

# Secousses sismiques : où en est la science?

13 avril 2011

Conférence de presse

Philippe Cardin, directeur d'ISTerre

Philippe Cardin, Directeur d'ISTerre

- **La recherche en sismologie à ISTerre** : de la source sismique aux applications  
Jean Virieux, UJF
- **Le risque sismique en Rhône-Alpes** : points clés et idées reçues  
Pierre-Yves Bard, IFSTTA R
- **L'implication d'ISTerre dans Richter 38** : l'observation géophysique  
Emmanuel Chaljub, OSUG
- **Retour sur les récents séismes** : Japon, Nouvelle Zélande...  
Anne Paul, CNRS
- **Visite et démonstration des instruments sismiques**  
Sandrine Roussel, CNRS



- **la prédiction des séismes** (localisation, taille, de manière probabiliste puis déterministe), et l'estimation des mouvements associés ;
- **la construction d'un réseau national moderne d'instruments géophysiques** (nouveaux équipements, nouveau centre de données, nouveaux logiciels) ;
- **l'utilisation des ondes sismiques pour imager le sous-sol proche et profond**, les ouvrages et leurs fondations (ressources naturelles, volcans, mouvements de terrains, stockages souterrains...) et faire un suivi temporel fin de leurs propriétés ;
- **la quantification et la réduction de la vulnérabilité des sociétés aux séismes** (bâti, réseaux, sites sensibles, tsunamis, mouvements de terrains).

# Les recherches en sismologie: de la source sismique aux applications

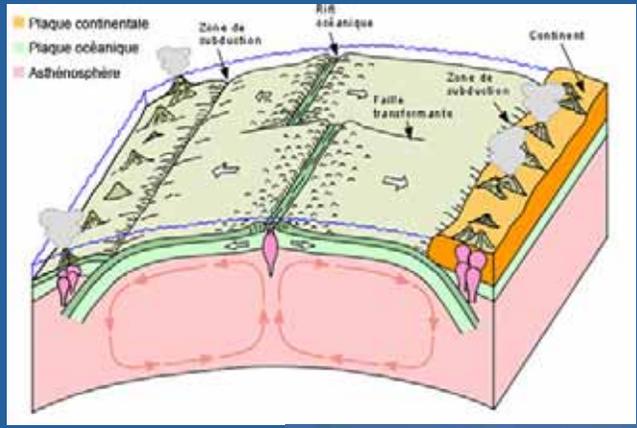
13 avril 2011

Conférence de presse

Jean Virieux, Professeur UJF

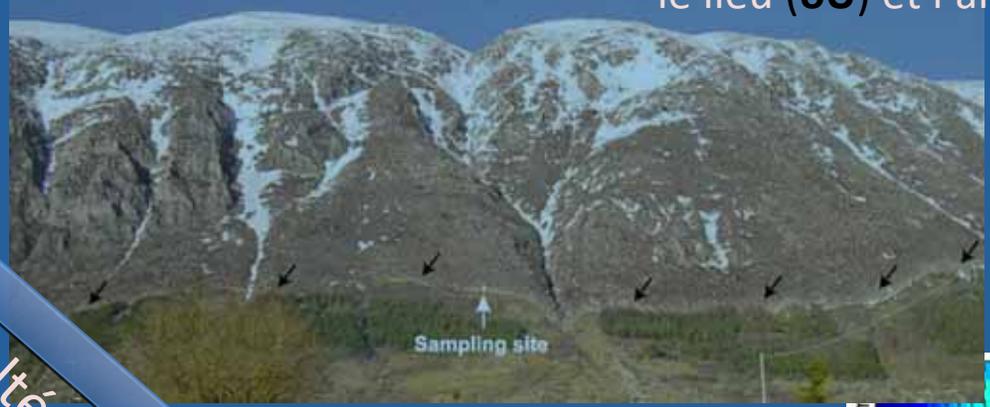
OSUG

## Les séismes: pourquoi, où et comment

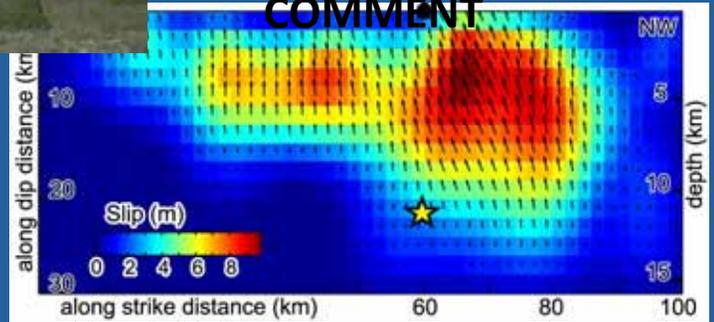


La tectonique des plaques explique le **POURQUOI**

Les **failles actives** indique le lieu (**où**) et l'ampleur possibles



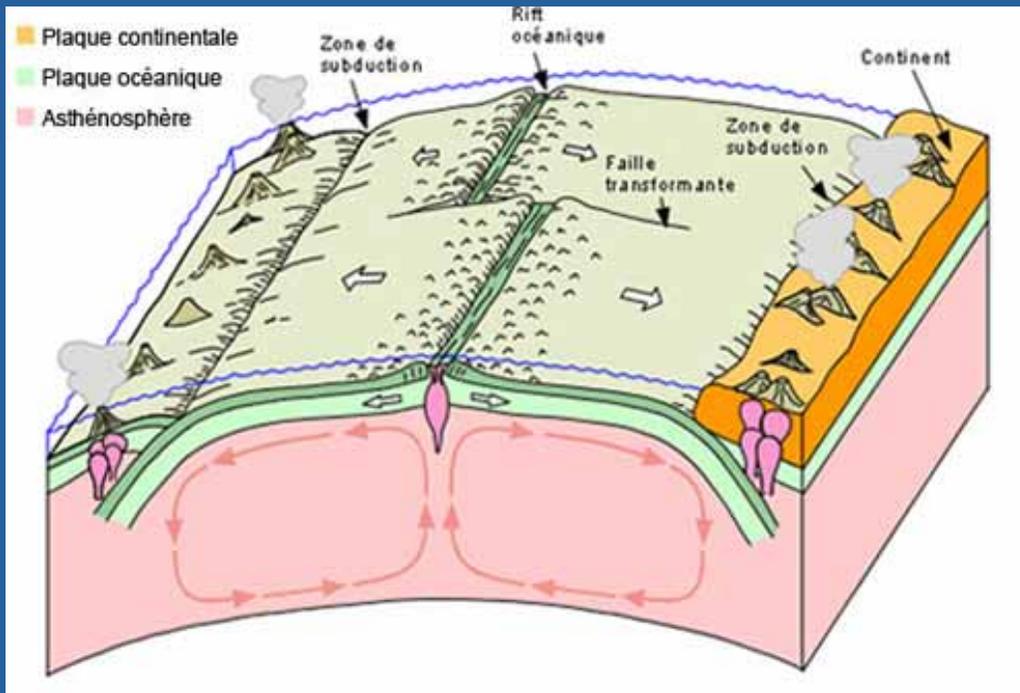
Les **mesures du mouvement du sol** expliquent le **COMMENT**



Difficulté croissante dans l'anticipation

**POURQUOI** les séismes ?

La Terre est une immense « machine thermique » :



Les plaques bougent les unes par rapport aux autres sur des périodes de temps dépassant le million d'années.

Ainsi, là où il y a eu des séismes, il y aura des séismes à l'échelle de notre temps humain.

Les zones sismiques sont ainsi connues.

Les séismes : OÙ ?

La cartographie des failles et l'identification des failles actives :  
une étape indispensable pour indiquer le **lieu** et l'**ampleur** possibles d'un futur séisme



*Faille Magnola (Italie)  
d'après Palumbo et al. (2004)*

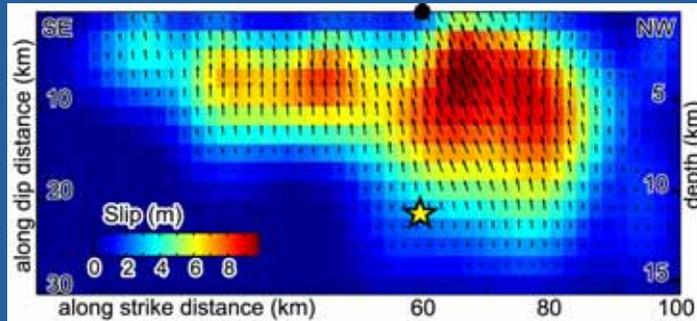
Comment caractériser une faille active ?

A-t-on un catalogue complet des failles actives dans une région donnée ?

Les séismes : **COMMENT ?**

Les raisons de la rupture sismique : une affaire **LOCALE**

Les raisons de la taille de la rupture : une affaire **RÉGIONALE**



Glissement sismique de plusieurs mètres sur une faille de 100 km sur 15 km, obtenu grâce aux mesures du mouvement du sol autour de la faille.

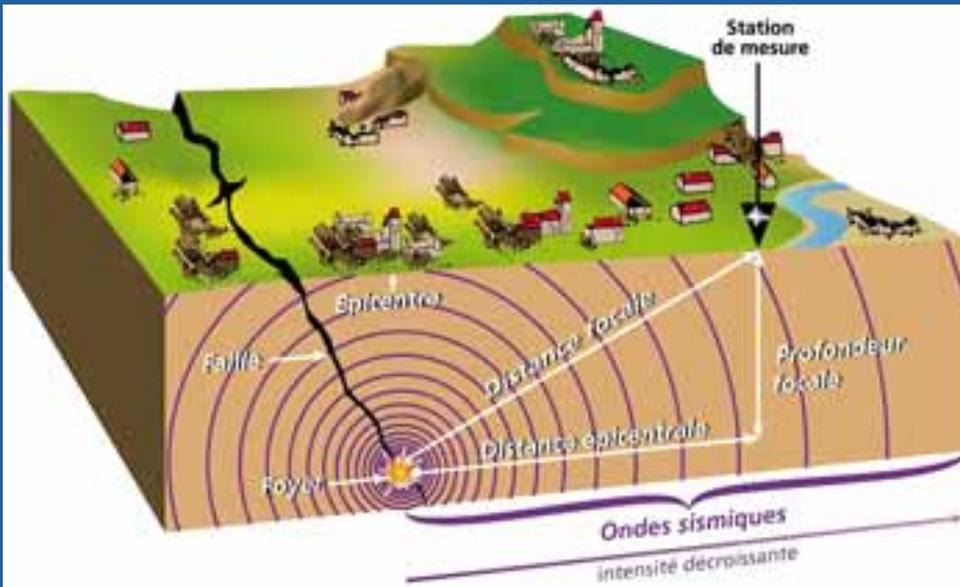
*Séisme du Kashmir (2004) d'après Pathier et al (2006)*

Mieux comprendre et mieux suivre :

- le chargement mécanique/tectonique du milieu autour de la faille (aspect régional)
- le frottement entre les deux côtés de la faille avec la rugosité du contact, les zones endommagées et la présence de fluides (aspect local)

## Les ondes sismiques : la cause des dégâts

### MESURES ET MODELISATION



Mieux estimer la propagation des ondes, notamment proche de la surface du sol

Mieux estimer le mouvement possible du sol

Mieux estimer les effets sur les structures

L'ampleur des dégâts :  
**la vulnérabilité  
physique**



Izmit, 1999

## Les ondes sismiques : Échographie de la Terre

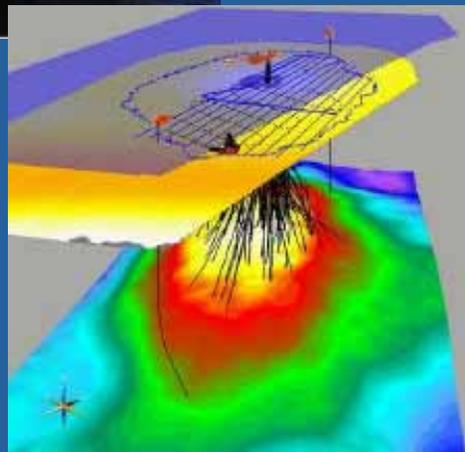
Connaitre le milieu pour propager  
les ondes et donc utiliser ces  
ondes pour connaitre ce milieu

Les réservoirs pétroliers



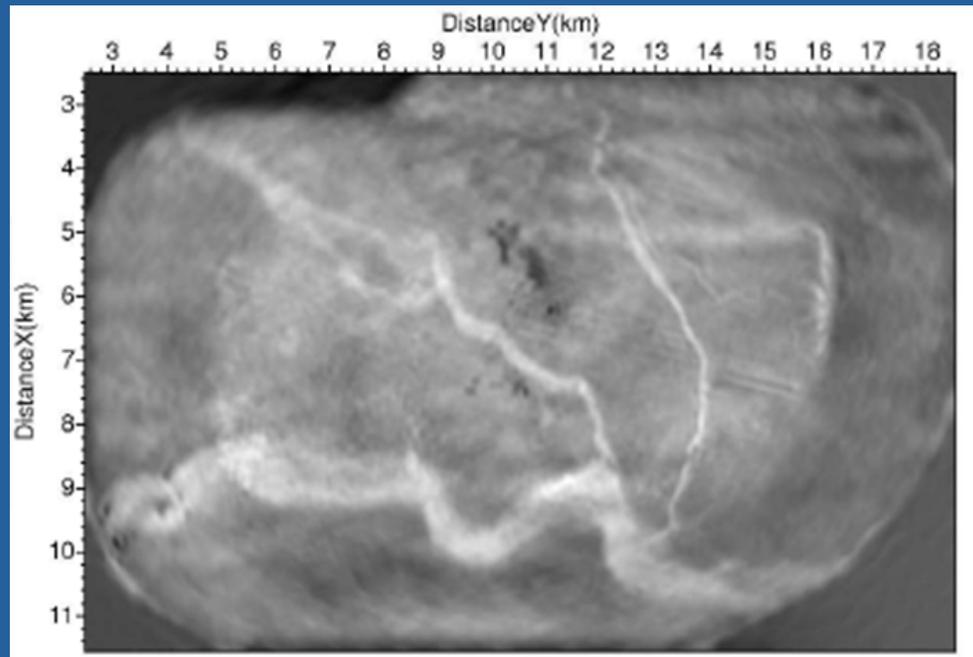
L'acquisition  
sismique pour  
imager le sous-  
sol

