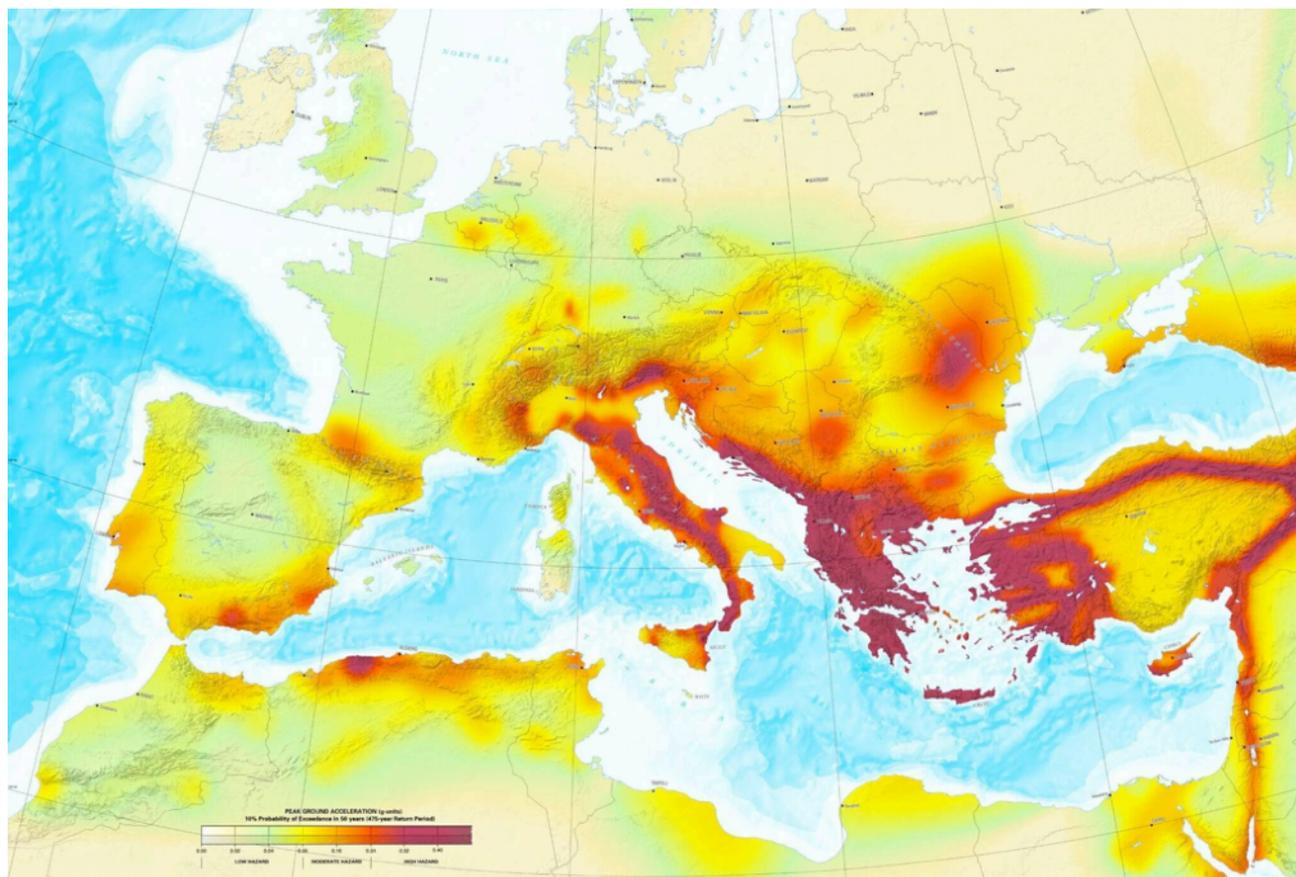


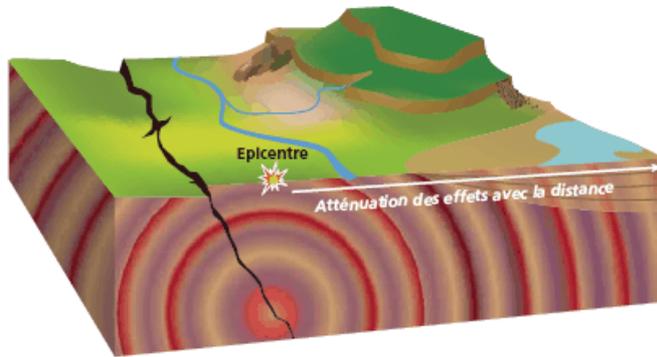
# Aléa sismique



# Notions d'aléa, de vulnérabilité et de risque

## Évaluation de l'aléa

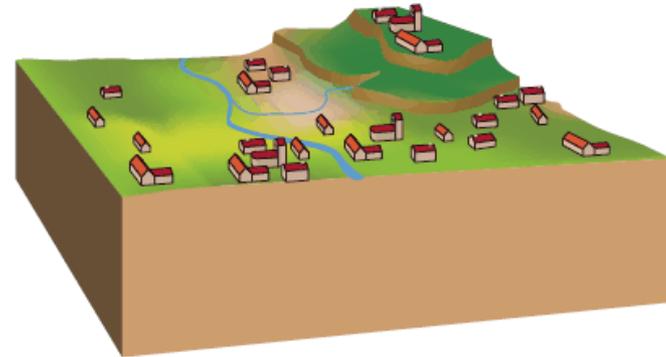
L'aléa sismique peut être défini comme la possibilité pour une région ou un site d'être exposés à une secousse sismique de caractéristiques données.



Phénomène naturel  
Mouvement du sol

## Évaluation de la vulnérabilité des enjeux

Les éléments exposés rassemblent les personnes, biens, activités, moyens, patrimoines susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

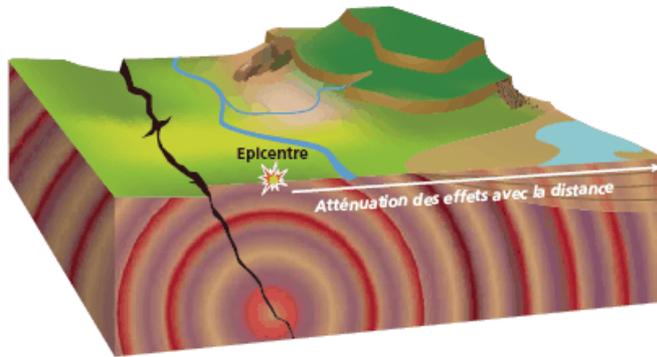


## Évaluation du risque

# Notions d'aléa, de vulnérabilité et de risque

## Évaluation de l'aléa

L'aléa sismique peut être défini comme la possibilité pour une région ou un site d'être exposés à une secousse sismique de caractéristiques données.

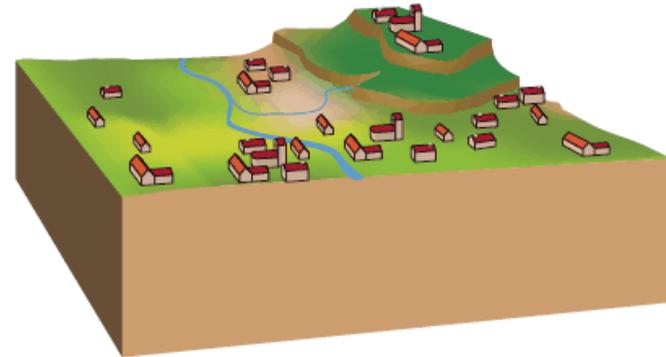


Caractérisation de l'agression sismique :

- Source sismique,
- magnitude ou intensité de référence,
- localisation de l'épicentre,
- profondeur focale,
- effets de site

## Évaluation de la vulnérabilité des enjeux

Les éléments exposés rassemblent les personnes, biens, activités, moyens, patrimoines susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

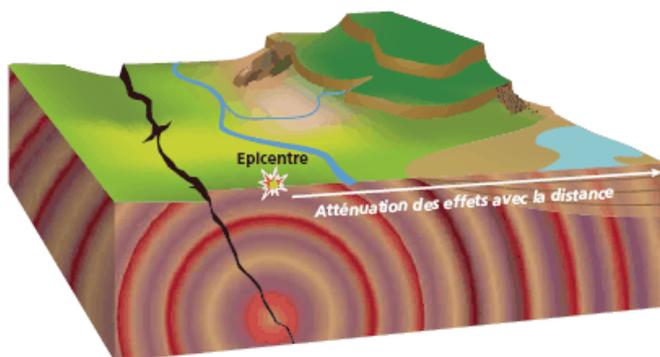


## Évaluation du risque

# Notions d'aléa, de vulnérabilité et de risque

## Évaluation de l'aléa

L'aléa sismique peut être défini comme la possibilité pour une région ou un site d'être exposés à une secousse sismique de caractéristiques données.

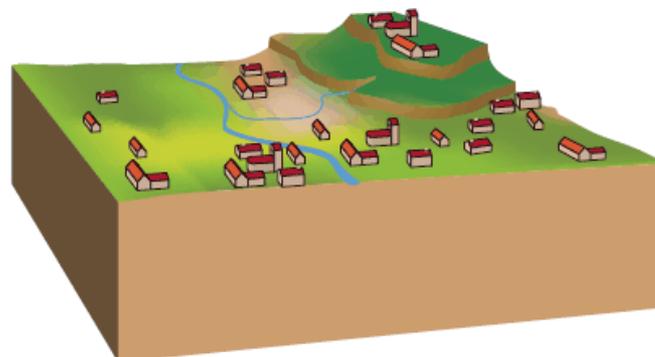


### Caractérisation de l'agression sismique

- Source sismique,
- magnitude ou intensité de référence,
- localisation de l'épicentre,
- profondeur focale,
- effets de site

## Évaluation de la vulnérabilité des enjeux

Les éléments exposés rassemblent les personnes, biens, activités, moyens, patrimoines susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.

