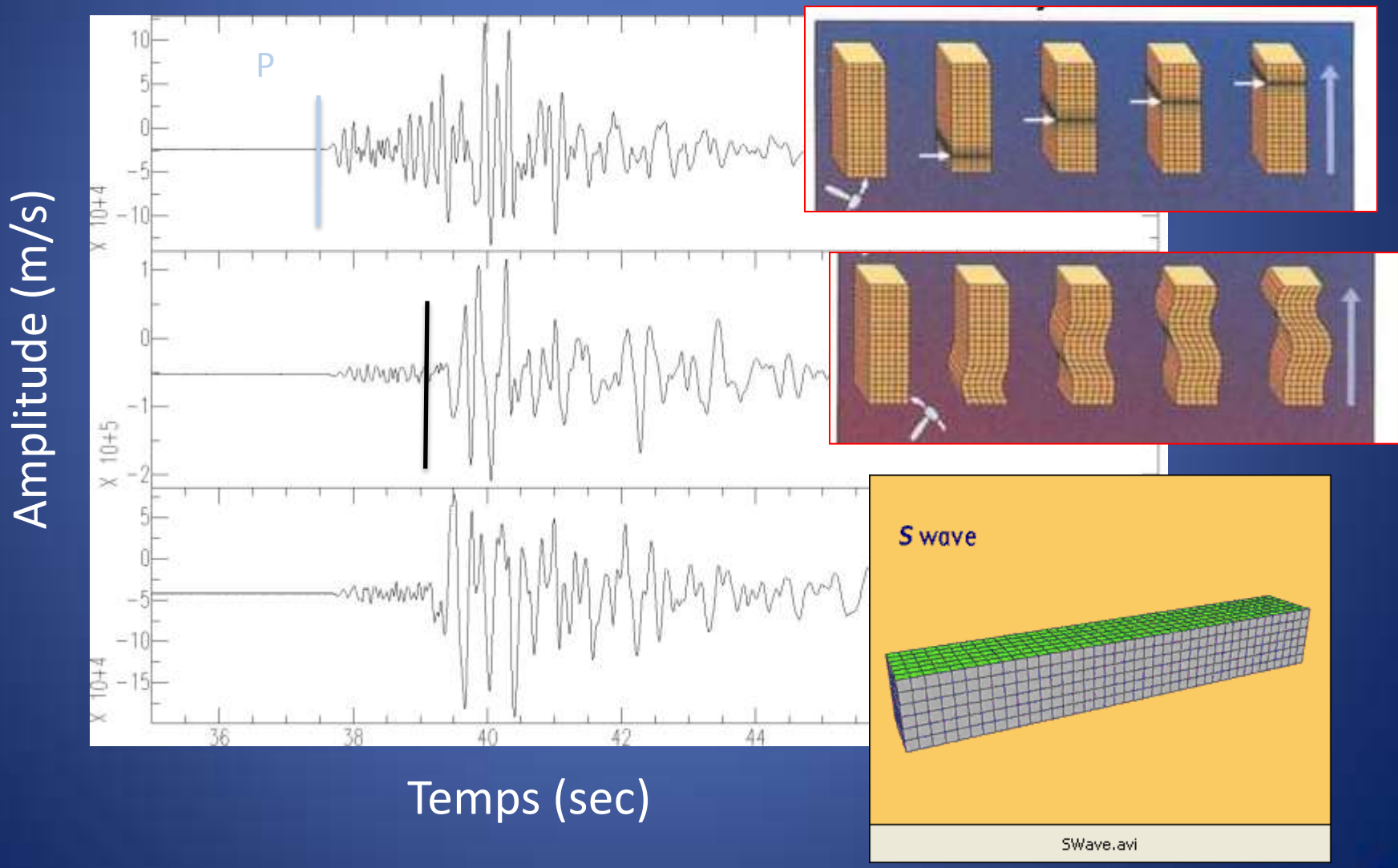
Quelques rappels sur les ondes de volume