OSUG



Les paléo-chenaux

à 150 m de profondeur



Une vision haute résolution

# Le risque sismique en Rhône-Alpes : points clés et idées reçues

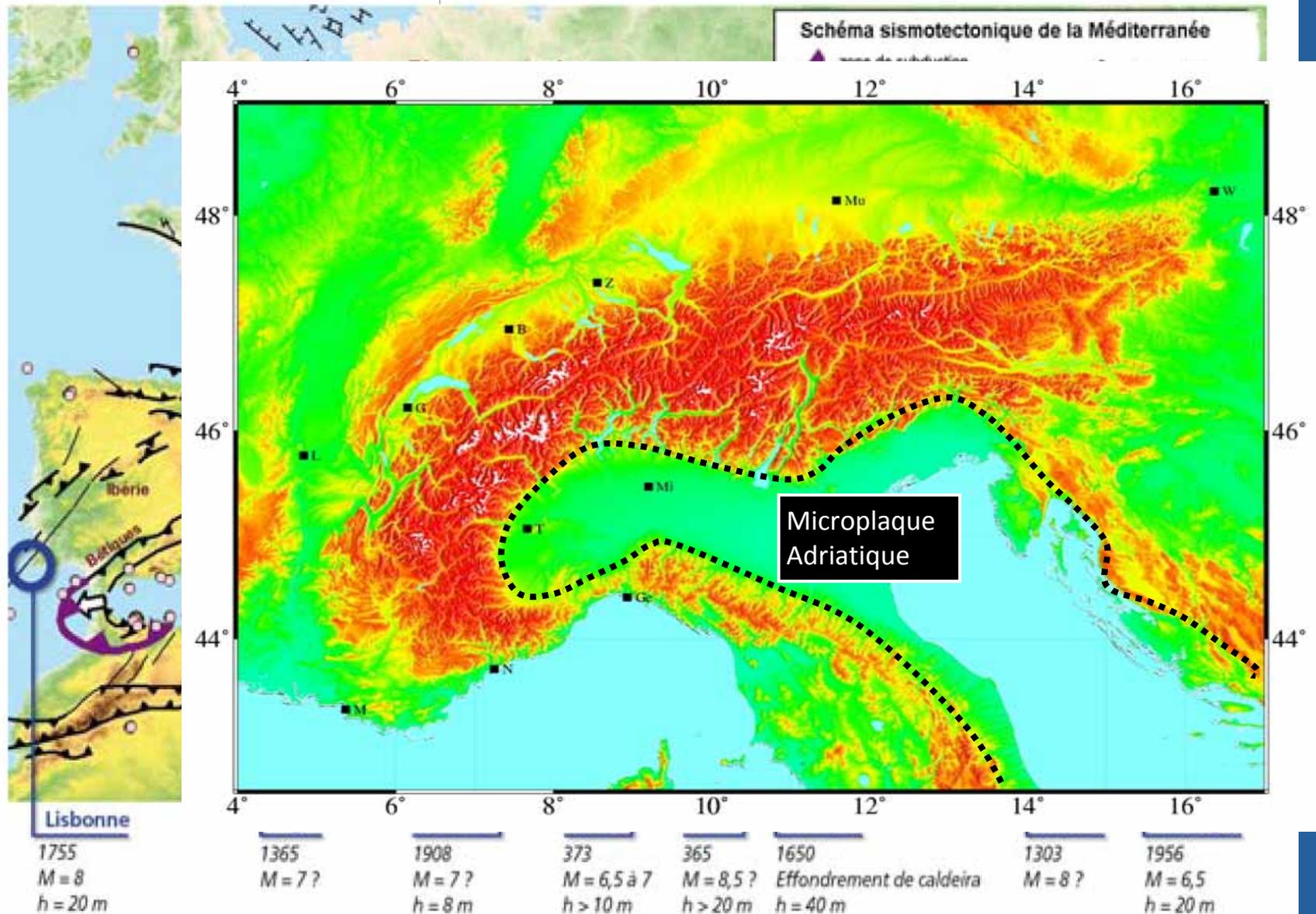
13 avril 2011

Conférence de presse

Pierre-Yves Bard, chercheur IFSTTAR

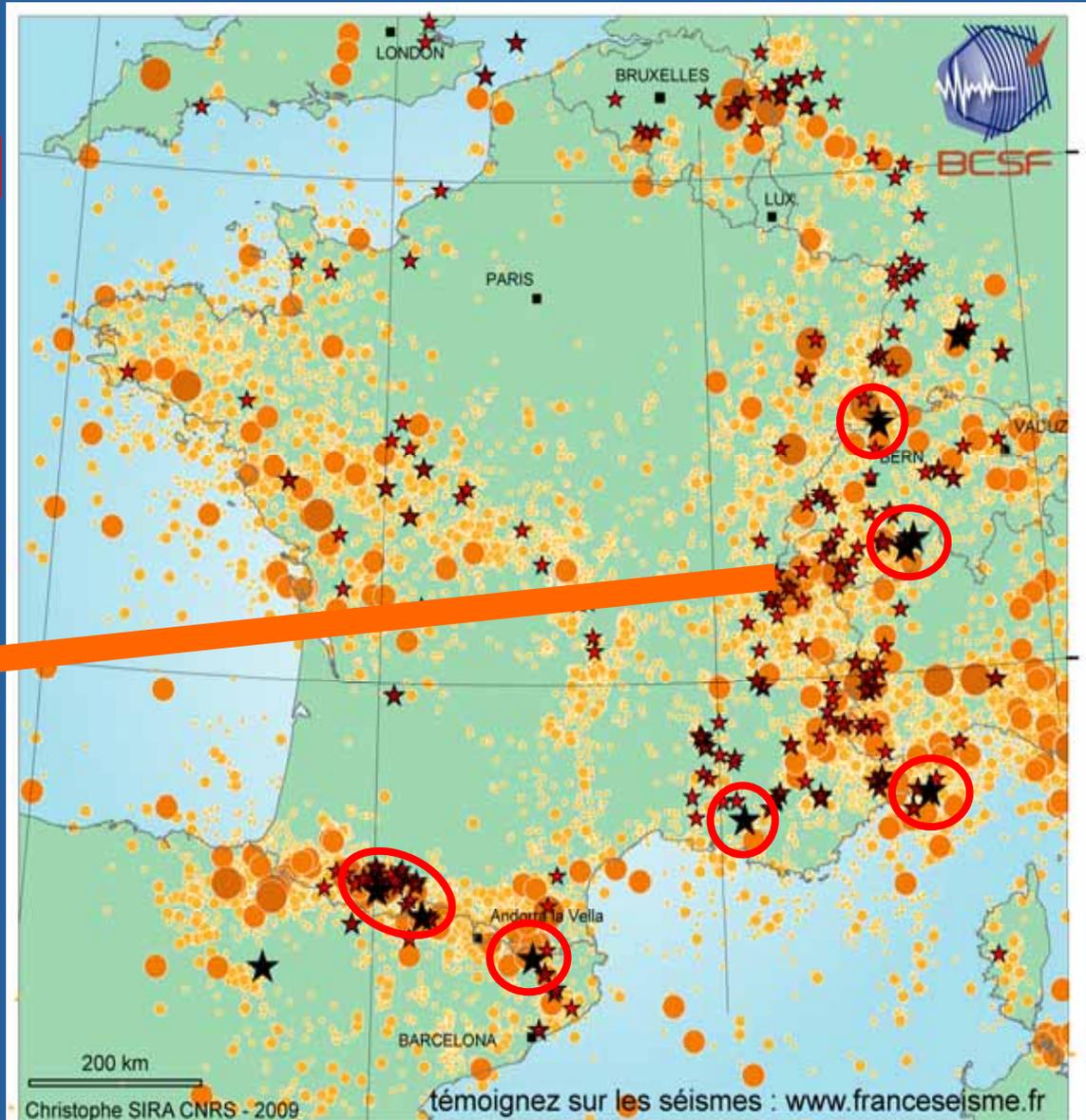
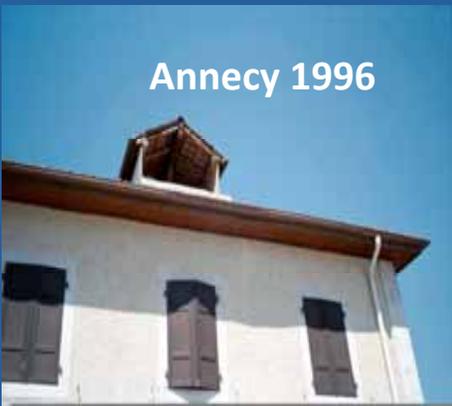
- Une sismicité modérée = une sismicité négligeable ?
- Les sédiments comme matelas amortisseur ?
- On sait tout calculer ?
- Le béton armé, ça résiste bien ?
- Le risque sismique, on ne peut pas le réduire ?

# Cadre tectonique euro-méditerranéen

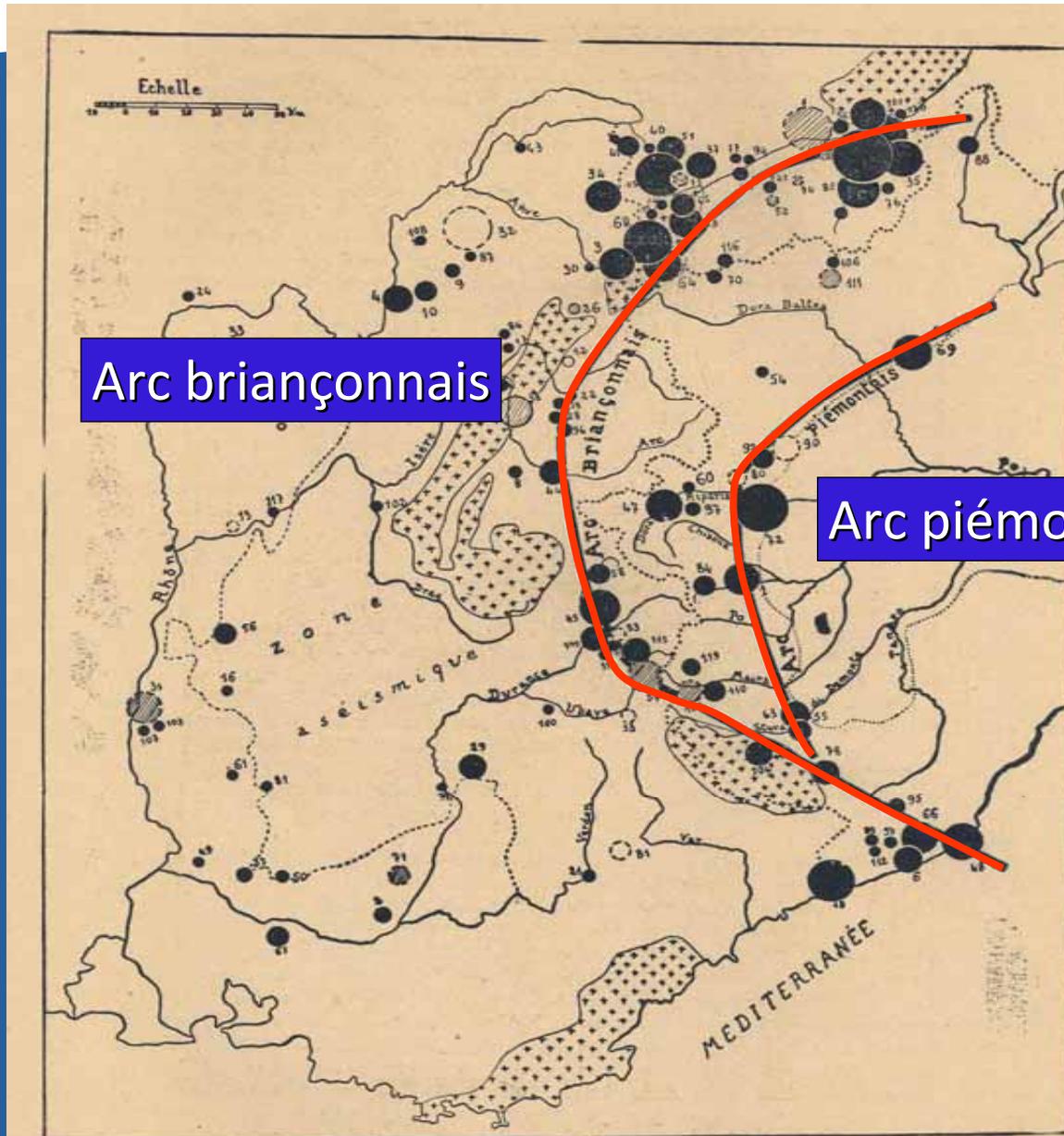


Séismes historiques connus depuis 1000 ans  
d'intensité supérieure ou égale à VIII  
(Sisfrance)

- ★ IX - dommages généralisés aux constructions
- ★ VIII - destructions partielles de bâtiments
- ★ VII - dommages aux constructions



# Carte de sismicité historique Rothé (1941)



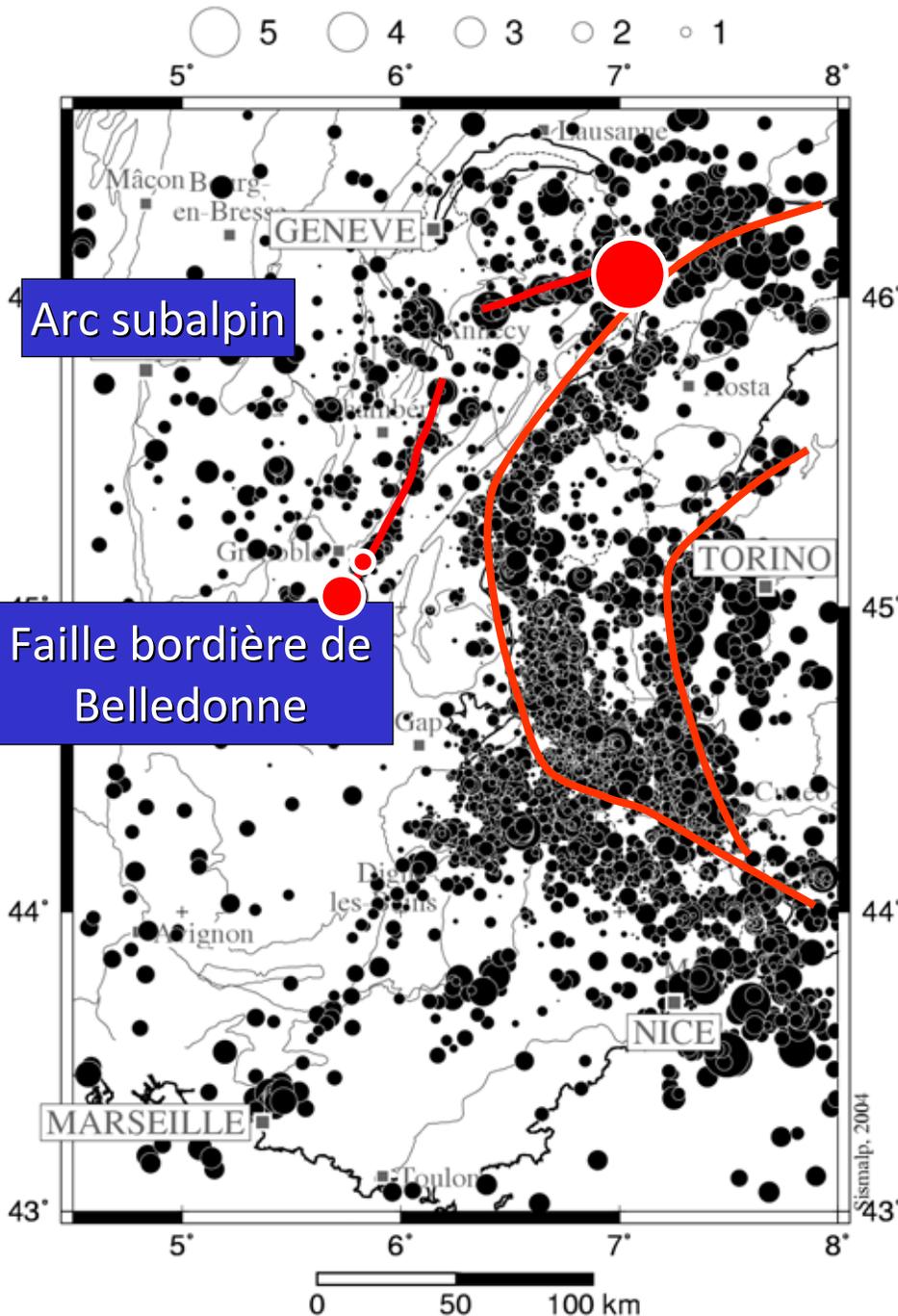
ouvenot, 2006

Arc briannonnais

Arc piémontais

FIG. 14. — La séismicité des Alpes occidentales.

# Apports Sismalp



## Fréquence des séismes dans le Sud-Est

- $M > 1$  : 300 / an
- $M > 2$  : 30 / an
- $M > 3$  : 3 / an
- $M > 4$  : 1 tous les 3 ans
- $M > 5$  : 1 tous les 30 ans
- $M > 6$  : 1 tous les 300 ans (?)
- ...

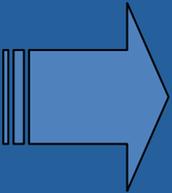
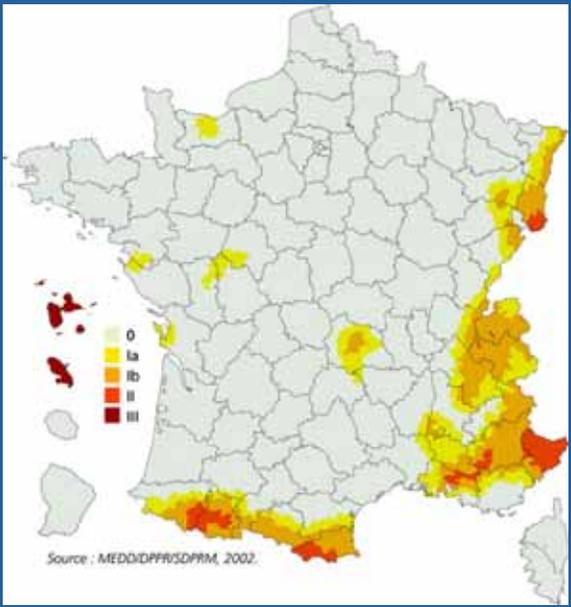
Localisation très précise d'événements même faibles