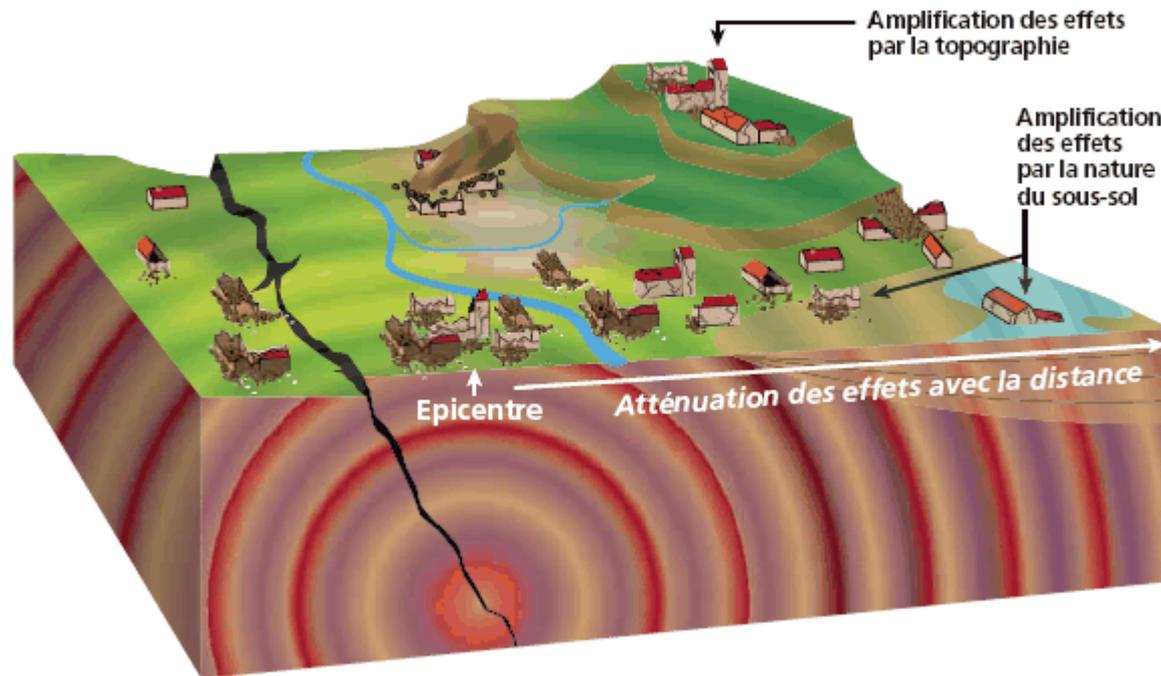


Les enjeux représentent la valeur attribuée aux éléments exposés à un aléa donné.

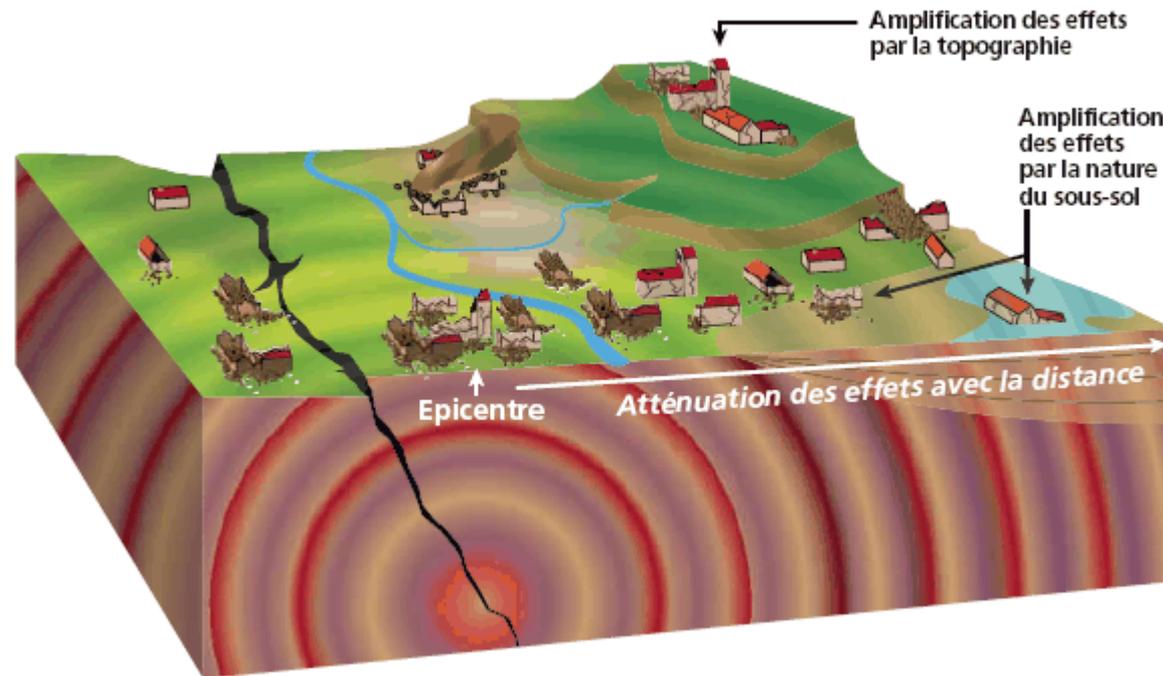
La vulnérabilité représente un degré d'endommagement d'un élément exposé à une secousse sismique donnée.

## Évaluation du risque

# RISQUE = ALÉA x VULNÉRABILITÉ



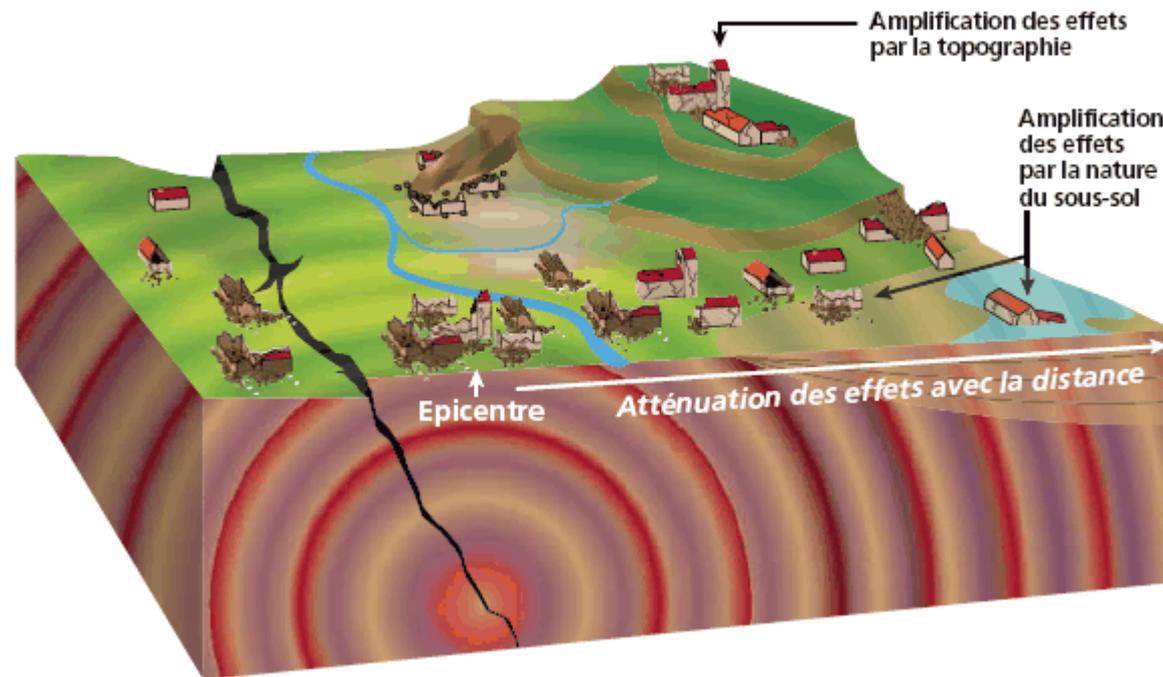
# RISQUE = ALÉA x VULNÉRABILITÉ



Exemple de San Andrés:

- Aléa identique tout au long de la faille
- SF vulnérabilité / désert de Mojave

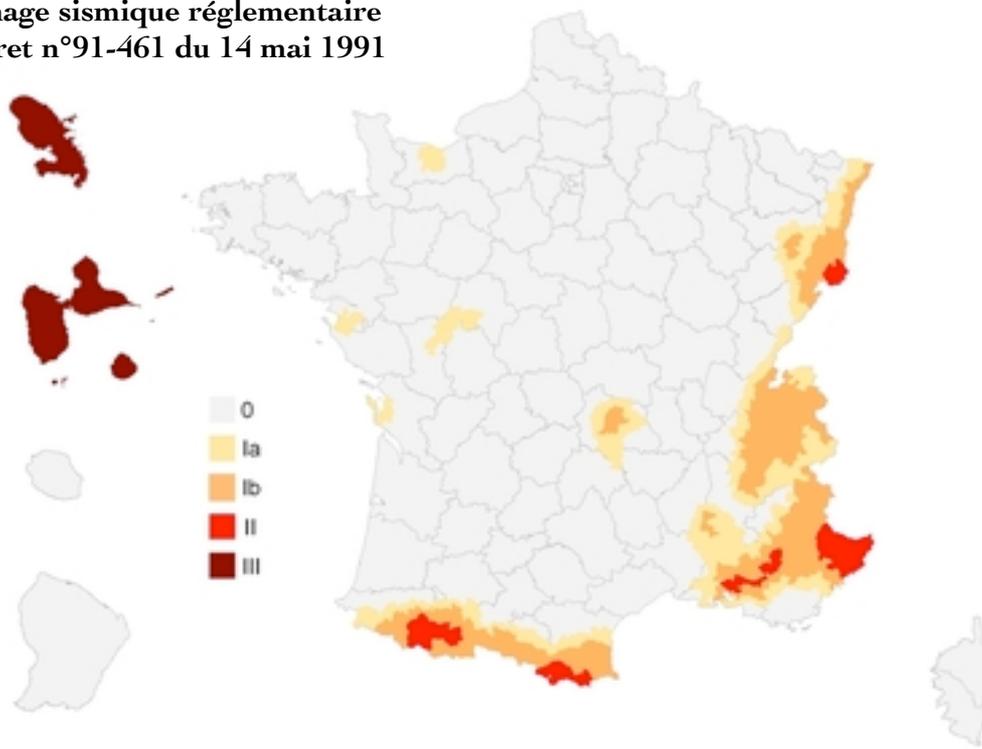
# RISQUE = ALÉA x VULNÉRABILITÉ



Exemple de San Andréas:

- Aléa identique tout au long de la faille
- SF vulnérabilité / désert de Mojave

Le risque n'est pas le même partout → zonage



## Cartographie de l'aléa

- Sismicité (1984)
- Connaissance scientifique

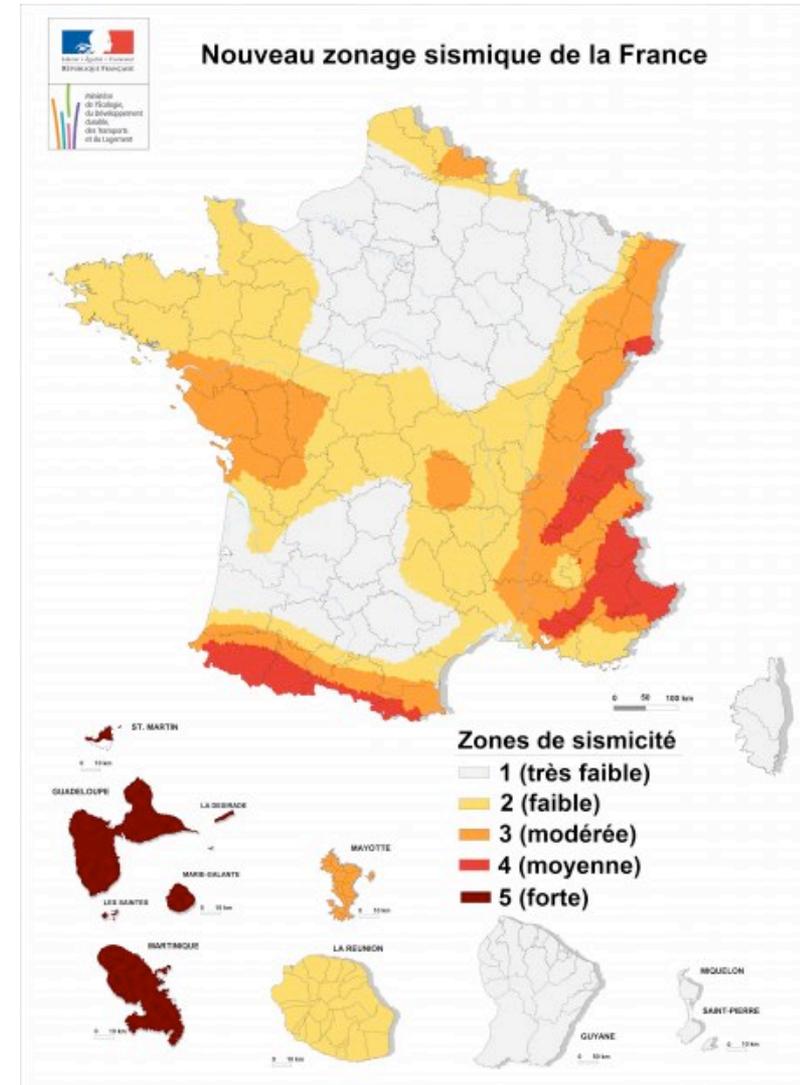
5000 communes référencées



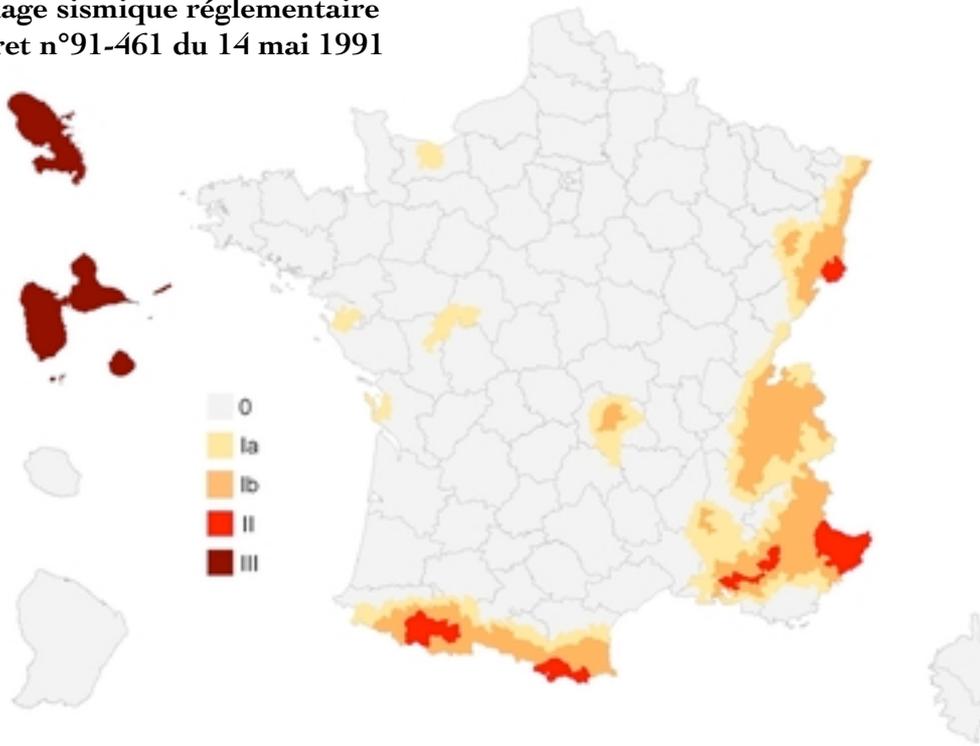


Nouvelle cartographie  
+  
Nouvelles connaissances  
(séismes, méthodes)

5 zones  
21000 communes

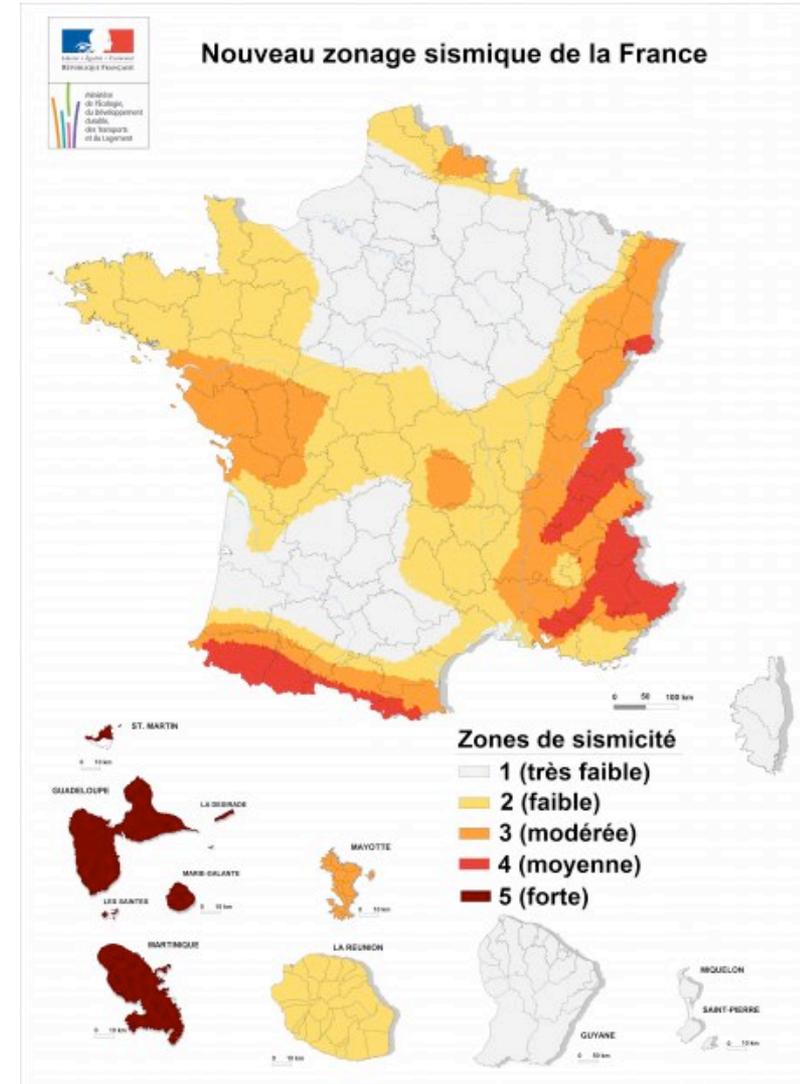


# Zonage sismique réglementaire décret n°91-461 du 14 mai 1991



Nouveau zonage sismique (1er mai 2011)