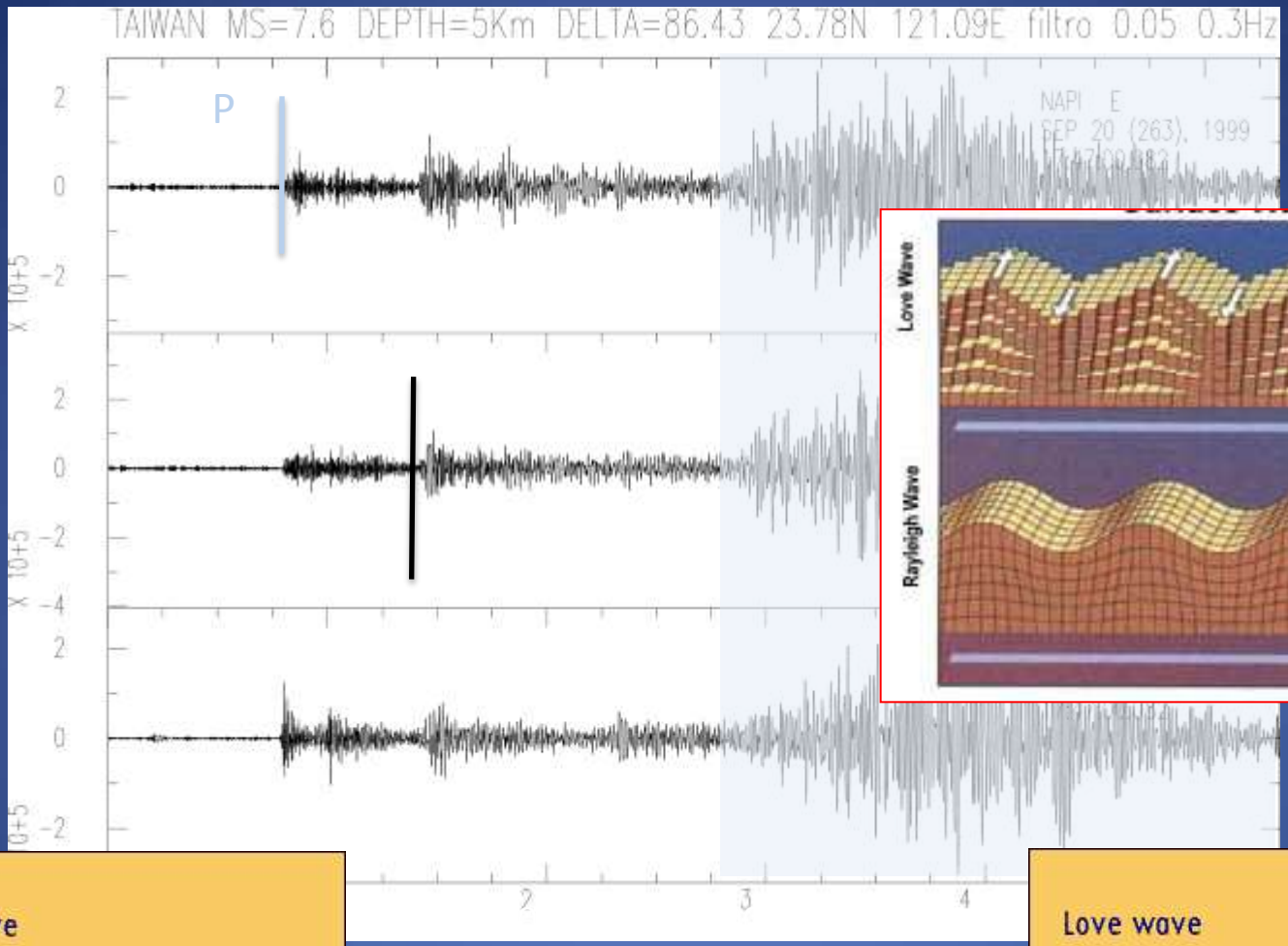
Le sismogramme : enregistrement 3D des vibrations du sol (en général en vitesse)