Mise en évidence de zones actives



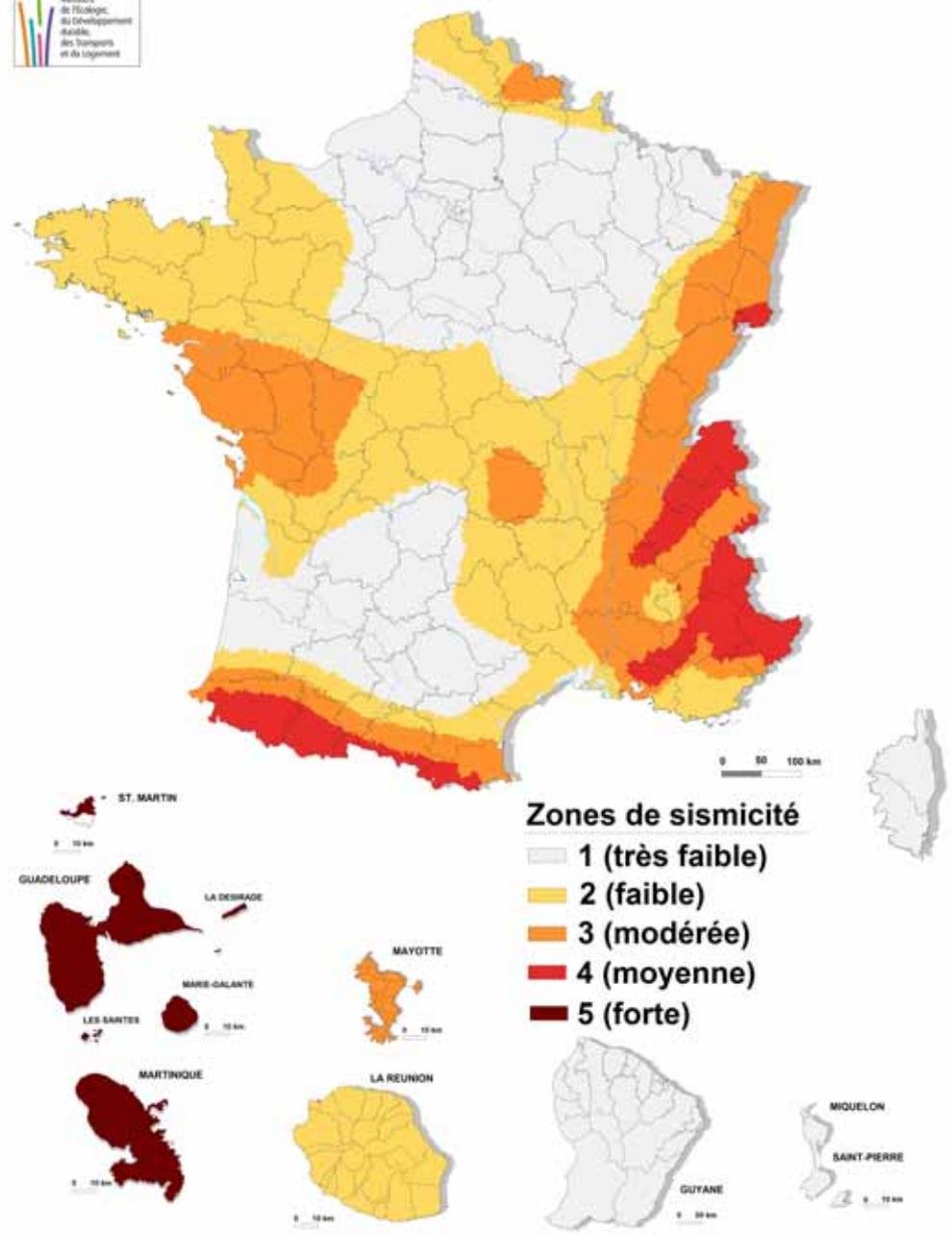
# Nouveau zonage

et comparaison avec l'ancien



III	Forte
II	Moyenne
Ib.	Faible
Ia.	Très faible mais non négligeable
0.	Négligeable mais non nulle

## Nouveau zonage sismique de la France



**Zones de sismicité**

- 1 (très faible)
- 2 (faible)
- 3 (modérée)
- 4 (moyenne)
- 5 (forte)

# Zonage sismique officiel Rhône Alpes

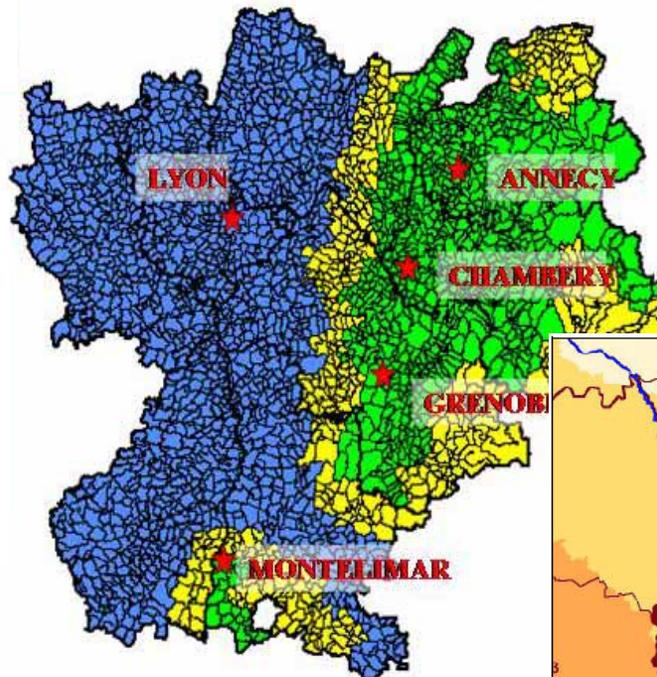
Zones de sismicité

lb

la

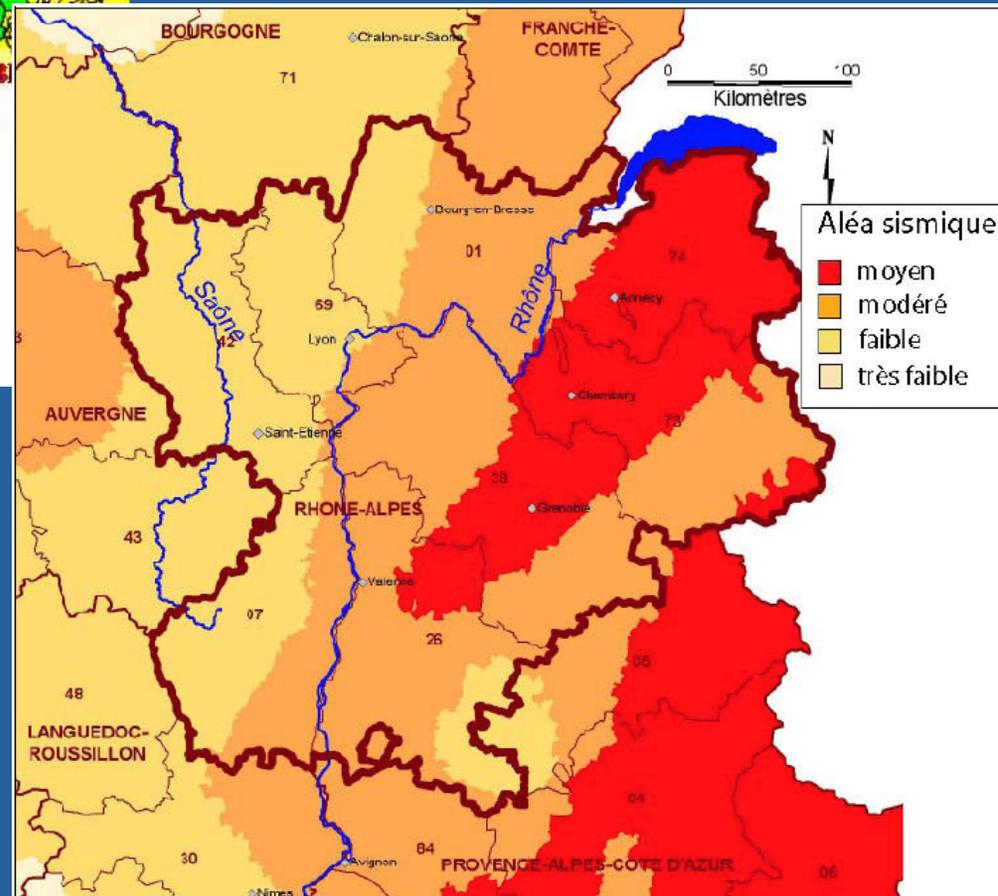
0

0 35 70  
Kilomètres



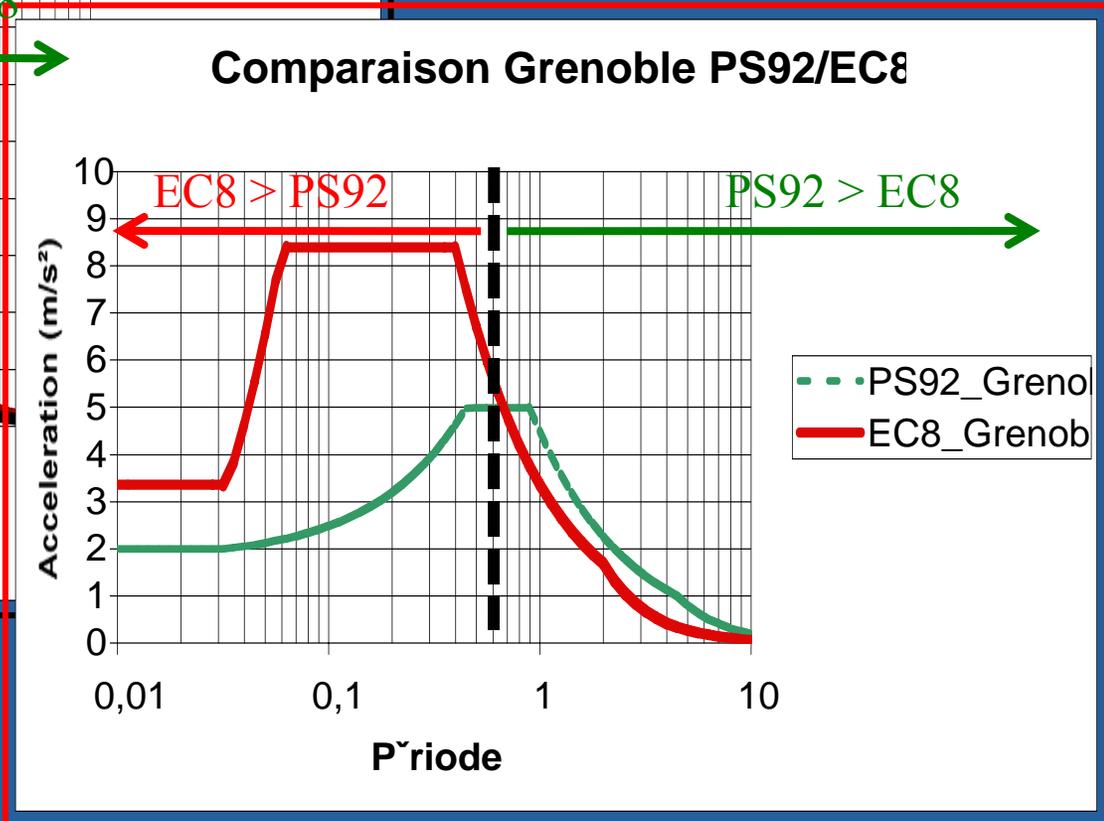
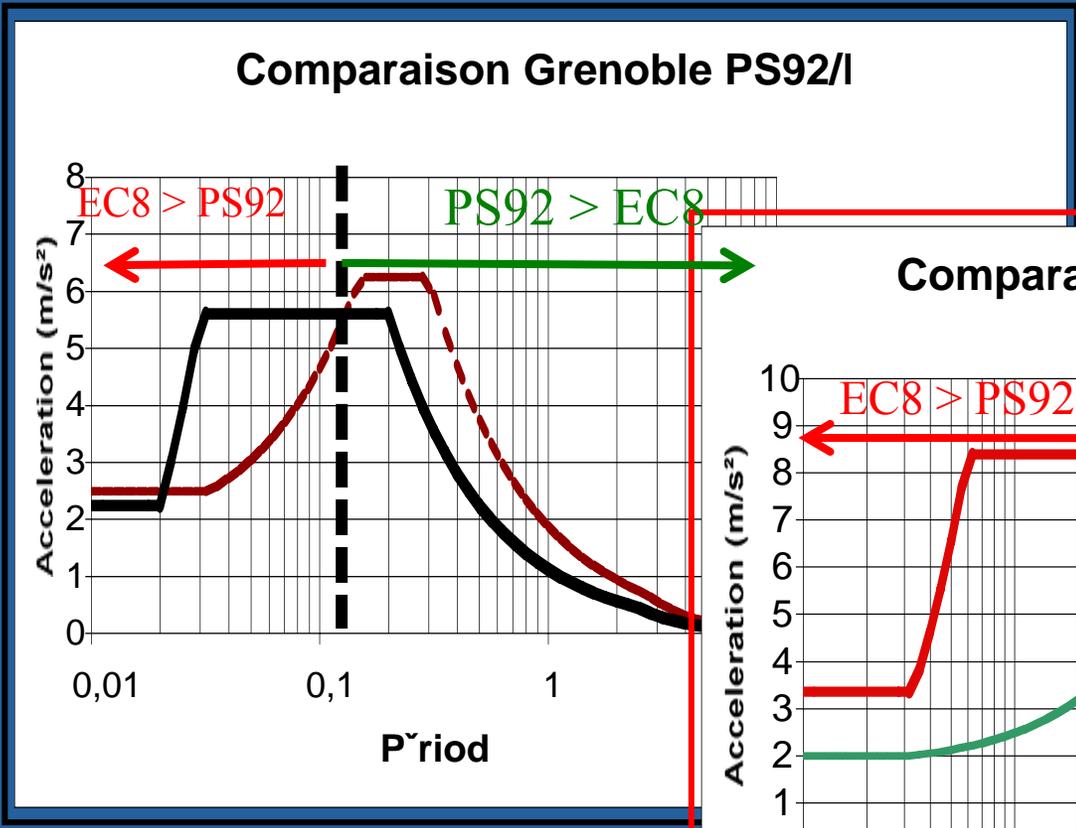
Extension des zones concernées  
par une application systématique

Niveaux pas forcément  
augmentés, parfois diminués



Une sismicité modérée, mais  
pouvant conduire à des  
dommages significatifs

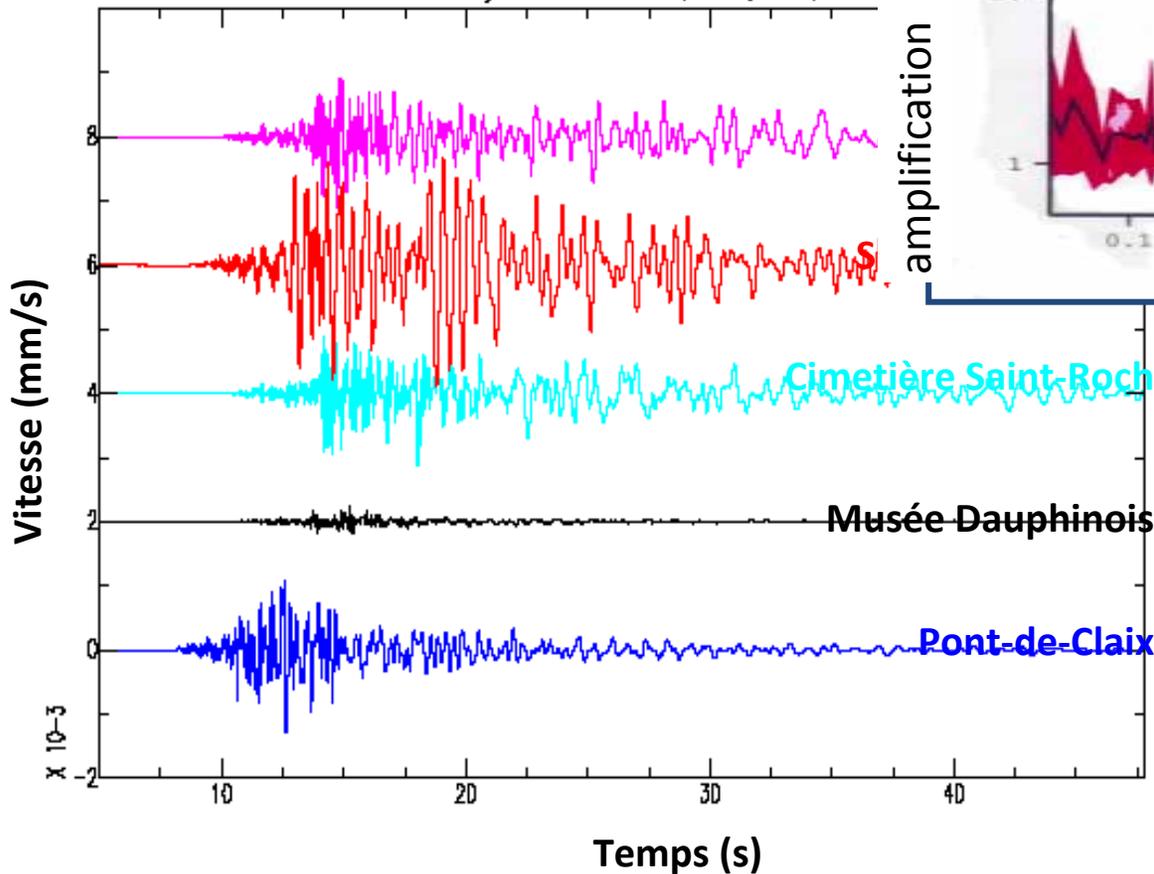
Magnitude plausible :  $M \approx 5.5 - 6$   
(Valais suisse)



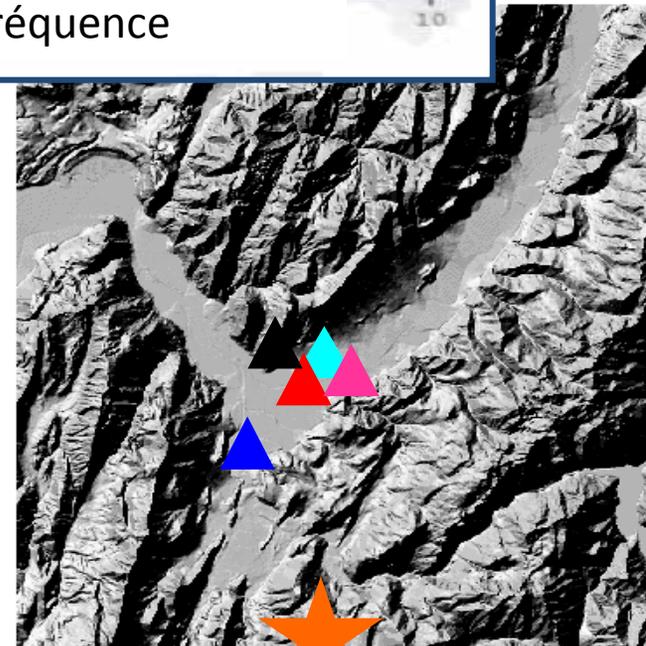
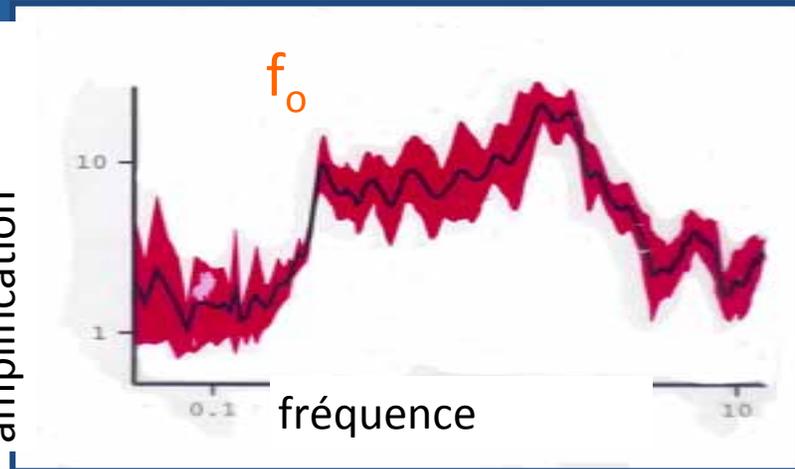
# ? Les sédiments comme matelas amortisseur ?