→ NOUVELLES RÈGLES  
DE CONSTRUCTION  
PARASISMIQUES



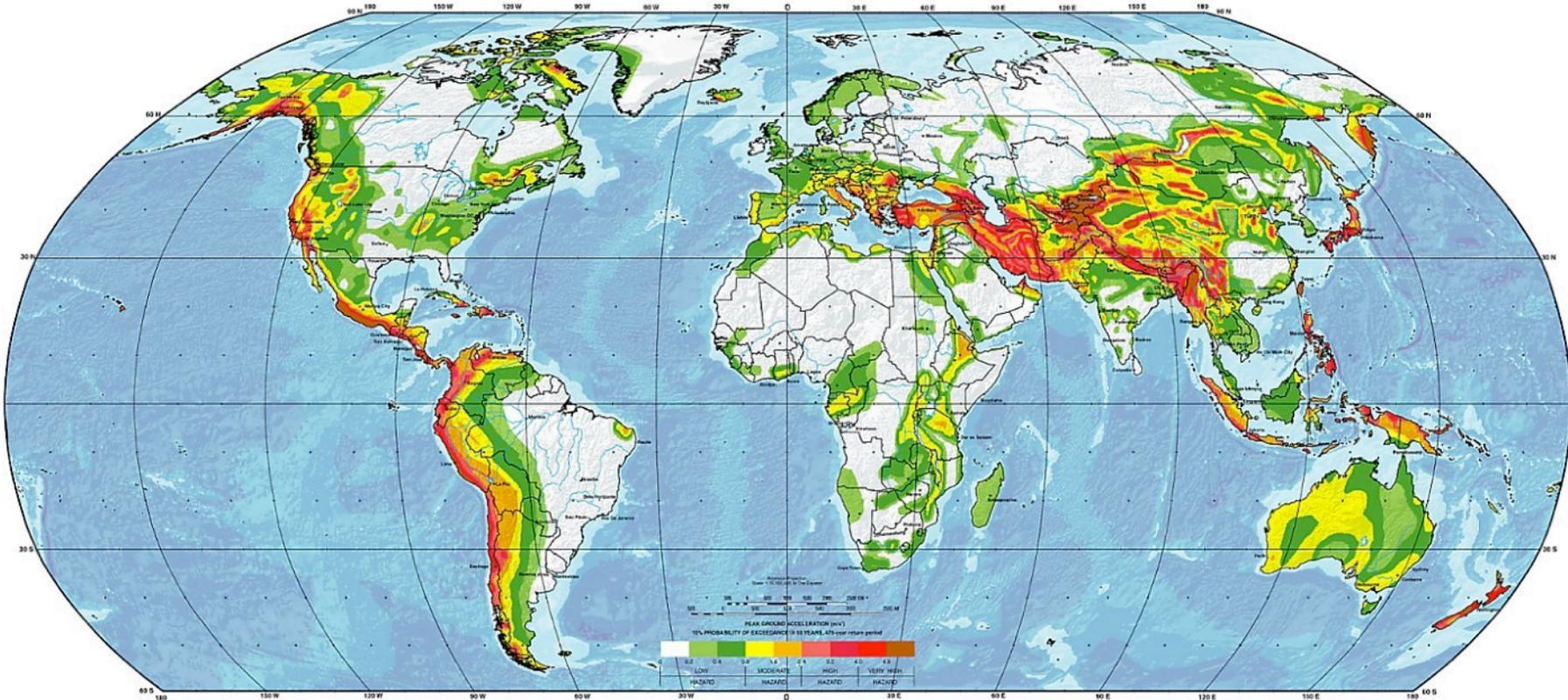
# Global Cities & Earthquakes



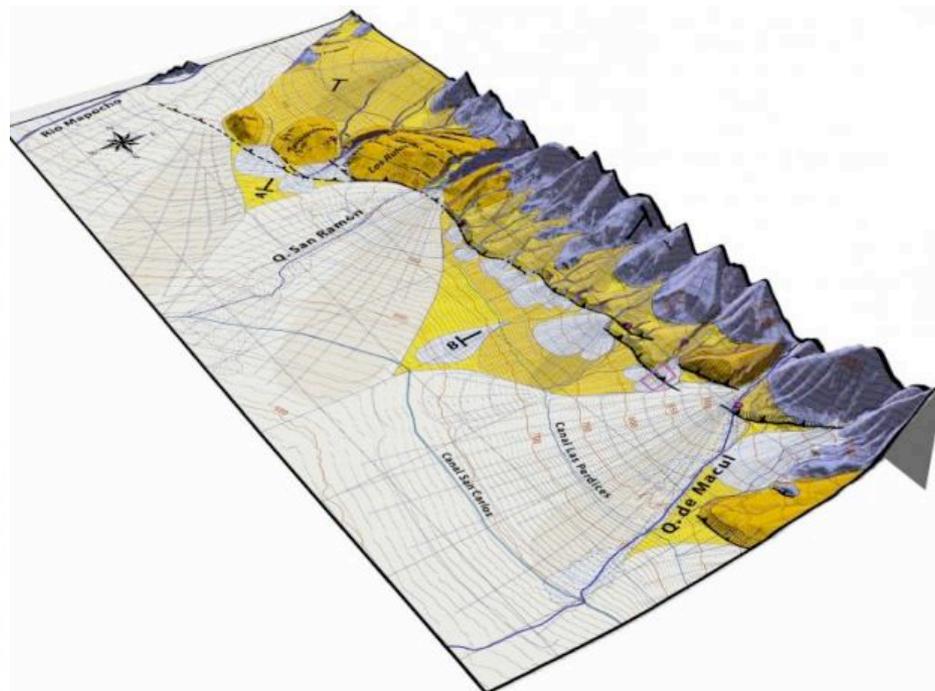
all earthquakes (red)  $M \geq 5.5$ ; cities (yellow) with population  $> 1000000$

# GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP

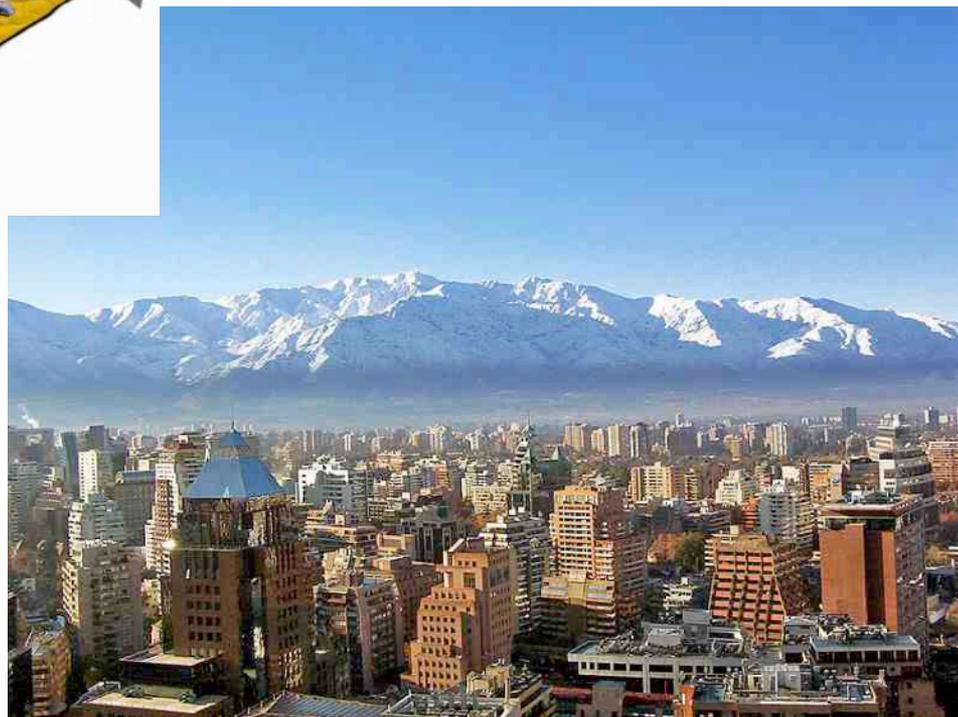
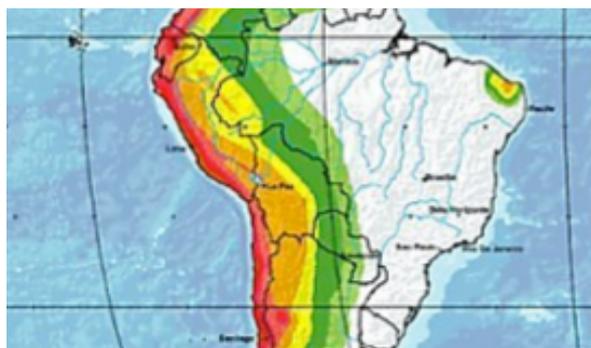
Produced by the Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP),  
a demonstration project of the UN/International Decade of Natural Disaster Reduction, conducted by the International Lithosphere Program.  
Global map assembled by D. Giardini, G. Gr'Ynthal, K. Shedlock, and P. Zhang  
1999