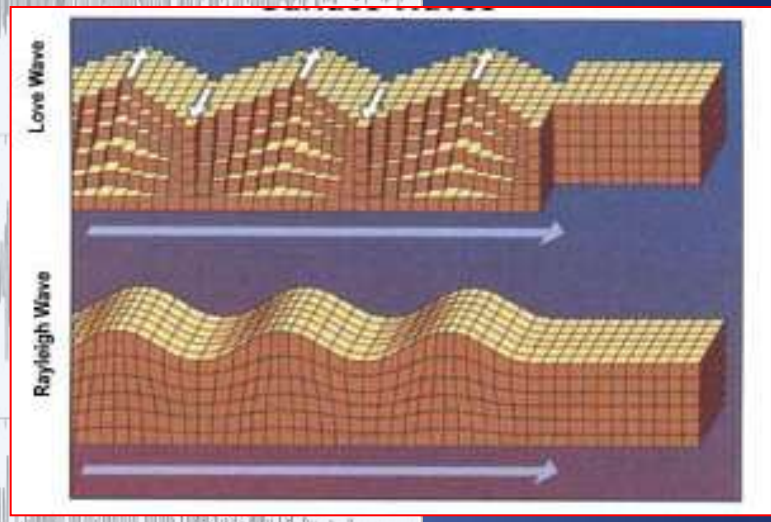
L'onde P

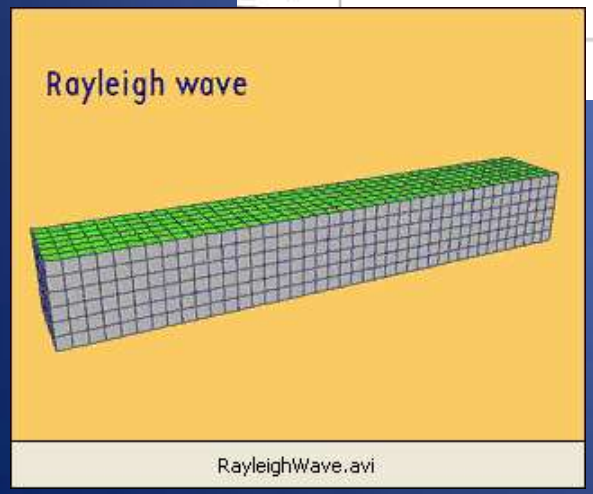


L'onde S

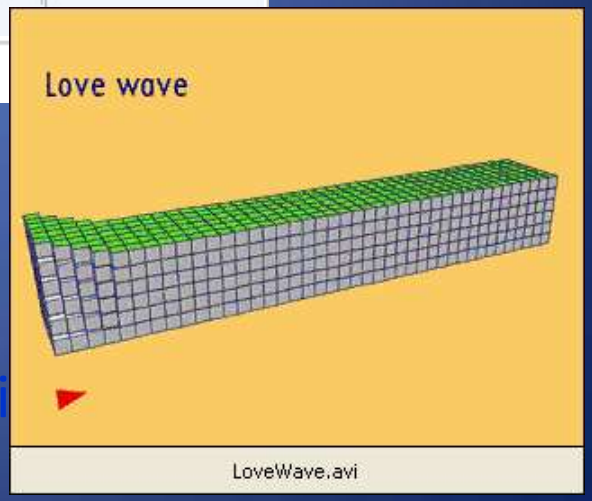

Amplitude (m/s)
P
X 10+4
X 10+5
X 10+4
36
38
40
42
44
Temps (sec)
S wave
SWave.avi