! Plutôt comme caisse de résonance !

GRENOBLE - Séisme du 11 janvier 1999 - OQPC, OGMU, OGSF, OGDH



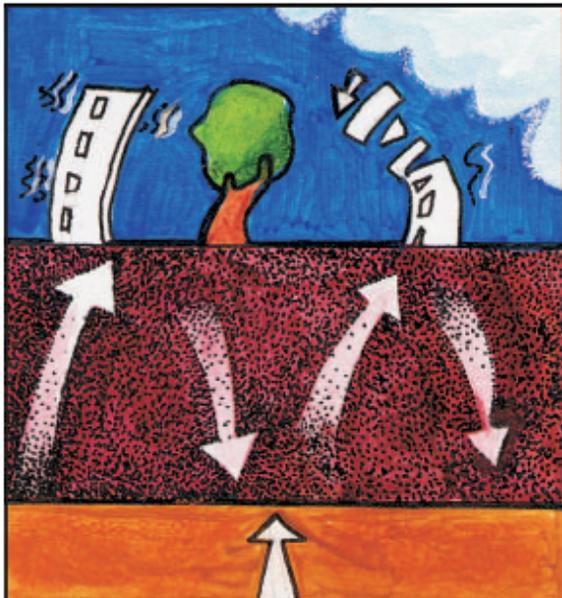
amplification



# Effets de site : Importants en contexte alpin

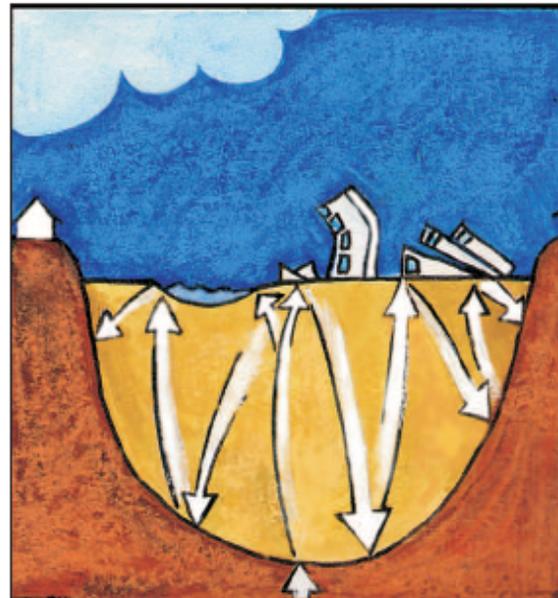
Figure 1 : **Effet de site d'origine géologique**

Le piégeage des ondes sismiques dans la couche superficielle meuble provoque l'amplification du mouvement vibratoire à la surface du sol.



Source : Laurence Barret

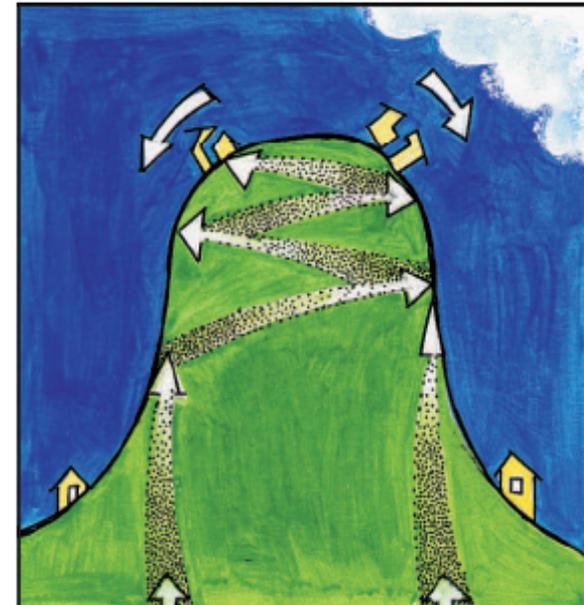
Figure 2 : **Effet de site dans une vallée remplie d'alluvions**



Source : Laurence Barret

Figure 3 : **Effet de site topographique**

La concentration des ondes dans les reliefs peut entraîner l'amplification du mouvement sismique.

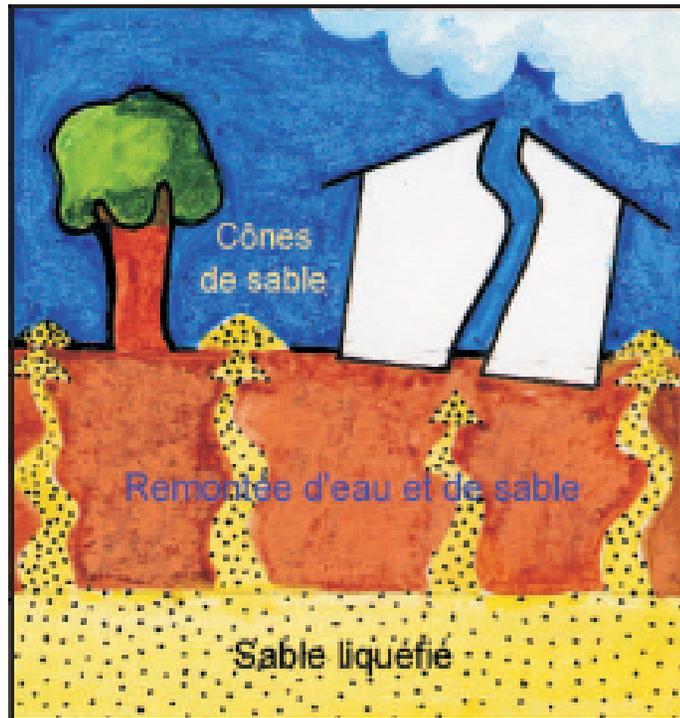


Source : Laurence Barret

(Séchilienne, Trièves, ...)

## Figure 4 : Effets Induits par la Liquéfaction

La suppression de l'eau dans les lentilles sableuses situées dans la nappe phréatique leur fait perdre leur résistance au cisaillement, diminue leur capacité de portance et provoque des tassements. Le sable se comporte alors comme un fluide : il est éjecté vers la surface.



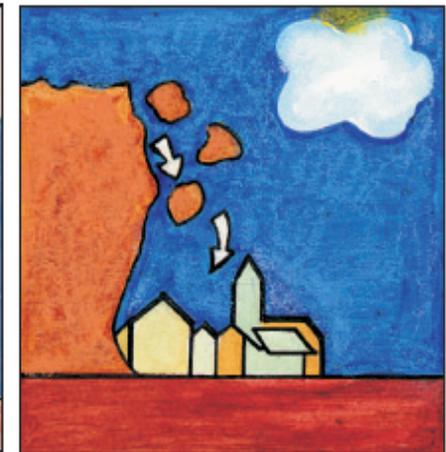
Source : Laurence Bernet

Figure 5 : Schémas décrivant les différents types de mouvements de terrain

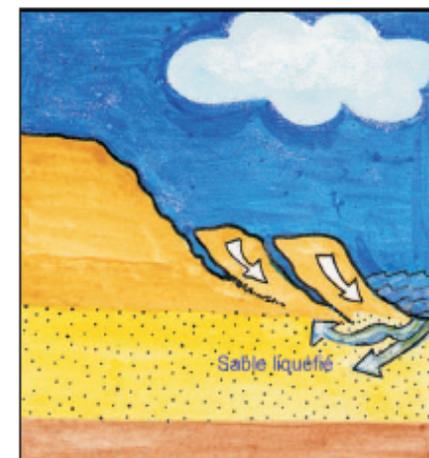
5a. Glissement de terrain classique



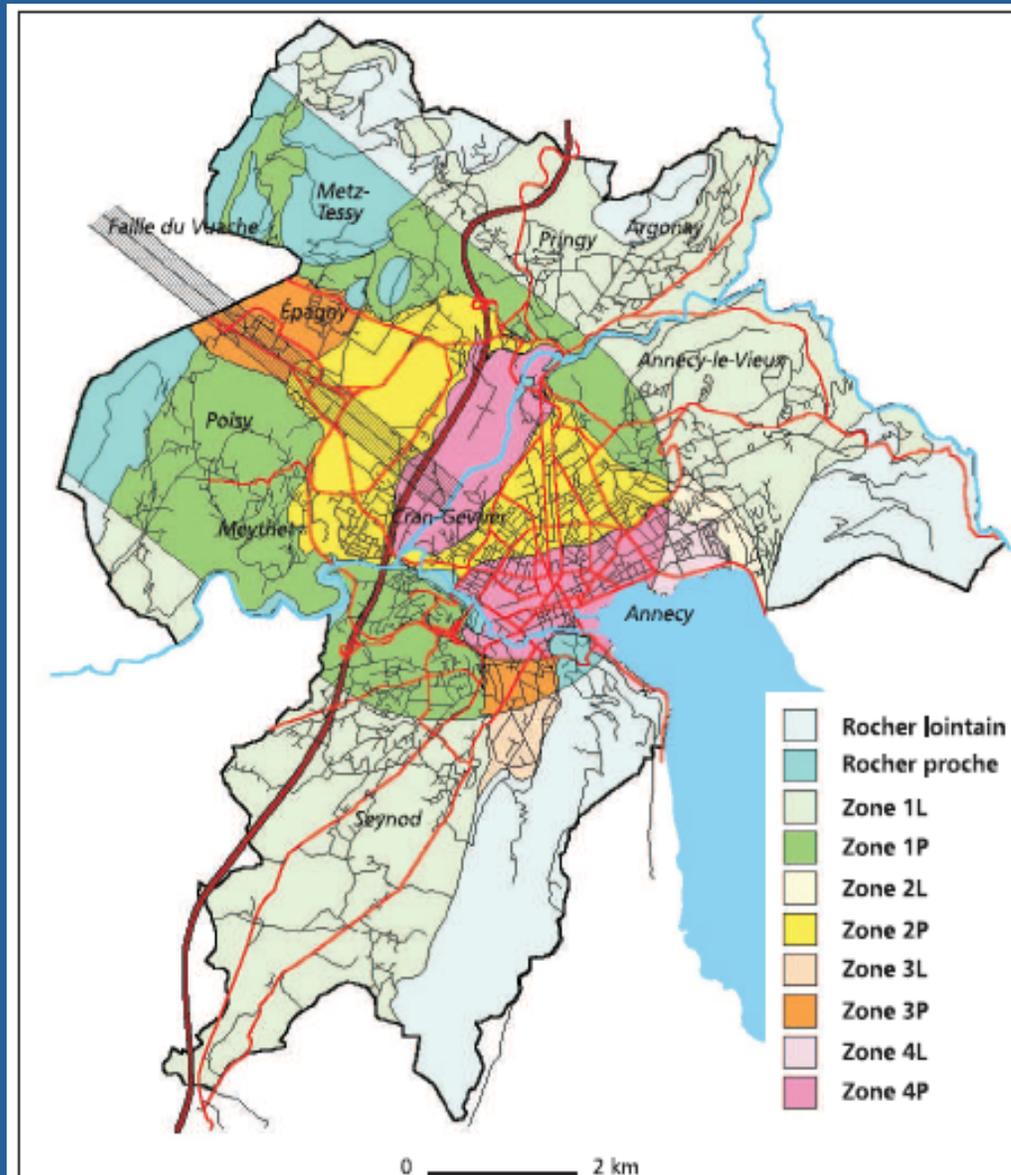
5b. Chute de blocs



5c. Glissement latéral (ou subhorizontal)

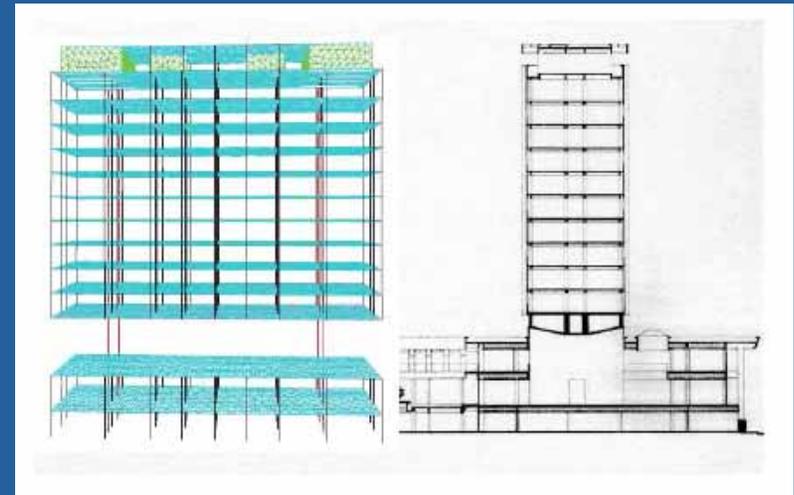
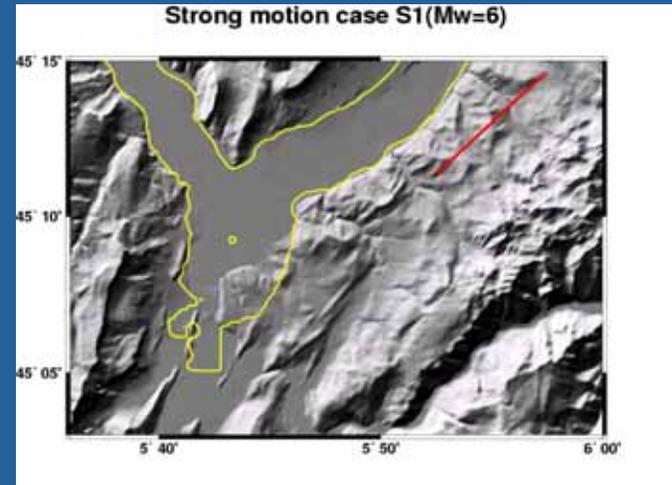


## PPRS Anecy



Source : BRGM, 1998

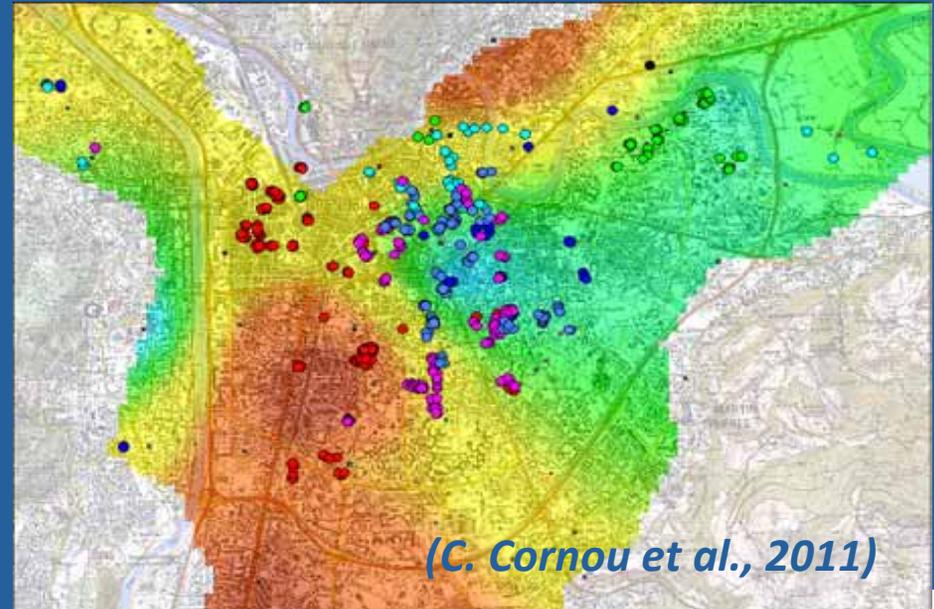
- Oui ?
  - Vallée Grenoble
  - Immeuble



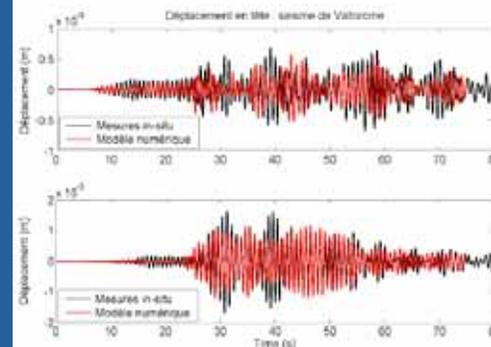
- Oui ?
  - Vallée Grenoble
  - Immeuble

Mais non...