> Ne pas confondre Aléa Sismique et Risque Sismique



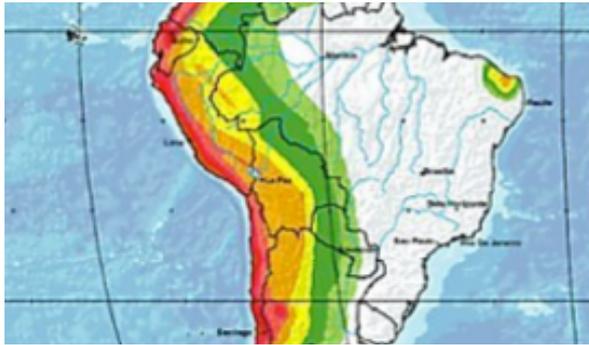
Chili



> Ne pas confondre Aléa Sismique et Risque Sismique

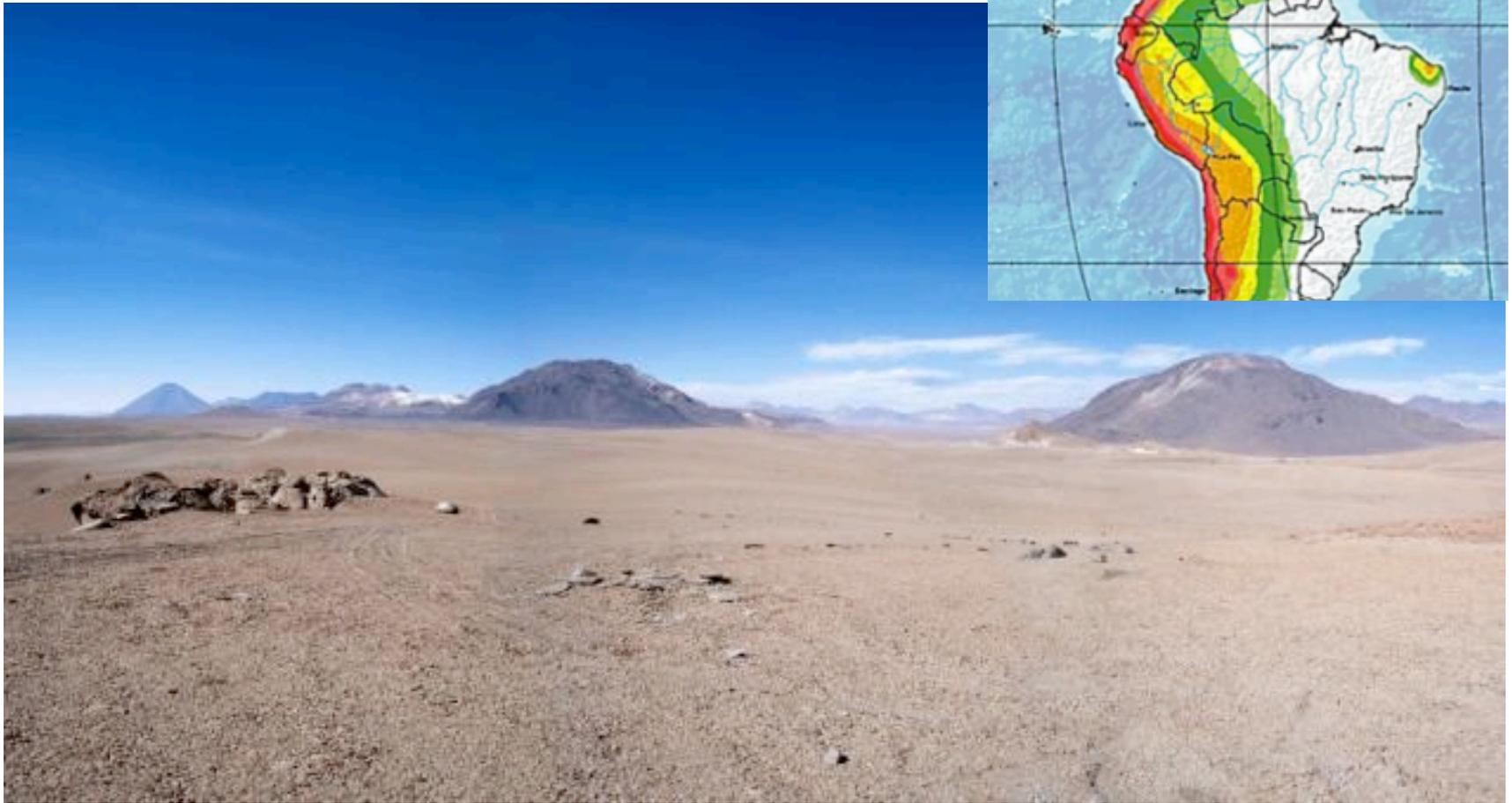


Chili



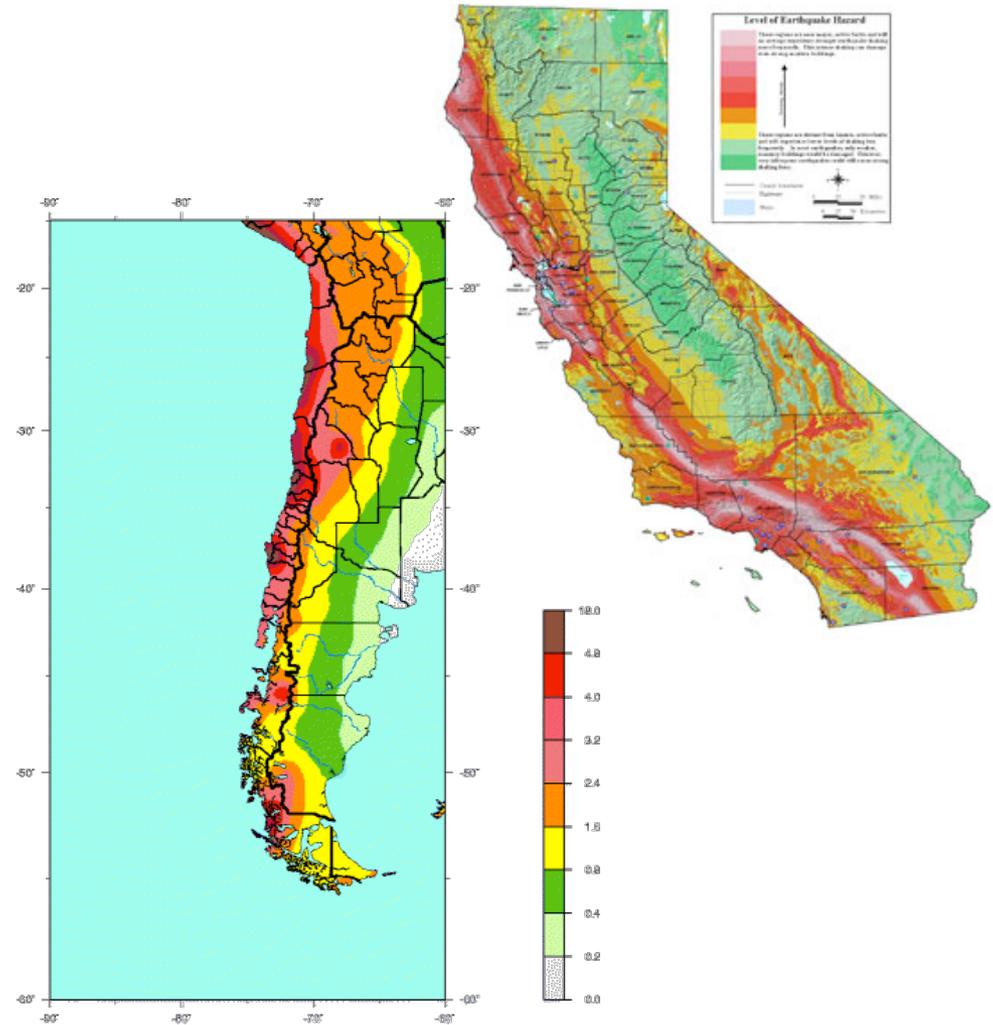
> Ne pas confondre Aléa Sismique et Risque Sismique

## Chili Nord: désert d'Atacama



# Evaluation de l'aléa sismique

## Échelle régionale

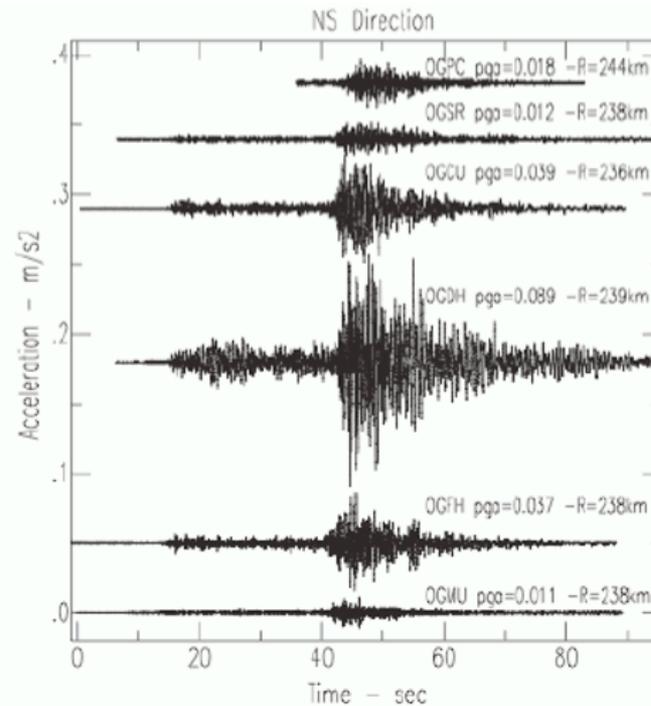
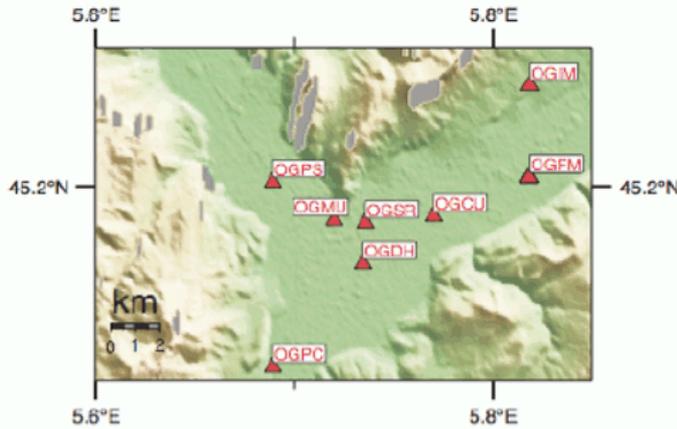


# Evaluation de l'aléa sismique

## Échelle locale



Grenoble, construite sur un bassin sédimentaire important et constitué de formations molles, présente systématiquement des amplifications du mouvement.

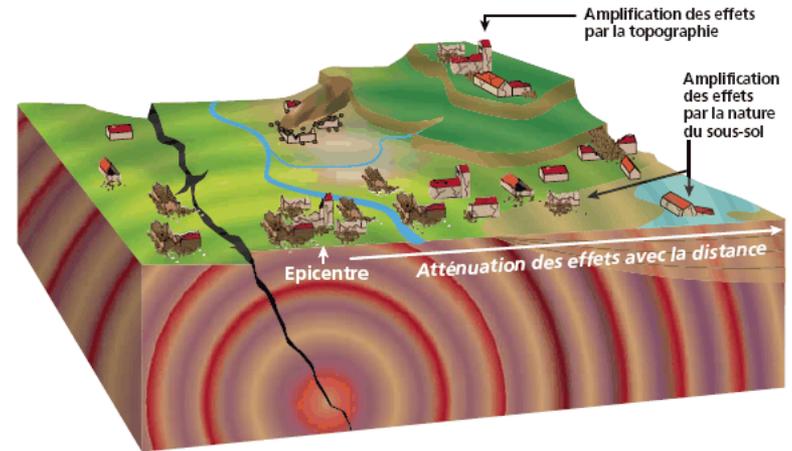


# Evaluation de l'aléa sismique

1) Identifier et localiser les sources  
(géologie, failles, séismes)

2) Caractériser leur activité

- Démarche déterministe
- Démarche probabiliste



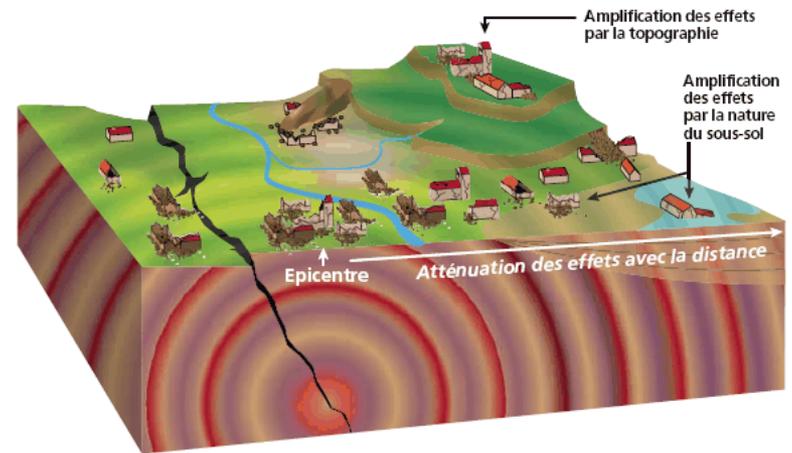
3) Quantifier la décroissance de l'énergie libérée

4) Prendre en compte les conditions locales

5) Evaluer aussi les effets induits

# Evaluation de l'aléa sismique

1) Identifier et localiser les sources  
(géologie, failles, séismes)



# Evaluation de l'aléa sismique

## Identifier et localiser les sources

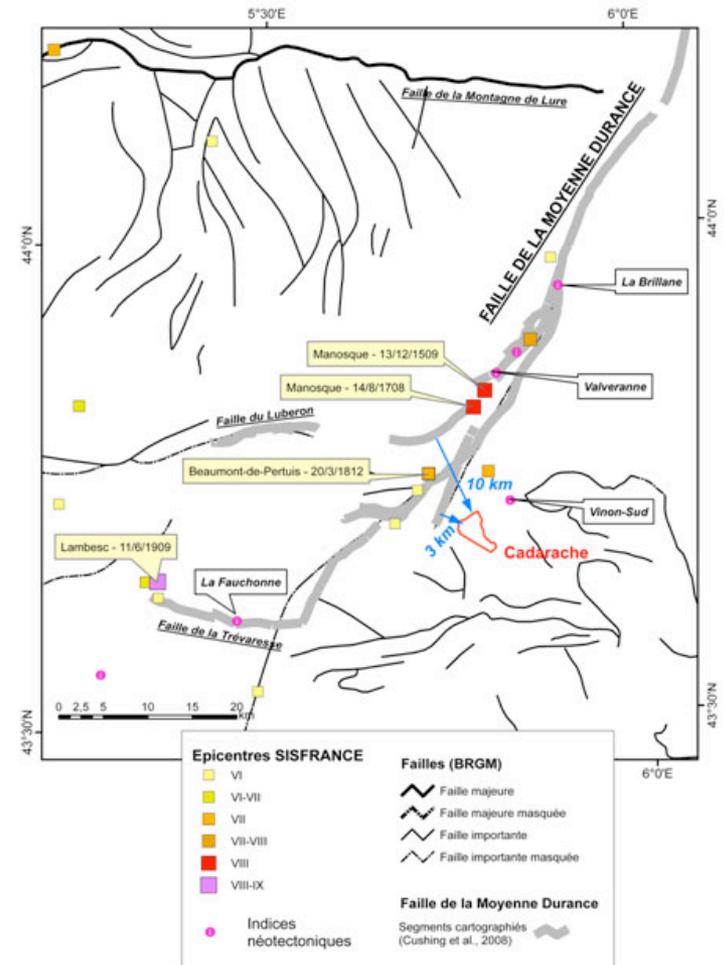
Etudier les failles et la sismicité:

Localisation des failles actives  
Evaluation du potentiel sismique de ces failles (types de séismes, magnitude, intensité, récurrence, profondeur focale)

En sortie:

**SÉISME CARACTÉRISTIQUE** défini par sa magnitude, sa profondeur focale, son intensité, sa période de retour

Unités sismotectoniques

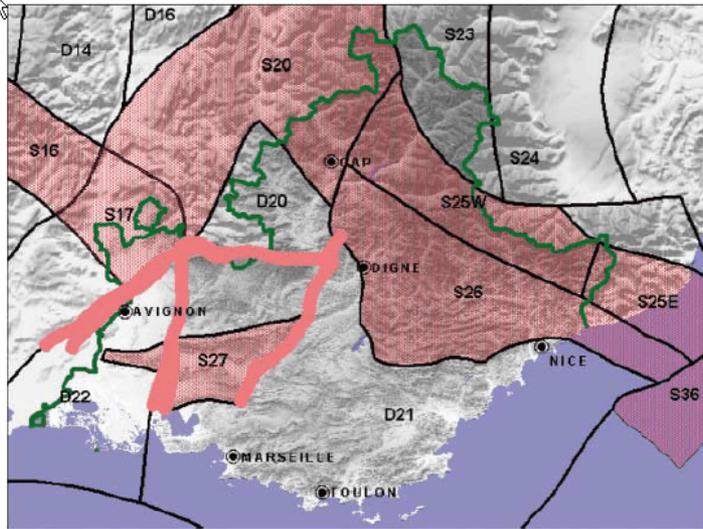


Exemple:  
Faille de la moyenne Durance

# Aléa sismique régional

Le zonage sismotectonique est produit à partir de la synthèse de données géologiques, géophysiques et sismologiques.