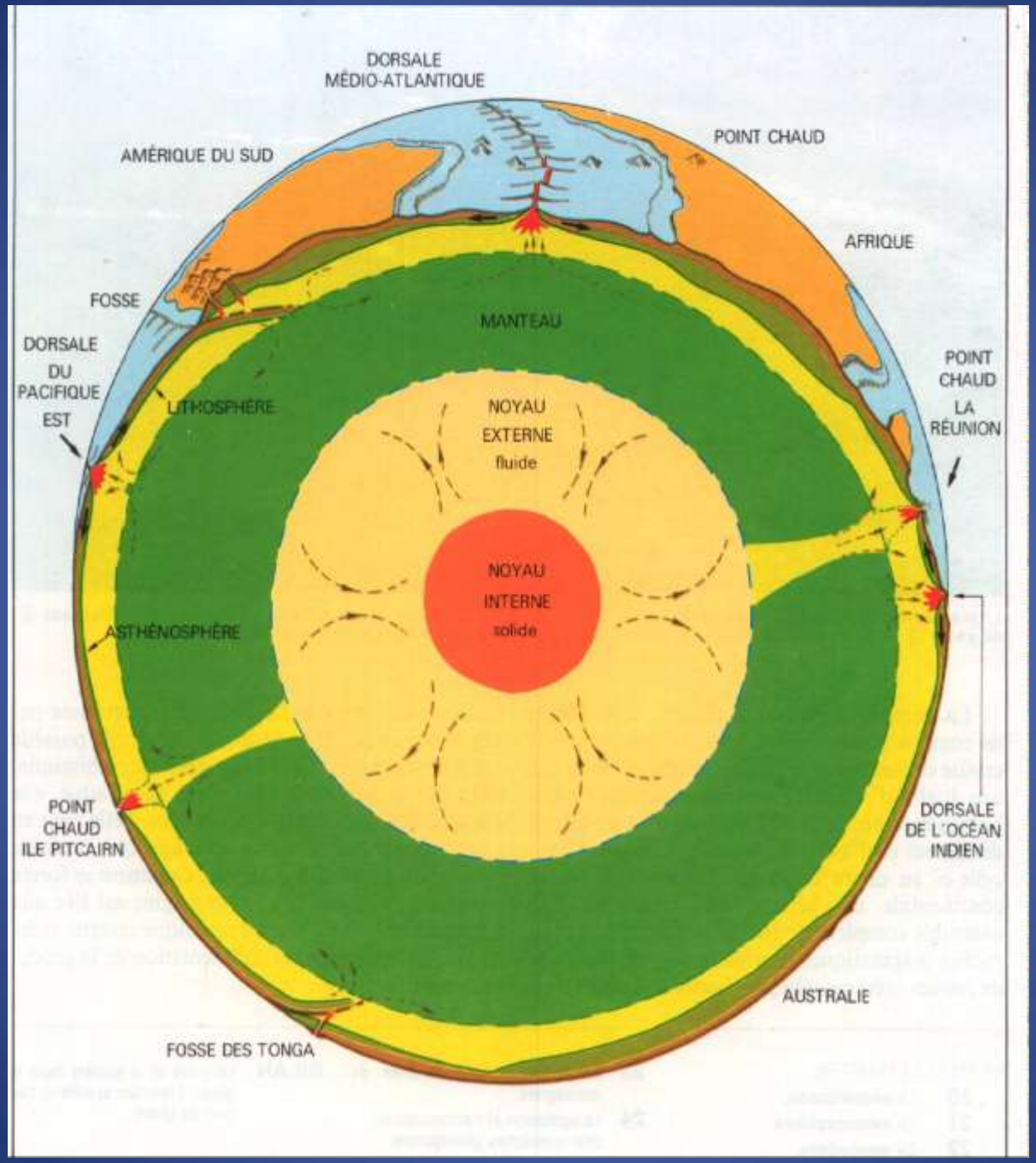




Temps en secondes



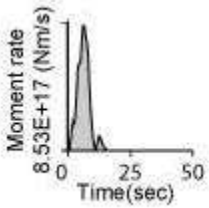
Téléséisme épi


DORSALE
MÉDIO-ATLANTIQUE
POINT CHAUD
AMÉRIQUE DU SUD
AFRIQUE
FOSSE
MANTEAU
DORSALE
DU
PACIFIQUE
EST
LITHOSPHÈRE
POINT
CHAUD
LA
RÉUNION
NOYAU
EXTERNE
fluide
NOYAU
INTERNE
solide
ASTHÉNOSPHÈRE
POINT
CHAUD
ILE PITCAIRN
DORSALE
DE L'OCÉAN
INDIEN
AUSTRALIE
FOSSE DES TONGA