- manque de données de base !
  - connaissance du sous-sol
- ajuster le modèle !



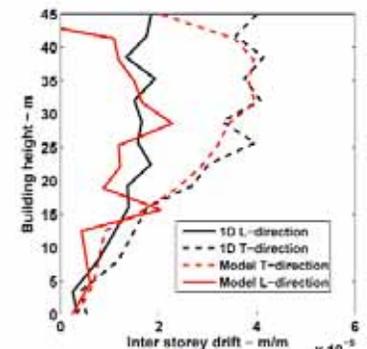
Comparaison avec mesures de vibrations ambiantes (LGIT)



(C. Desprez et al., 2011)

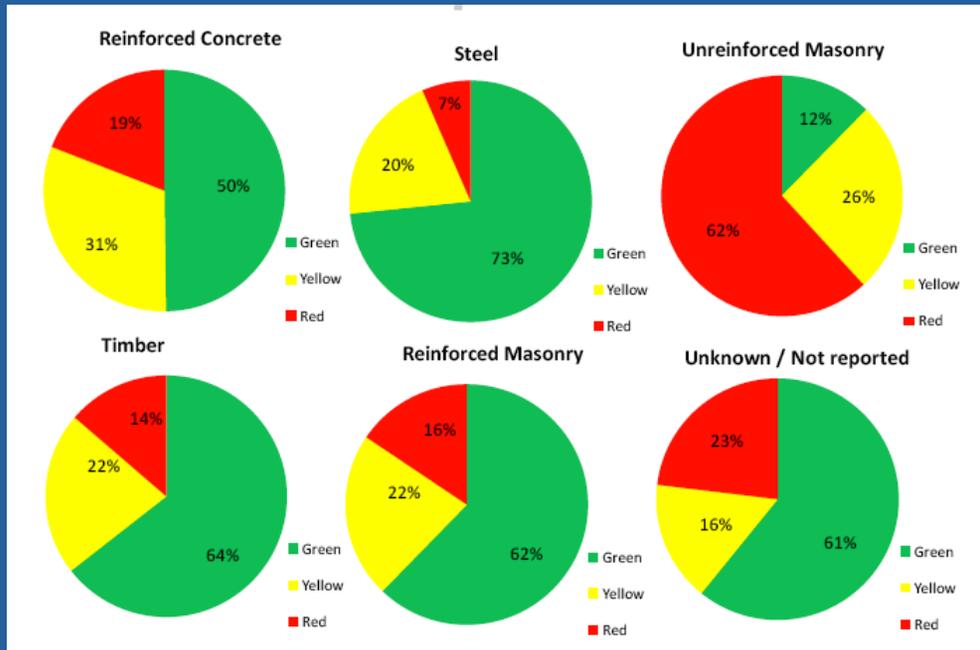
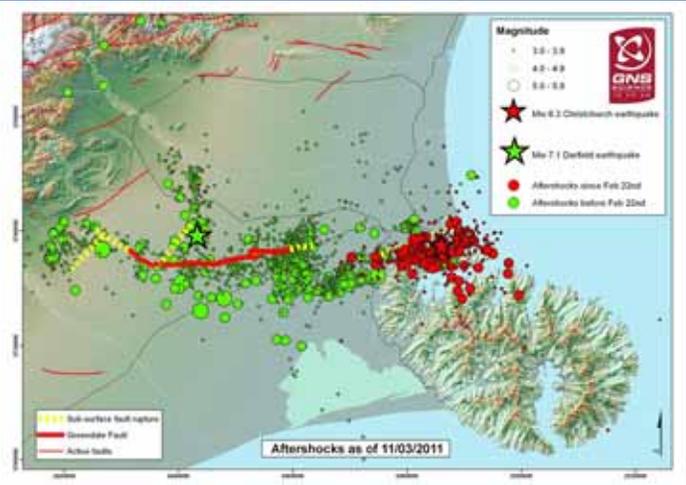
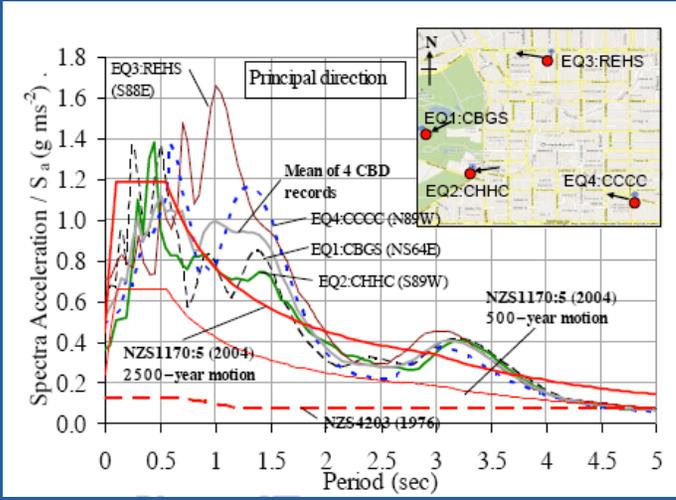


Fréquences propres



# Le béton armé, ça résiste mieux ?

- Oui, si c'est conçu pour ...
- Exemple: Christchurch 2011
  - souci : Immeubles BA 1950-1970



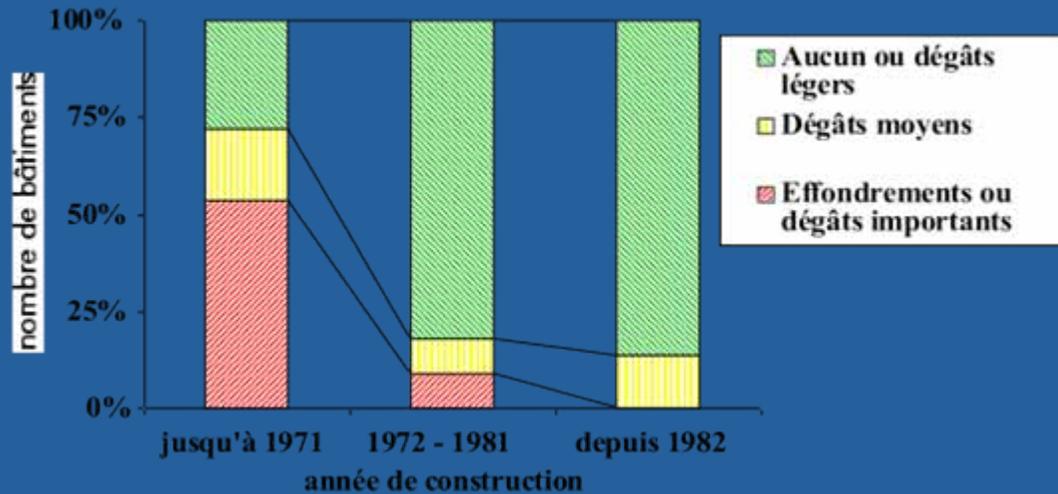
# Risque sismique : on ne peut rien y faire ?

Risque = aléa x  
vulnérabilités des  
enjeux exposés

Aléa : irréductible

Possibilité d'agir sur la  
vulnérabilité

- neuf : réglementation
- existant : renforcement selon urgence et opportunités



Kobe 1995 : Pourcentage de dommages  
suivant niveau réglementaire  
(Quartier "Chuo", Architectural Institute of  
Japan)

# Evolution 1900-2005 – Pays "développés"

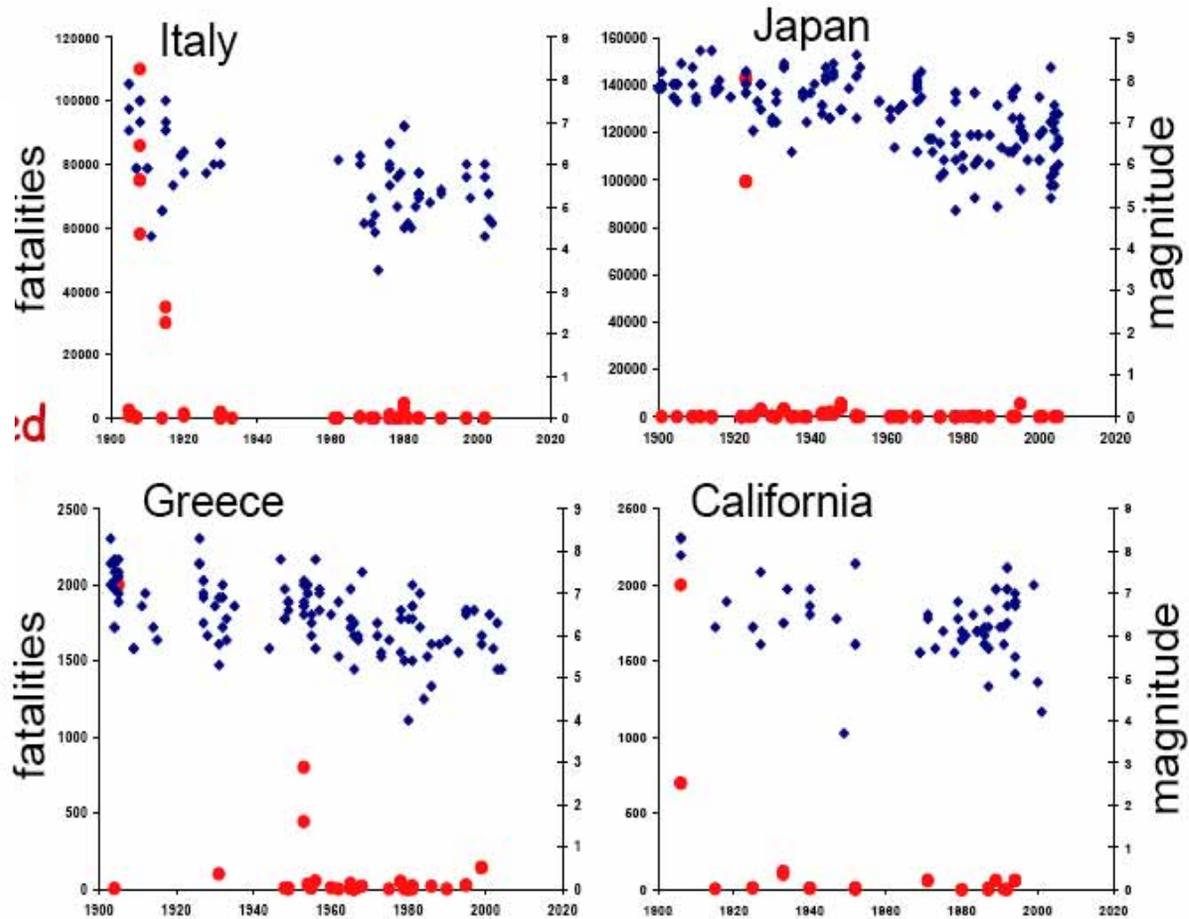
Le nombre de victimes décroît depuis 1930

Les pays "riches" ont appris à se protéger des séismes



efficacité du génie parasismique

-  earthquakes
-  fatalities



# Un constat : des séismes ou très meurtriers, ou très coûteux



**Northridge M=6.8, 50 dead**



**Bam, M 6.8, 40.000 dead**

*(Hatzfeld et al., 2009)*

Depuis 1980, 80% des séismes meurtriers se situent dans les pays en voie de développement

# L'implication d'ISTerre dans Richter 38 : l'observation géophysique

13 avril 2011

Conférence de presse  
Emmanuel Chaljub, OSUG

OSUG

Les Alpes bougent sur des **échelles de temps** très différentes

**Années , décennies**

Vitesses de plaque (**mm/an**)

Mouvements des versants (**cm/an**)

**Secondes, minutes**

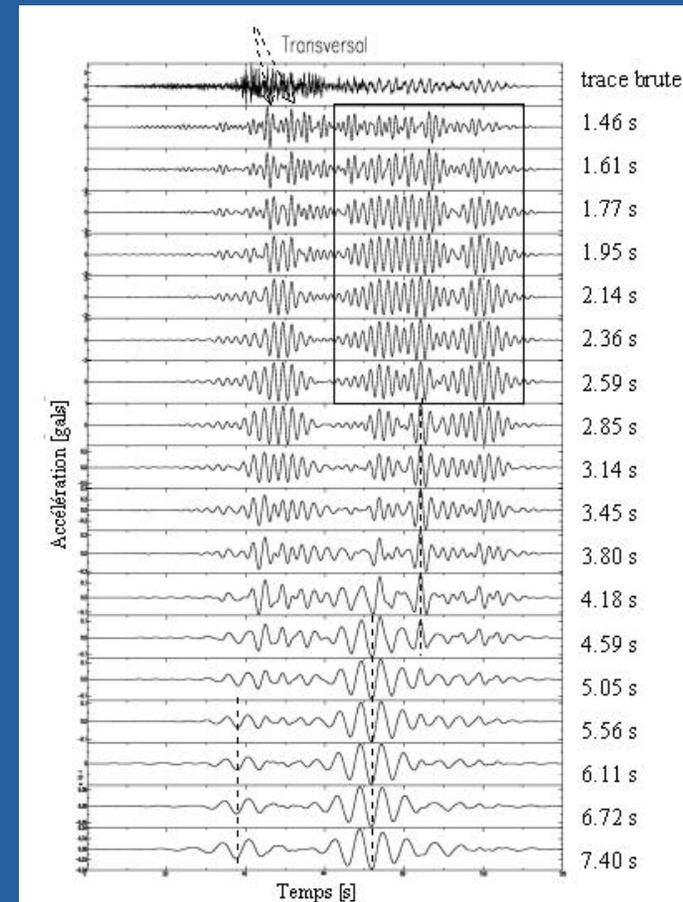
Séismes (**m/s**)

Glissements de terrain (**10 m/s**)

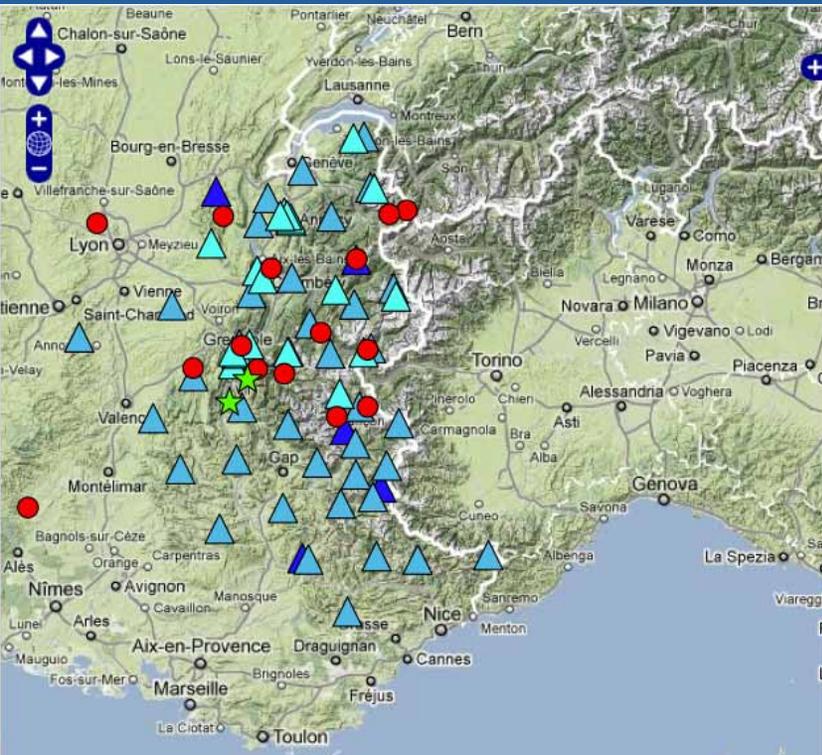
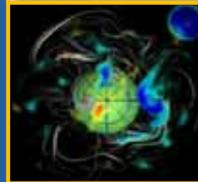
Lors d'un séisme : le sol vibre à des périodes de **0,01 seconde** à **plusieurs minutes**