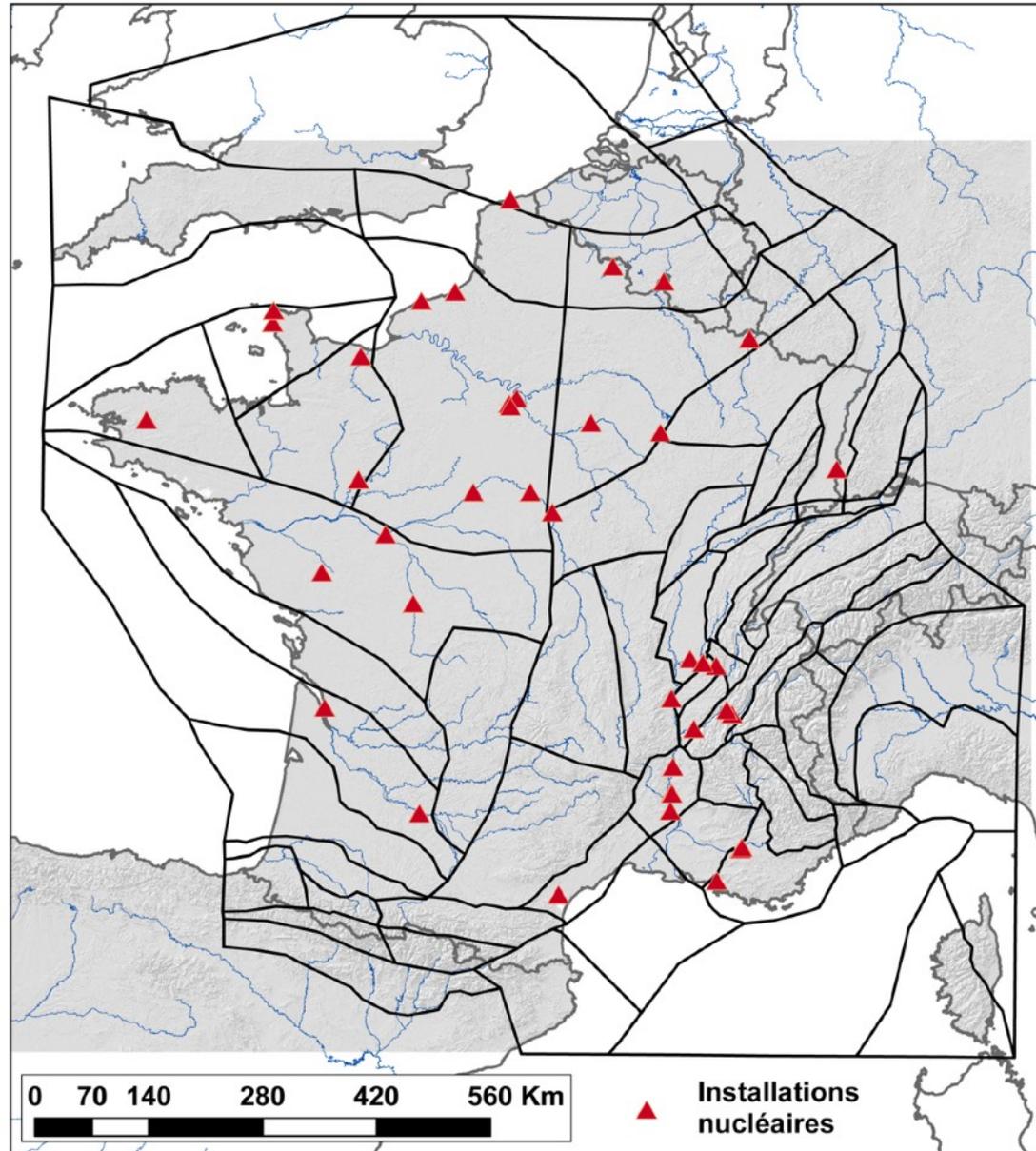
Par définition, les séismes qui se sont produit dans une zone pourraient se reproduire n'importe où dans cette zone.



Numéro de l'unité	Nom de l'unité	Magnitude du SMHV	Profondeur focale
S20	Zones externes alpines septentrionales	Proche : M = 5,0 Lointain : M = 5,7	Proche : 5 km Lointain : 15 km
S25W	Zone Ubaye-Mercantour	M = 5,0	9 km
S25E	Alpes Ligures méridionales	M = 6,3	8 km
S26	Alpes méridionales et arcs de Digne-Castellane-Nice	Proche : M = 4,7 Lointain : M = 5,7	Proche : 3 km Lointain : 15 km
S27	Chevauchements nord provençaux	M = 6,0	5 km
S36	Océan ligure nord oriental	M = 6,3	8 km
F13	Système de failles de la Moyenne Durance	M = 5,1	5 km
F14	Système de failles de Salon-Cavaillon	M = 4,2	5 km
D20	Domaine des Baronnies	lo = V	
D21	Domaine provençal	M = 4,0	4 km
D22	Camargue	M = 4,1	10 km

SMVH : Séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV)

# Zonage sismotectonique de la France utilisé par l'IRSN (2013)

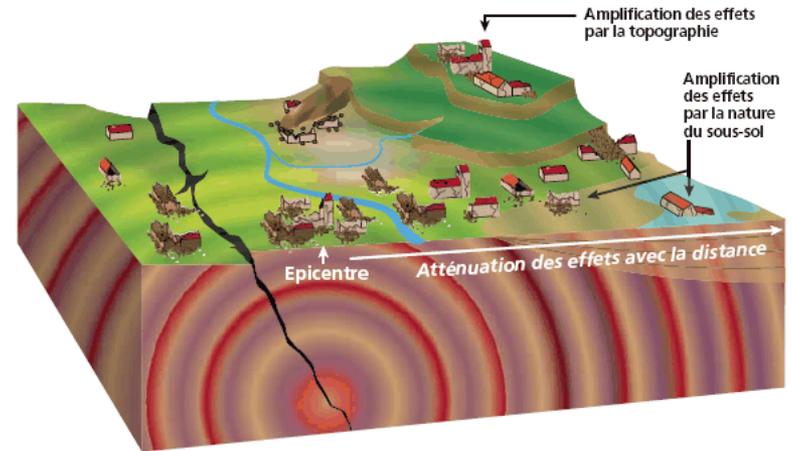


# Evaluation de l'aléa sismique

1) Identifier et localiser les sources  
(géologie, failles, séismes)

2) Caractériser leur activité

- Démarche déterministe
- Démarche probabiliste

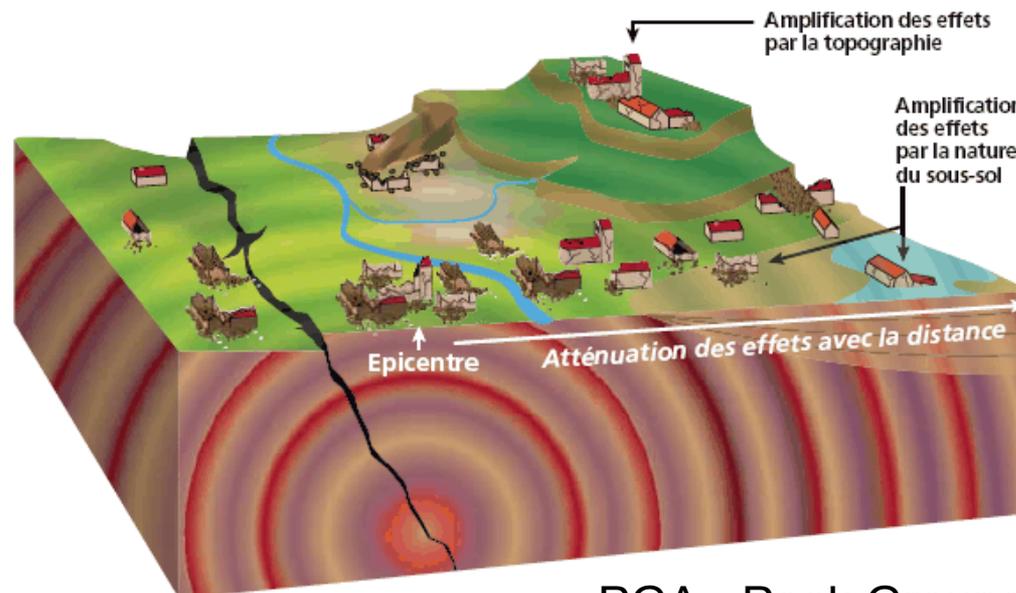


# Evaluation de l'aléa sismique

## 2) Caractériser leur activité

### - DÉMARCHE DÉTERMINISTE

- Séisme maximal possible, Séisme de référence
- Scenarii des séismes les plus forts connus dans la région
- « L'aléa sismique pour le site S est une accélération maximale (PGA) de 0.35 g dû à un séisme de magnitude 6 sur la faille F à 12 km de distance »



PGA= Peak Ground Acceleration

# Evaluation de l'aléa sismique

## 2) Caractériser leur activité

### - DÉMARCHE DÉTERMINISTE

- Séisme maximal possible, Séisme de référence
- Scenarii des séismes les plus forts connus dans la région
- « L'aléa sismique pour le site S est une accélération maximale (PGA) de 0.35 g dû à un séisme de magnitude 6 sur la faille F à 12 km de distance »