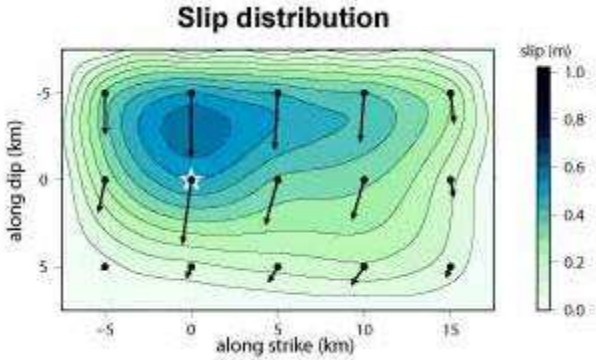
Central Italy 09/04/06

Mo = 0.285E+19 Nm, Mw = 6.24

H = 6.0km, T = 14.0 s, var. = 0.4541



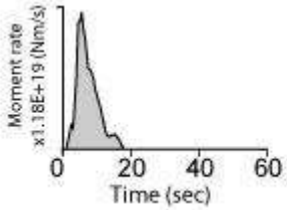
(147.,44., -99.)

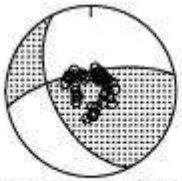


Haiti, 10/01/12

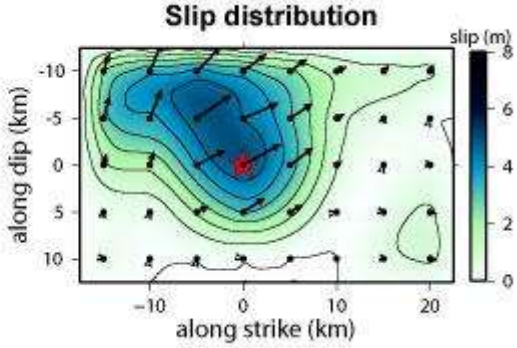
Mo = 0.502E+20 Nm, Mw = 7.07

H = 12.5 km, T = 16.0 s, Dmax = 5.0 m, var. = 0.3364





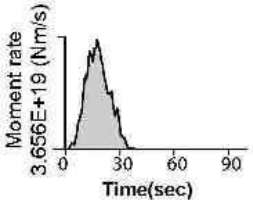
(259.0, 71.0, 41.0)

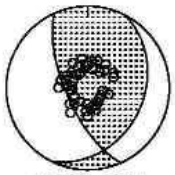
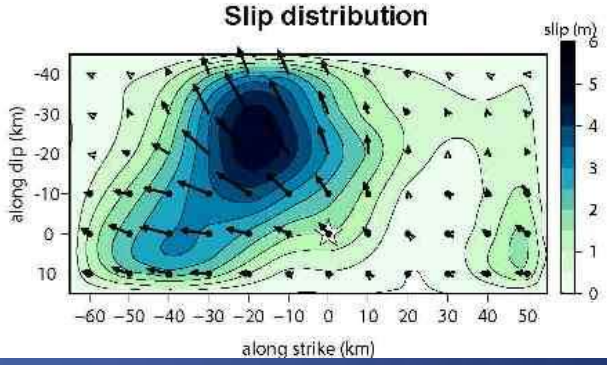


New Zealand, Fiordland 2009/07/15

Mo = 0.394E+21 Nm, Mw = 7.66

H = 30.0 km, T = 36.0 sec, var. = 0.1868





(27.,32., 136.)