Pour **estimer** et mieux **comprendre** ces aléas

- 4 réseaux permanents d'observation géophysique des Alpes (CNRS-INSU)
- 6 physiciens d'Observatoire & 7 ingénieurs



**Réseau sismologique et géodésique français :**  
La réponse coordonnée de la recherche à la compréhension des grands tremblements de terre et de l'évaluation de l'aléa



## Réseaux

-  Sismalp-LB (RLBP) + RAP-Alpes (RAP)
-  Sismalp-CP (RENASS)
-  RAP-Alpes (RAP)
-  GPS (RENAG)
-  OMIV



**Intégration régionale et transfrontalière :**  
Les aléas ignorent les frontières  
Coordination France (IGrenoble, Nice),  
Italie (Gênes), Suisse (Zürich)



Alpes d'Huez (38)

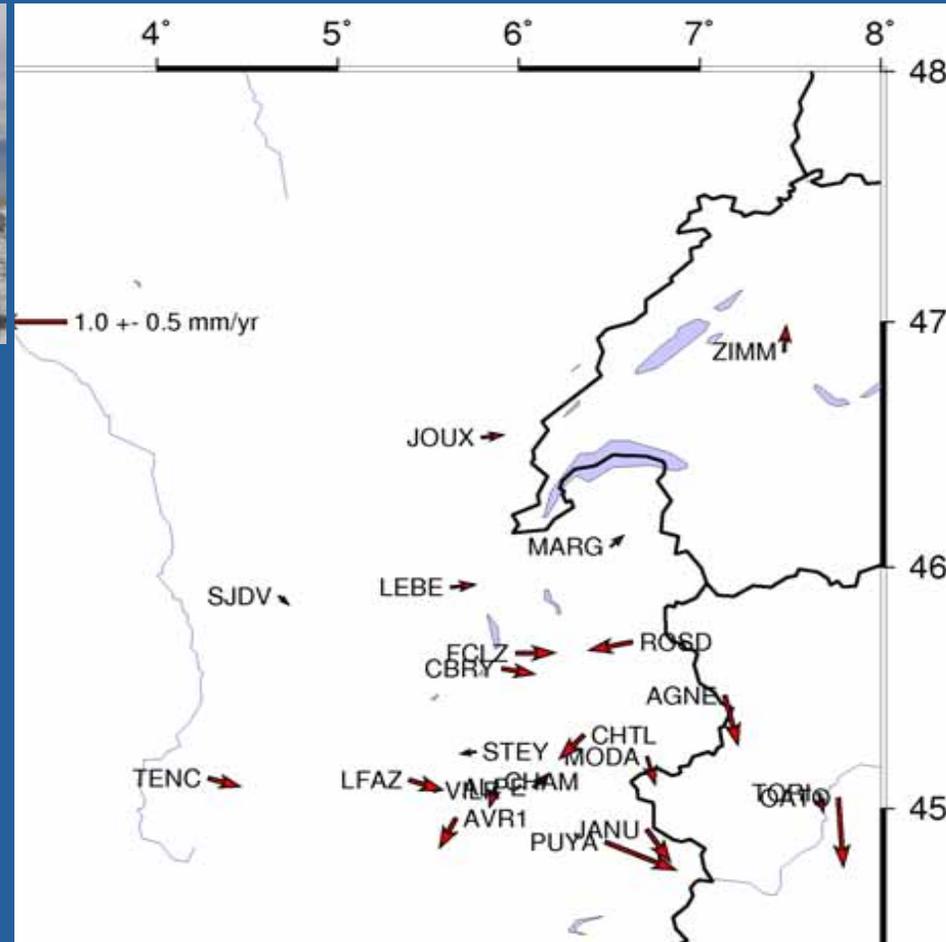


Chamrousse (38)

**Réseau** : 30 (15 IST) stations alpines mesurent le signal GPS en continu, toutes les 30 secondes (10) ou toutes les secondes (5)

## Objectifs :

- Mesurer le déplacement tectonique (chargement des failles)
- Identifier les failles actives
- Mesurer le déplacement pour les grands séismes ( $M > 5.5$ )

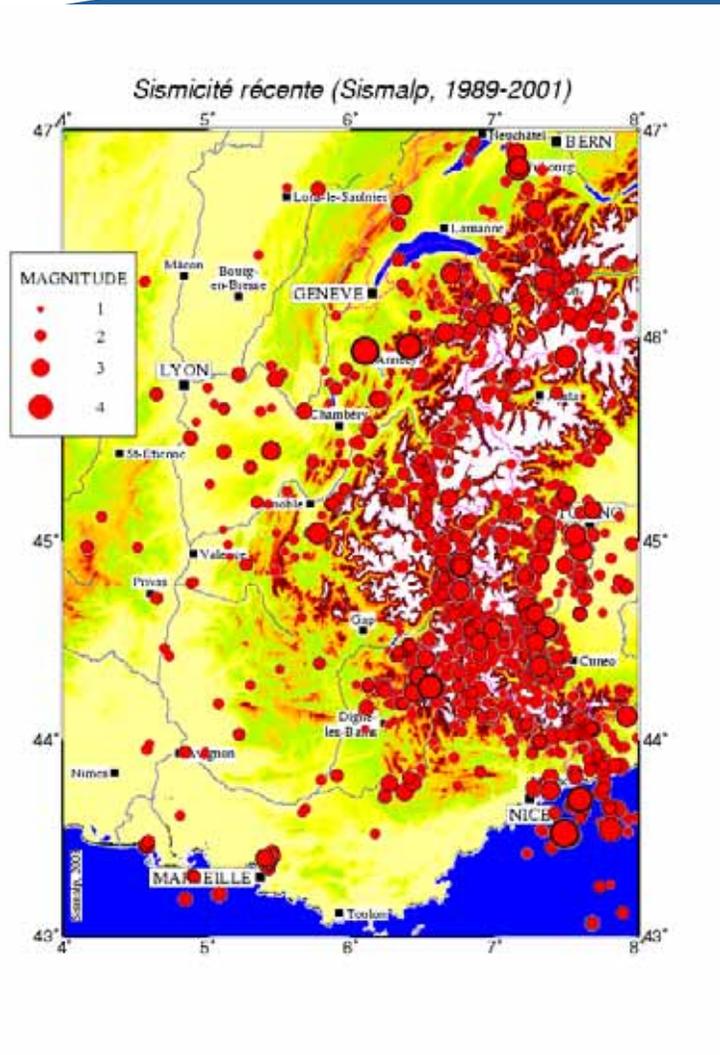


Mouvement horizontal moyen (12 ans)  
De 0,1 à 1 mm/an  
(Japon : 8 cm /an)

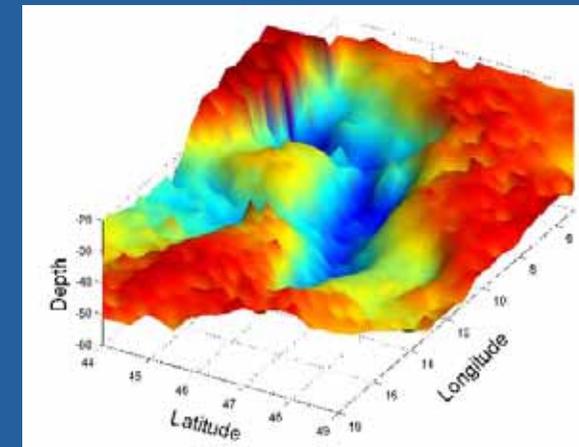
**Réseau** : 38 stations vélocimétriques **courte période** + 5 stations **large-bande** mesurent la **vitesse du sol**

## Objectifs :

- Surveiller la sismicité régionale
- Contraindre la sismotectonique
- Comprendre la **source sismique**
- **Imager** les structures crustales et profondes



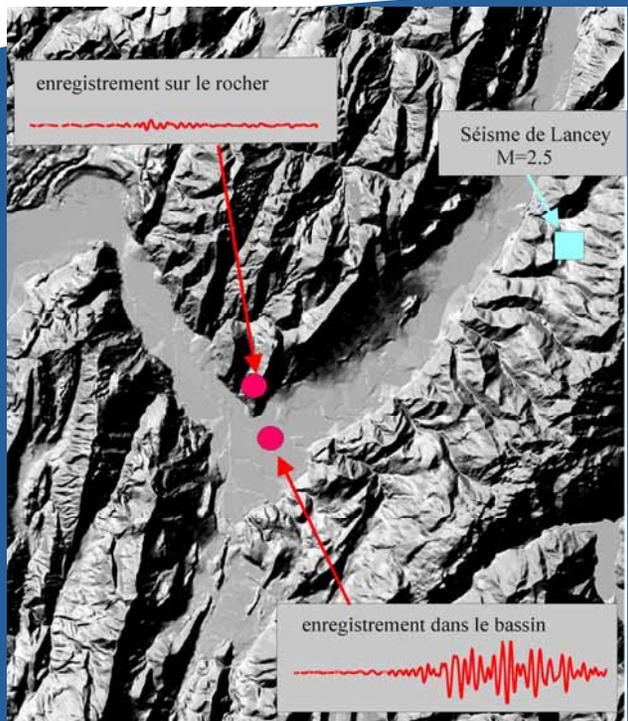
M>5 : 1 tous les 30 ans  
M>6 : 1 tous les 300 ans  
M>7 : 1 tous les 3000 ans



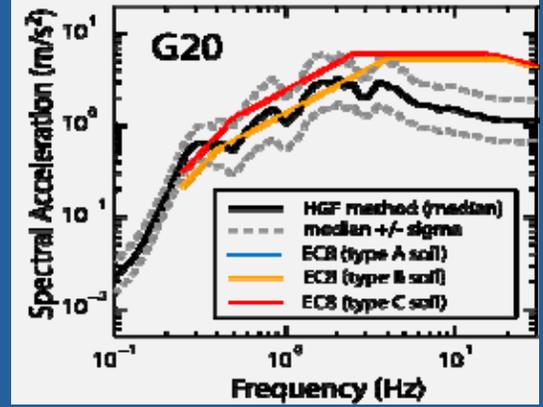
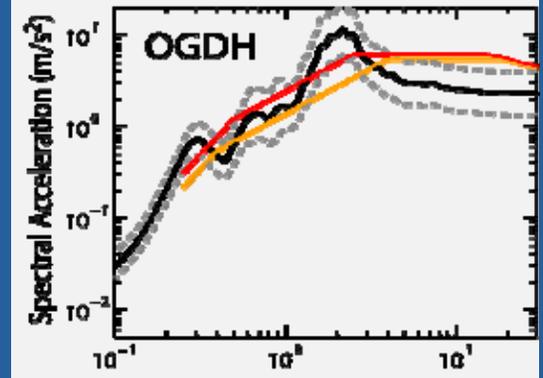
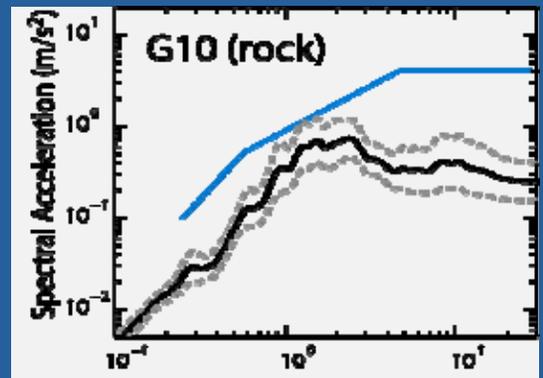
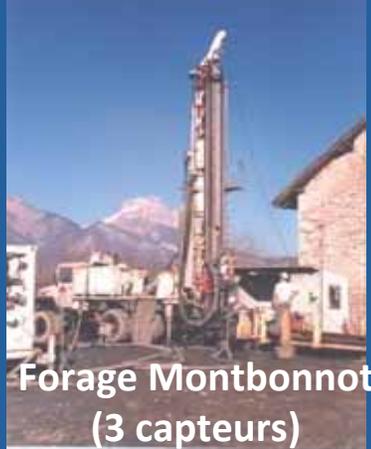
Profondeur crustale sous les Alpes  
Stehly et al., 2008

Sismicité instrumentale (1989-2001)

# RAP : réseau accélérométrique permanent



Effets de site



**Réseau** : 32 stations accélérométriques qui enregistrent les mouvements faibles et forts

**Objectifs** : Champ proche, milieu urbain (sédiments, bâti), prédiction du mouvement du sol pour les grand séismes.

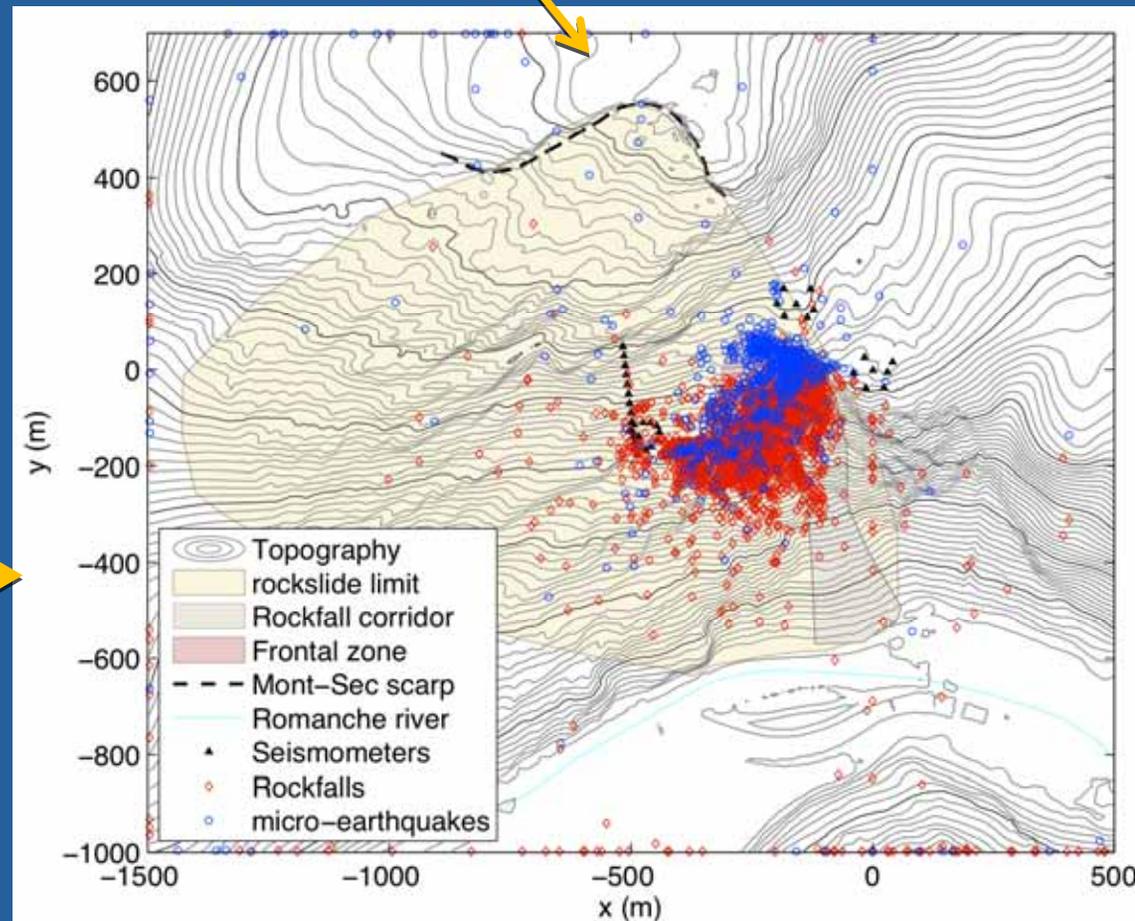
**4 sites permanents** : Avignonet (38), La Clapière (06), Séchilienne (38) et Super-Sauze (05)

## Objectifs

- Etudier la dynamique des **mouvements gravitaires** (endommagement, déclenchement, propagation)
- Comprendre l'effet des **forçages externes** (climat, **séisme**)

## Mesures

- **Auscultation sismique** (3 antennes, 38 capteurs)
- Mesure de déplacements
- Hydrologie de versants