### - DÉMARCHE PROBABILISTE

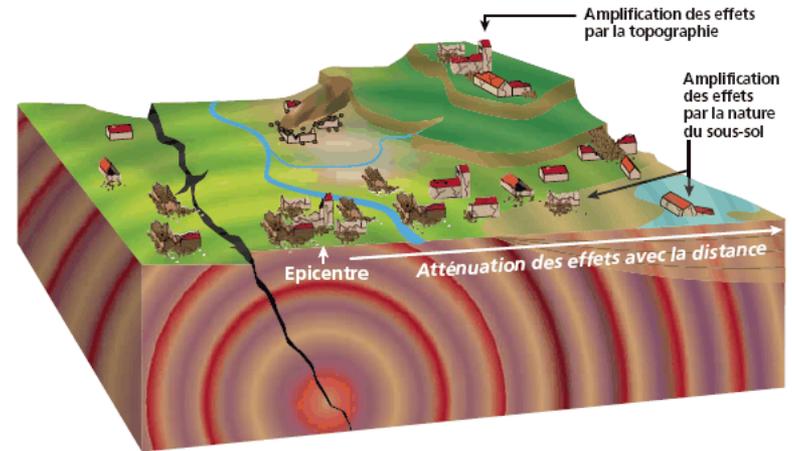
- Loi de distribution des séismes dans le temps et des magnitudes
- « L'aléa sismique pour le site S est une accélération maximale (PGA) de 0.28 g avec 2 % de probabilité d'être dépassé dans une période de 50 ans »

# Evaluation de l'aléa sismique

1) Identifier et localiser les sources  
(géologie, failles, séismes)

2) Caractériser leur activité

- Démarche probabiliste
- Démarche déterministe



3) Quantifier la décroissance de l'énergie libérée

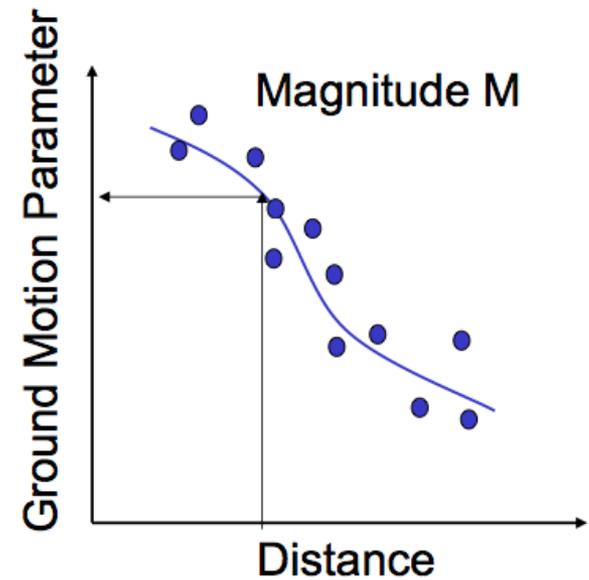
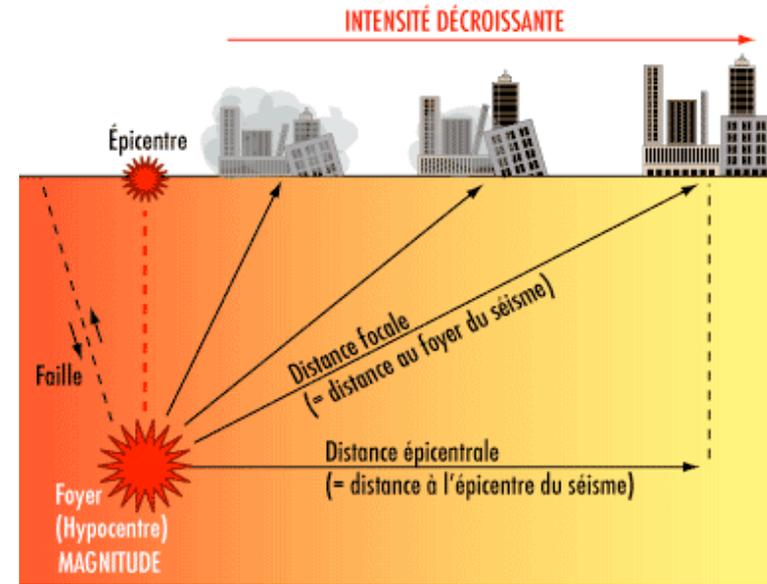
## 3) Quantifier la décroissance de l'énergie libéré

### LOIS D'ATTÉNUATIONS

Déterminer l'atténuation du mouvement sismique entre la source et la zone d'étude:

- Dispersion géométrique
- Absorption

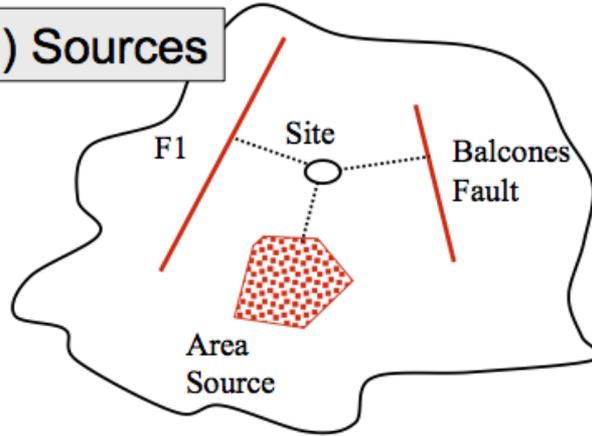
→ Lois d'atténuation empiriques



**METHODE : Notion de séisme de référence**

## Steps in Deterministic Seismic Hazard Analysis

(1) Sources



ÉTAPE 1  
SOURCES

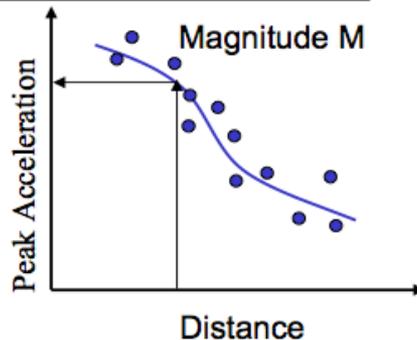
(2) Controlling Earthquake

Fixed distance R

Fixed magnitude M

ÉTAPE 2  
SÉLECTIONNER  
LE SÉISME DE  
RÉFÉRENCE

(3) Ground Motion



ÉTAPE 3  
MOUVEMENT  
SISMIQUE

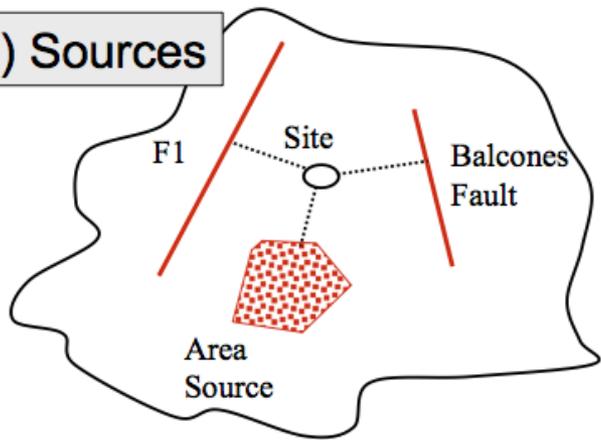
(4) Hazard at Site

“The earthquake hazard for the site is a peak ground acceleration of 0.35 g resulting from an earthquake of magnitude 6.0 on the Balcones Fault at a distance of 12 miles from the site.”