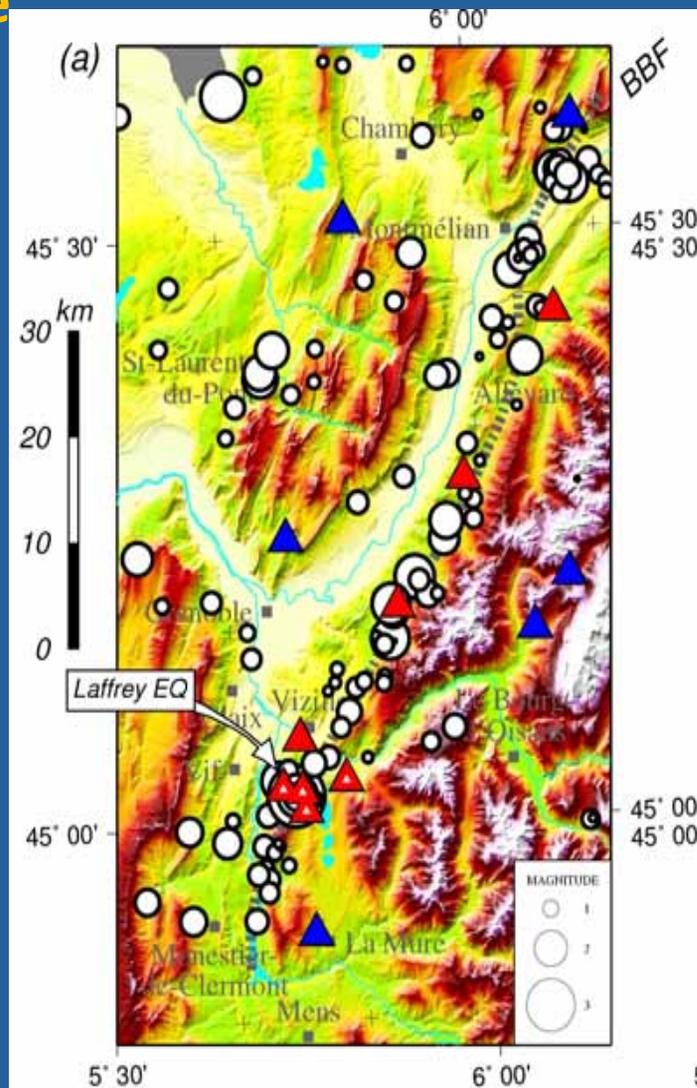


## Faïlle de Belledonne

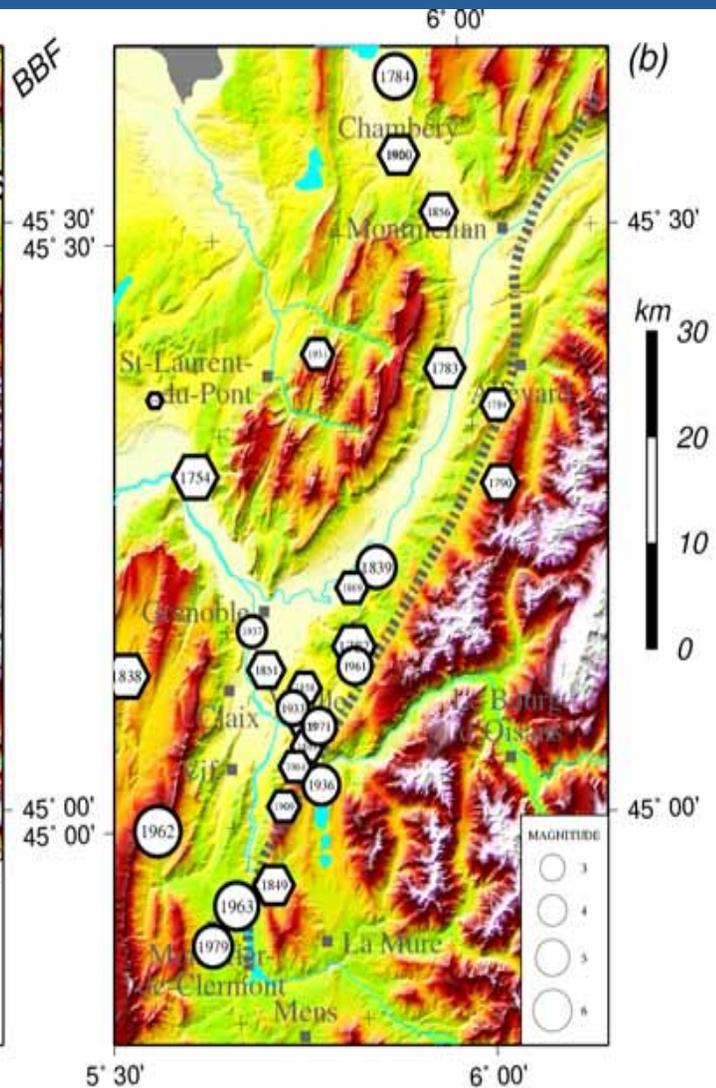
(sud de Grenoble  
à Albertville)

- **M>5** : 1 tous les **300 ans**
- **M>6** : 1 tous les **2 000 ans**
- **M>7** : 1 tous les **14 000 ans**

### Sismicité instrumentale



### Sismicité historique



## M5-6 proche Grenoble

### Analyse des données des réseaux permanentes

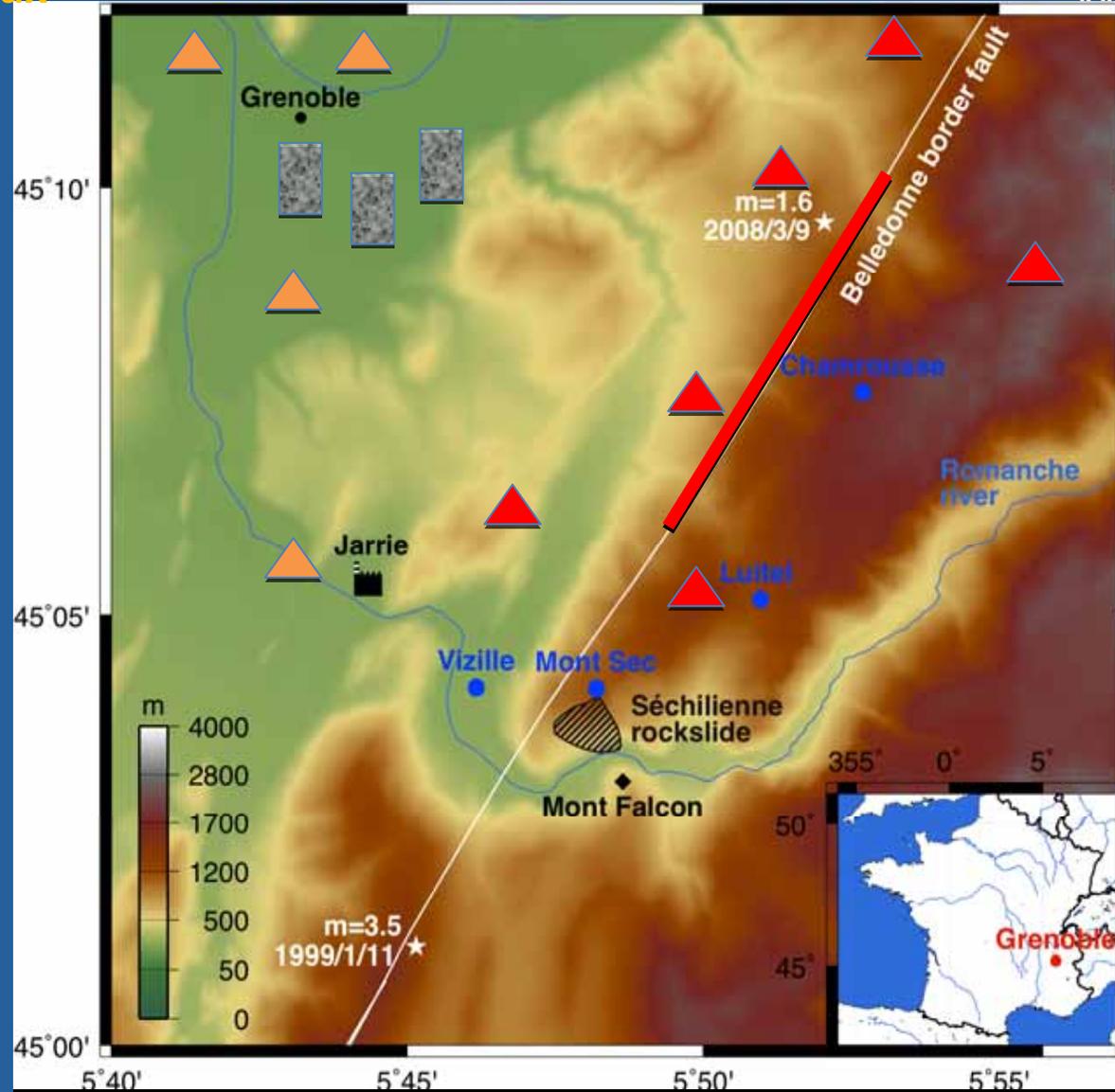
Localisation & Magnitude  
Mouvement du sol et du bâti  
Effets induits

### Instrumentation post-séisme

**Zone épicertrale** : localisation fine des répliques

**Sites sensibles** : enregistrer des répliques pour comprendre le mouvement du sol

**Bâtiments** : mesure de bruit pour un diagnostic de l'endommagement



Plus d'informations sur le site d'ISTerre :  
<http://isterre.fr>

Le 14 Avril 2011 :  
**04 76 63 51 67**

# Retour sur les séismes: Japon, Nouvelle Zélande

13 avril 2011

Conférence de presse

Anne Paul, chercheur CNRS

## Conclusion

Le pourquoi : le cadre général est compris avec la tectonique des plaques

Le comment : un aller-retour entre observation, modélisation et expérimentation pour « prévoir » le mouvement du sol 😊 et peut-être les séismes !

Le suivi : développer les moyens futurs d'observation intégrant le temps réel.

## Que s'est-il passé? Quels enseignements en tirer?

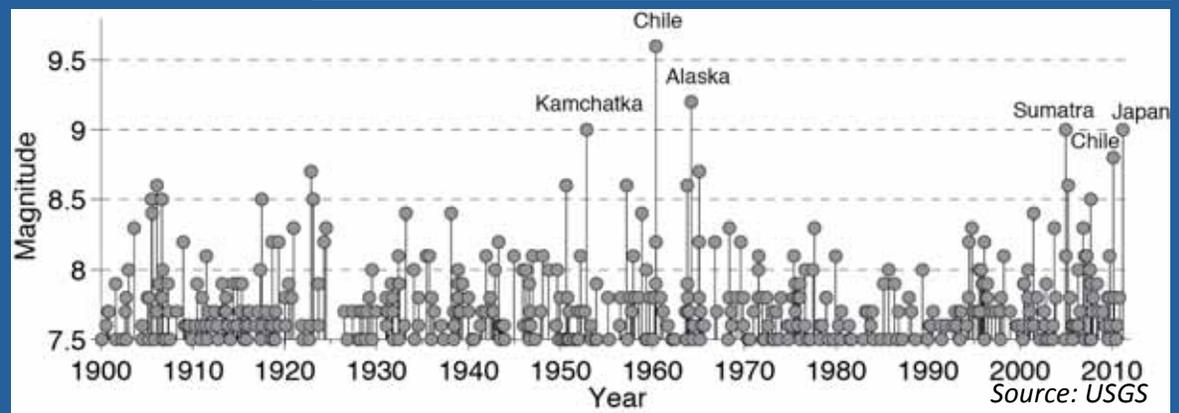
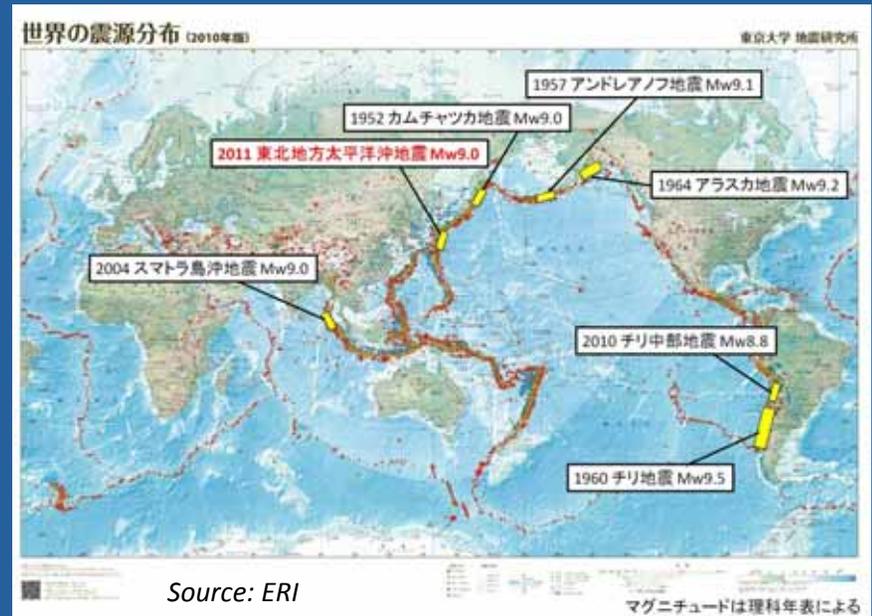
Le retour sur expérience, ou analyse *a posteriori* des caractéristiques des séismes et de leurs conséquences, est un élément essentiel pour:

- mieux comprendre le phénomène,
- proposer des voies pour réduire la vulnérabilité des populations.

# Retour sur les séismes récents: Japon, Nouvelle-Zélande, ...

## Séisme de Tohoku (Japon), 11 mars 2011, Mw=9,0

- Mw=9: un méga-séisme, le 4<sup>ème</sup> plus grand depuis 1900

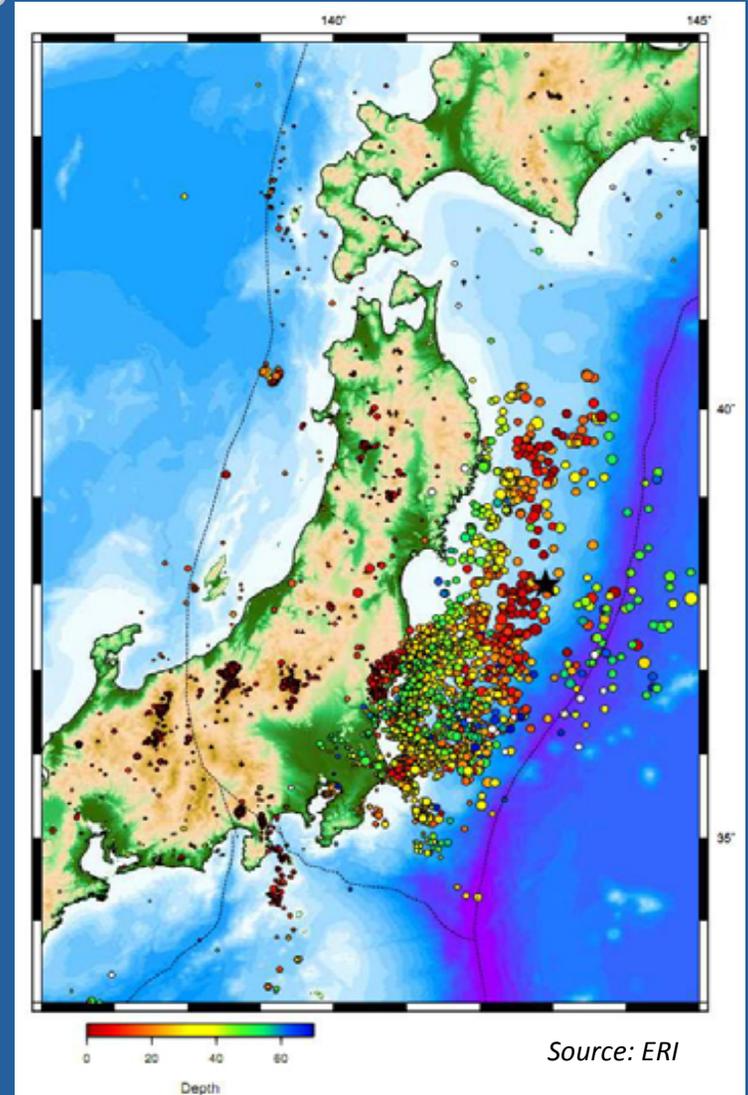


# Retour sur les séismes récents: Japon, Nouvelle-Zélande, ...

## Séisme de Tohoku (Japon), 11 mars 2011, Mw=9,0

- Mw=9: un méga-séisme, le 4<sup>ème</sup> plus grand depuis 1900
- une faille bien connue, mais que les sismologues pensaient incapable de rompre d'un bout à l'autre (faille segmentée): sismicité historique et instrumentale → séisme attendu de M 7.5, récurrence 30 ans, le dernier en 1978 (28 décès).

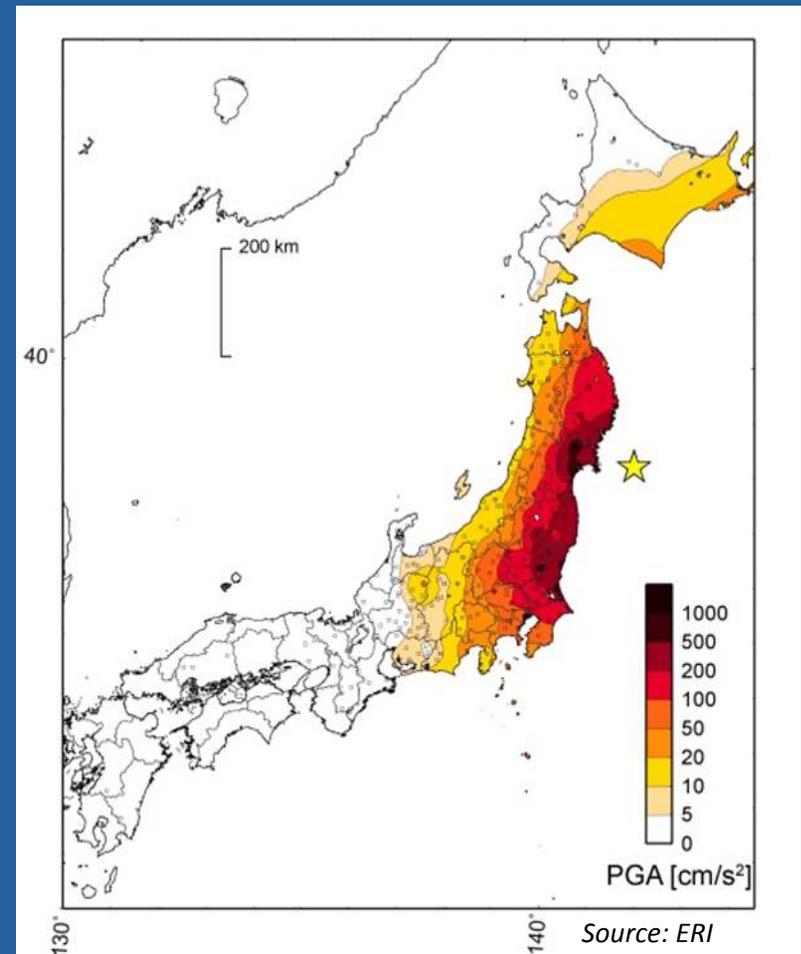
→ un événement d'une magnitude exceptionnelle et ... inattendue



Source: ERI

## Séisme de Tohoku (Japon), 11/03/2011, Mw=9,0

- Mw=9: un méga-séisme, le 4<sup>ème</sup> plus grand depuis 1900
- une faille bien connue, mais que les sismologues pensaient incapable de rompre d'un bout à l'autre (faille segmentée)
  - un événement d'une magnitude exceptionnelle et ... inattendue
- zone de glissement max. localisée à distance (100 km de la côte, 35-40 km en profondeur) des zones habitées
- le pays le mieux préparé du monde: application de règles de construction strictes pour le bâti récent



## Séisme de Tohoku (Japon), 11/03/2011 Mw 9.0

- Mw=9: un méga-séisme, le 4<sup>ème</sup> plus grand depuis 1900
- une faille bien connue, mais que les sismologues pensaient incapable de rompre d'un bout à l'autre (faille segmentée)
  - un événement d'une magnitude exceptionnelle et ... inattendue
- zone de glissement max. localisée à distance des zones habitées
- le pays le mieux préparé du monde
- mais tsunami destructeur, submergeant les digues de protection dimensionnées pour un M8 → catastrophe humaine et technologique



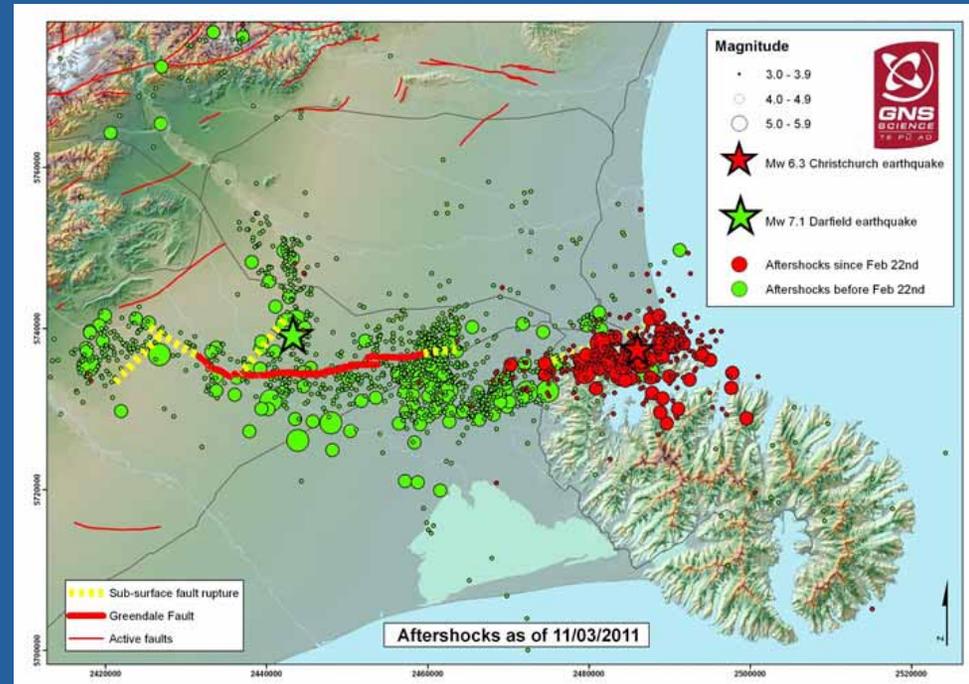
## Séisme de Christchurch (N-Z), 22/02/2011, Mw=6,3

- Mw=6,3: un fort séisme, de magnitude non-inhabituelle pour la N-Z
- une faille inconnue



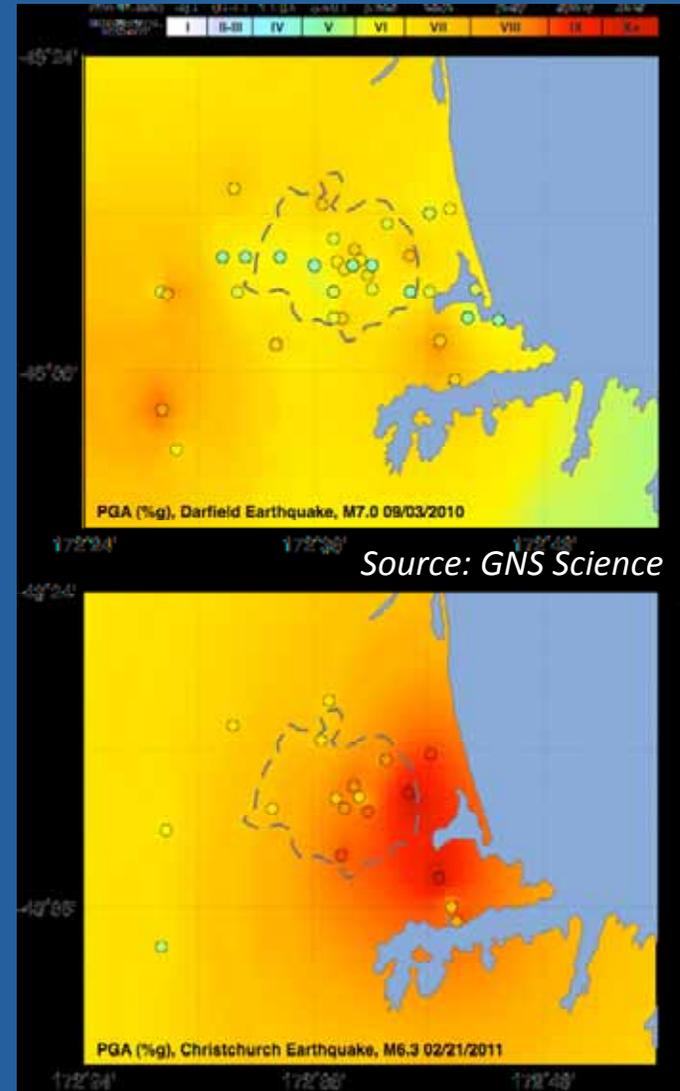
## Séisme de Christchurch (N-Z), 22/02/2011, Mw=6,3

- Mw=6,3: un fort séisme, de magnitude non-inhabituelle pour la N-Z
- une faille inconnue
- une séquence de séismes:
  - le 3/9/10 : Mw=7,1, 160 000 bâtiments affectés, 0 décès
  - le 22/2/11 : Mw=6,3, >400 000 bâtiments affectés, 220 victimes
- séisme du 22 février localisé exactement sous Christchurch, à faible profondeur (5 km)



## Séisme de Christchurch (N-Z), 22/02/2011, Mw=6,3

- Mw=6,3: un fort séisme, de magnitude non-inhabituelle pour la N-Z
- une faille inconnue
- une séquence de séismes:
  - le 3/9/10 : Mw=7,1, 160 000 bâtiments affectés, 0 décès
  - le 22/2/11 : Mw=6,3, >400 000 bâtiments affectés, 220 victimes
- séisme du 22 février localisé exactement sous Christchurch, à faible profondeur (5 km)
- localisation + directivité + effets de site = dégâts majeurs



## Enseignements à tirer

- Même le Japon et la N-Z sont vulnérables
- Quelle magnitude maximale sur une faille donnée? Séismes historiques = borne minimale pour séismes potentiels?
- Conserver la mémoire du passé
- Observer la microsismicité sur des durées longues pour identifier les failles cachées
- Appliquer les normes de construction avec un minimum de marge



*Effets du séisme de Christchurch. Sources: AFP+AAP*



# Questions/réponses

13 avril 2011

Conférence de presse

OSUG

# Visite et démonstration des instruments sismiques

13 avril 2011

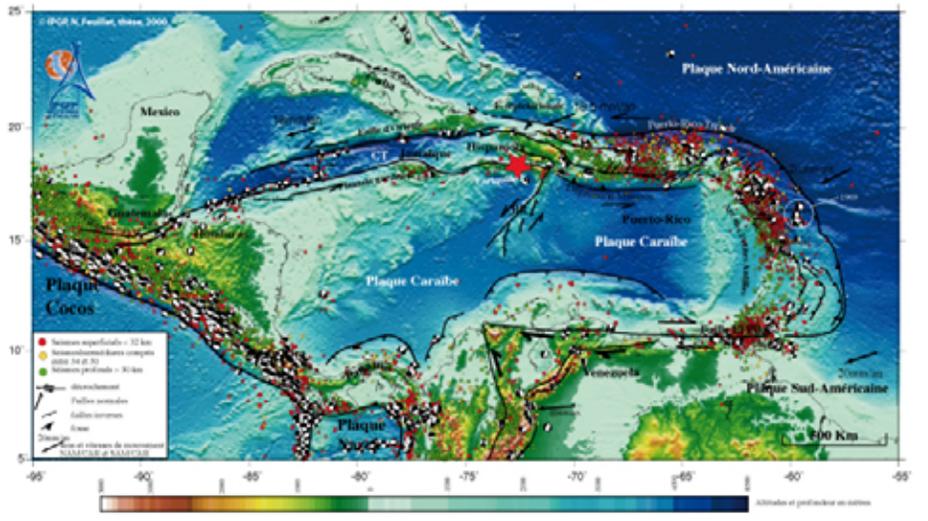
Conférence de presse

Sandrine Roussel, technicienne CNRS

## Retour sur les 2 séismes destructeurs de 2010

### Haïti, 12 janvier 2010

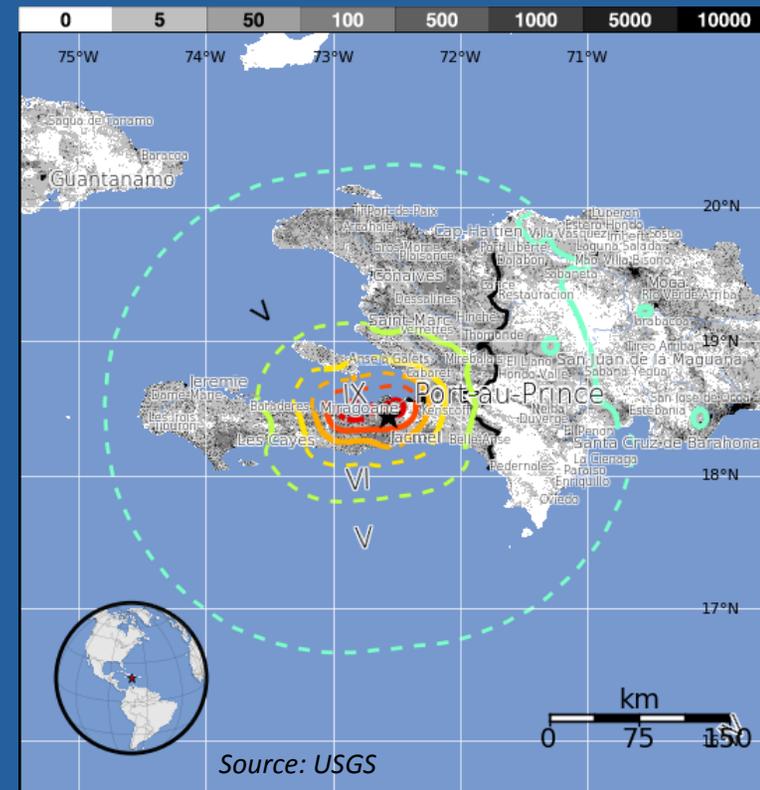
- Mw=7: un séisme majeur
- faille connue, probable source des séismes de 1751 et 1770



➤ zone de glissement max. localisée à proximité immédiate de régions fortement peuplées, à faible profondeur (13 km)

➤ pas de règles de construction parasismique

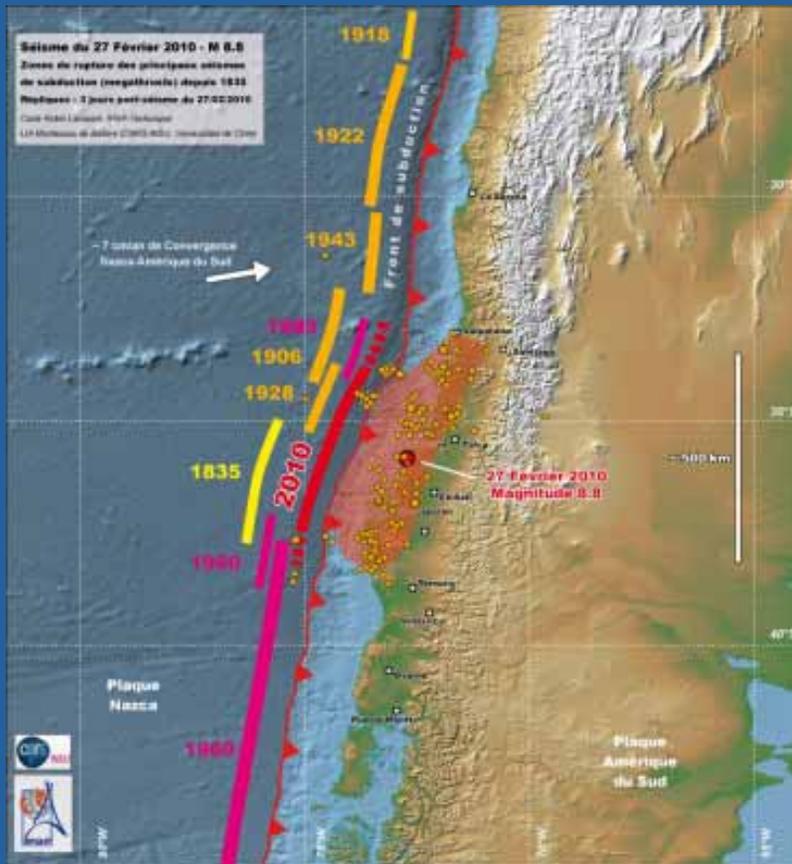
➤ 220 000 victimes, un pays entier en grande difficulté



*Estimation de l'intensité publiée par l'USGS dans les heures qui ont suivi le séisme*

## Retour sur les 2 séismes destructeurs de 2010

### Maule (Chili), 27 février 2010



- Mw=8,8: un grand séisme (7<sup>ème</sup> plus grand depuis 1900)
- faille bien connue: nombreux séismes de forte magnitude (un M=8 tous les 10 ans, un M≥8,7 par siècle)
- séisme attendu dans la lacune de Concepción (12 m accumulés depuis 1835)
- zone de glissement max. localisée à distance des villes (100 km), à une profondeur de 35-40 km
- règles de construction parasismique
- 600 victimes, dont la moitié par le tsunami induit

# Retour sur les séismes récents: Japon, Nouvelle-Zélande, ...

## Séisme de Tohoku (Japon), 11 mars 2011, Mw=9,0

- Mw=9: un méga-séisme, le 4<sup>ème</sup> plus grand depuis 1900
- une faille bien connue, mais que les sismologues pensaient incapable de rompre d'un bout à l'autre (faille segmentée):

cf. sur <http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/>: "*What was the expected Off-Shore Miyagi Prefecture earthquake like? A huge earthquake that repeatedly occurs off-shore of Miyagi Prefecture, slightly toward the land. The magnitude is approximately 7.5, and is considered that the recurrence interval is 30 years. The recent one occurred 12<sup>th</sup> June 1978 with magnitude of 7.4. Death toll: 28.*

*Is this earthquake the Off-Shore Miyagi Prefecture earthquake? Because it is very different from the expected magnitude, this is not just Off-Shore Miyagi Prefecture earthquake, but also including Off-Shore Fukushima prefecture, Off-Shore Ibaraki prefecture and Off-Shore Iwate prefecture in the focal area."*