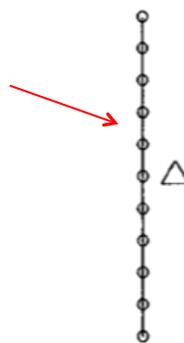
ÉTAPE 4  
ALÉA SISMIQUE

# Steps in Deterministic S

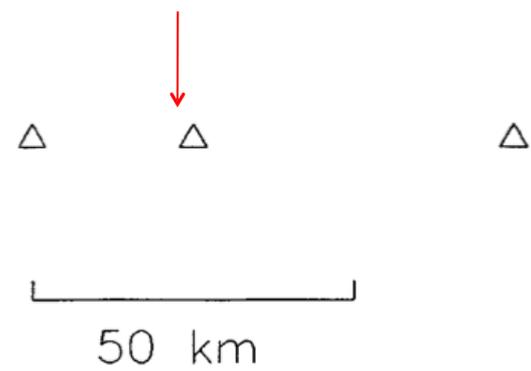
## (1) Sources



Source

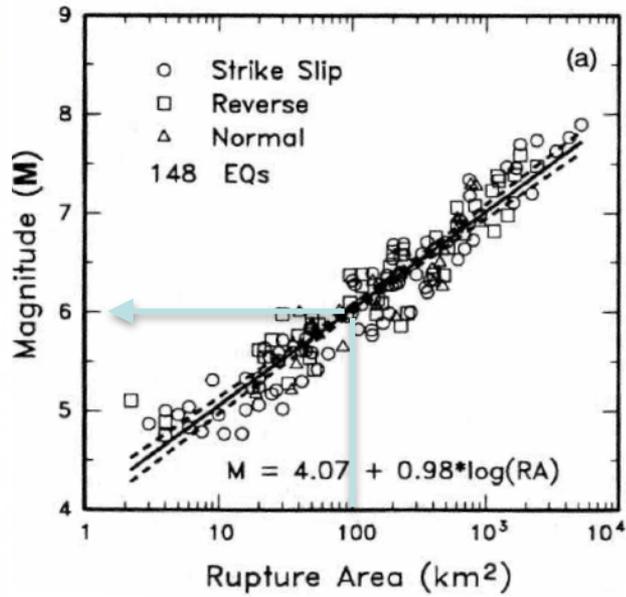


Sites



Site à 50 km

Faille : 50 km sur 20 km

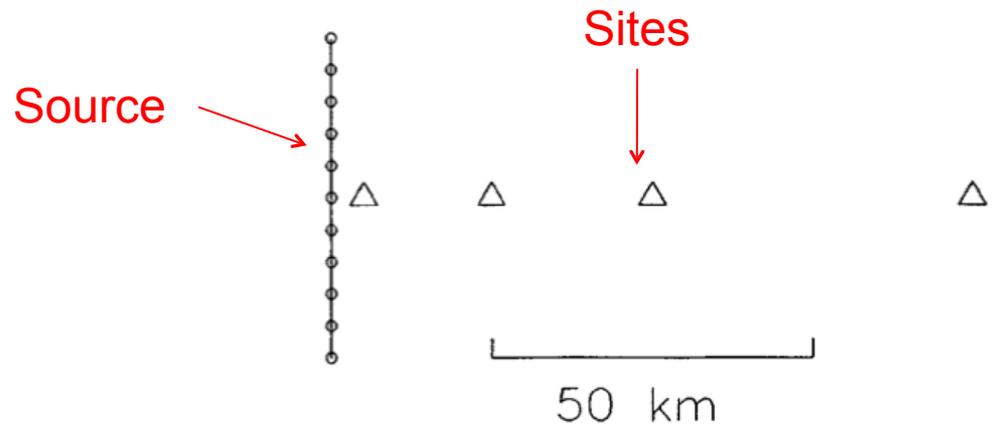


Wells et Coppersmith, 2004

## (2) Controlling Earthquake

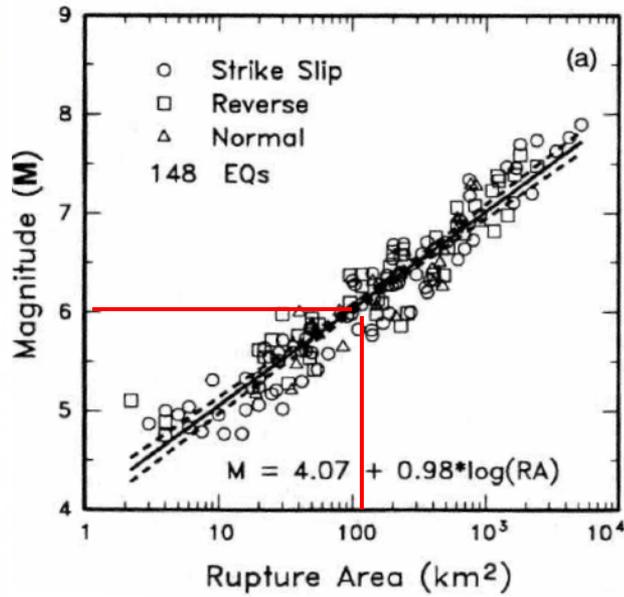
Fixed distance R

Fixed magnitude M



Sites : 50 km

Faille : 50 km sur 20 km



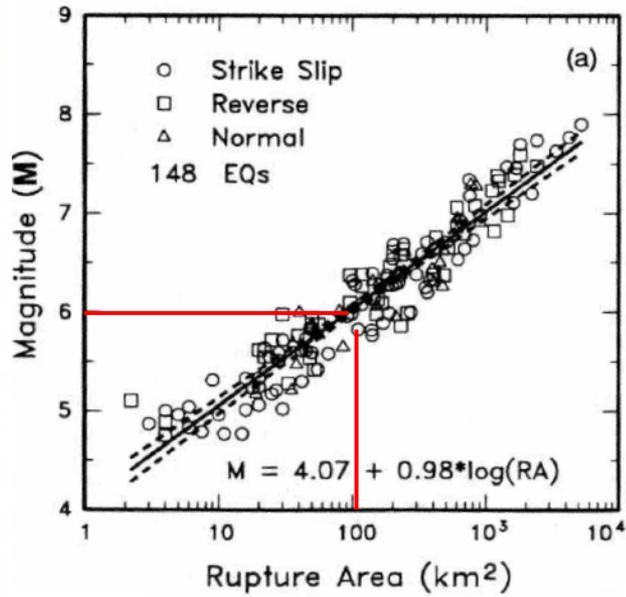
## (2) Controlling Earthquake

Fixed distance R

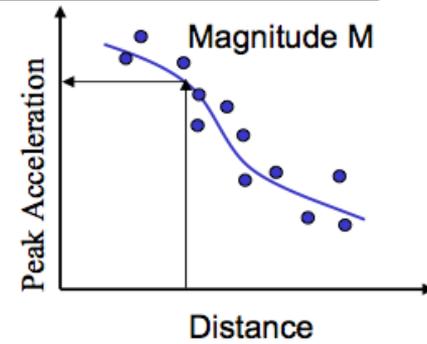
Fixed magnitude M

Si séisme de magnitude 6, quel effet pour un site situé à 50 km?

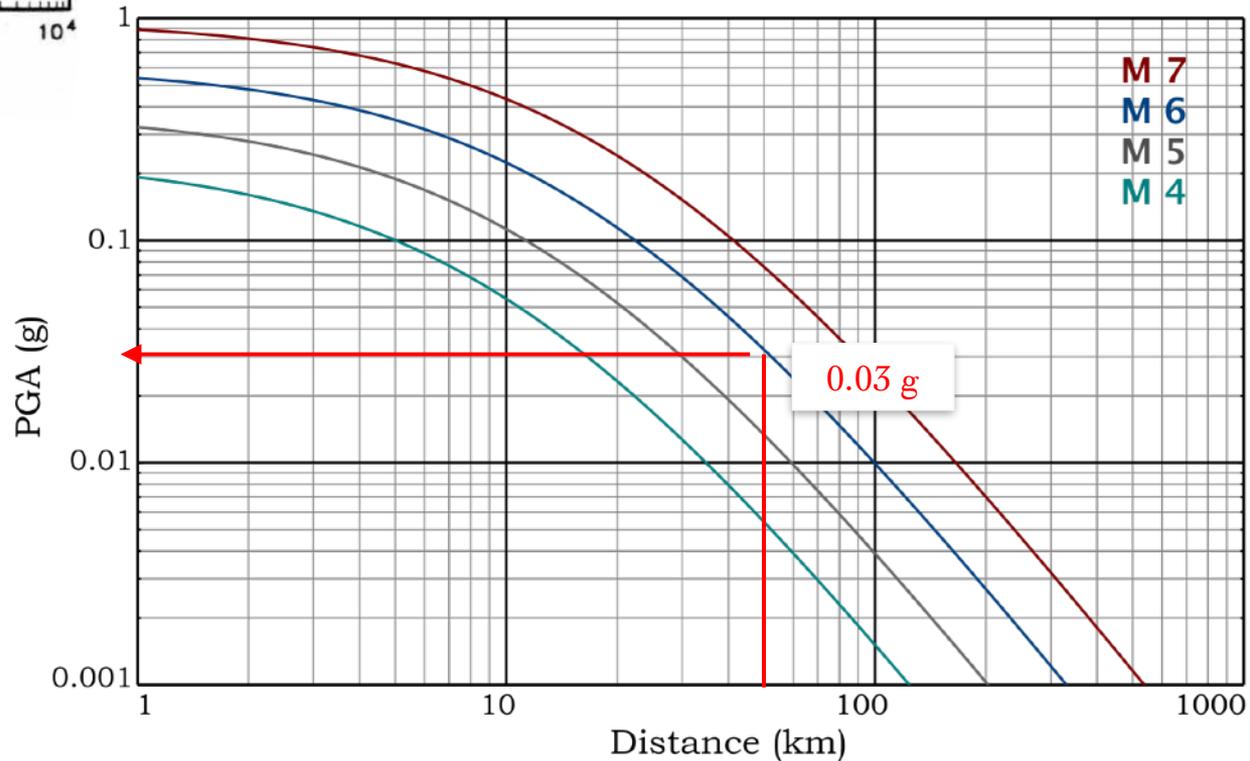
Sites à : 50 km  
 Faille : 50 km sur 20 km



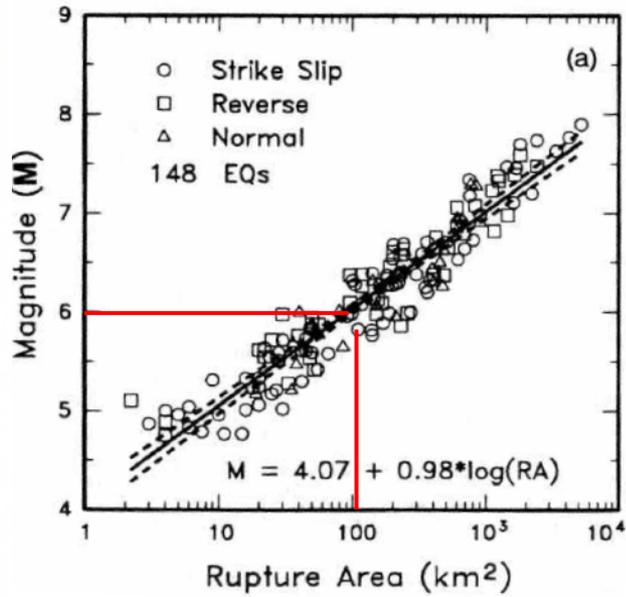
### (3) Ground Motion



*Loi d'atténuation*

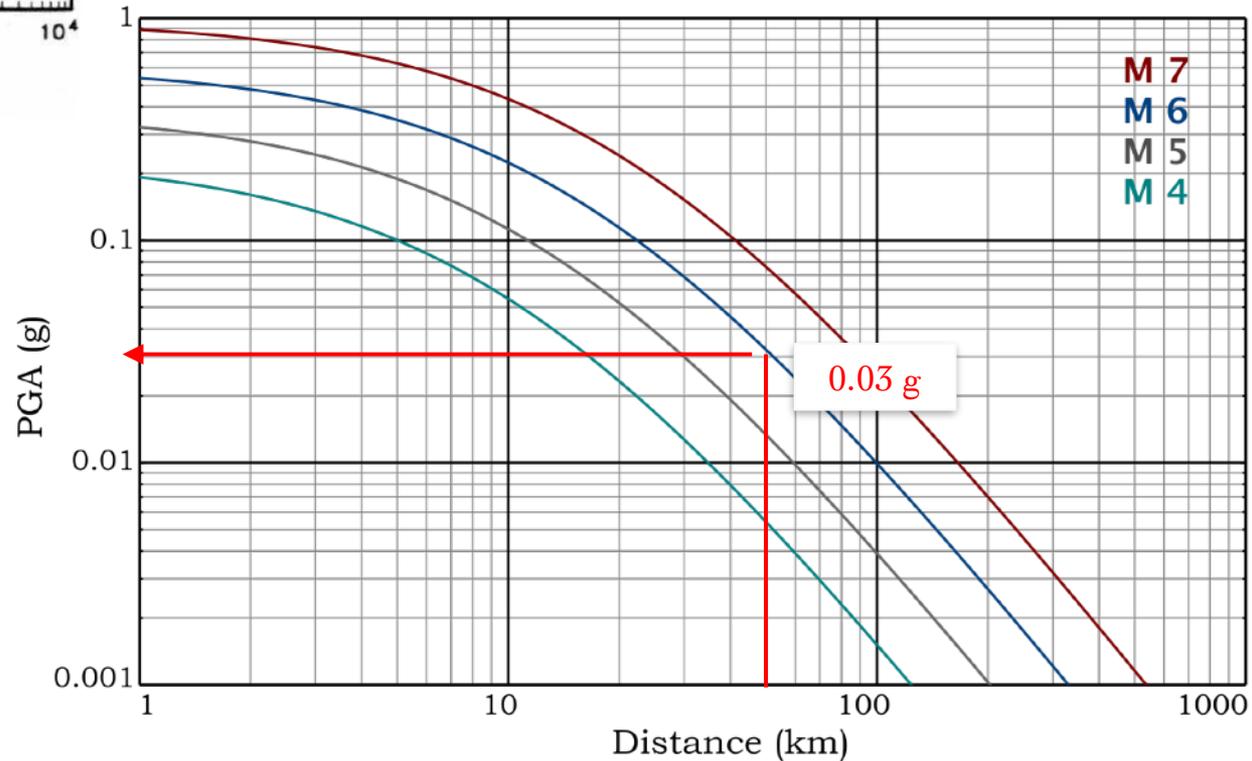


Sites à : 50 km  
Faille : 50 km sur 20 km



#### (4) Hazard at Site

*Le risque sismique pour ce site est un PGA de 0.03g pour un séisme de magnitude 6.0 sur la faille localisée à 50 km.*



# APPROCHE PROBABILISTE

- Loi de distribution des séismes dans le temps et des magnitudes
- « L'aléa sismique pour le site S est une accélération maximale (PGA) de 0.28 g avec 2 % de probabilité d'être dépassé dans une période de 50 ans »

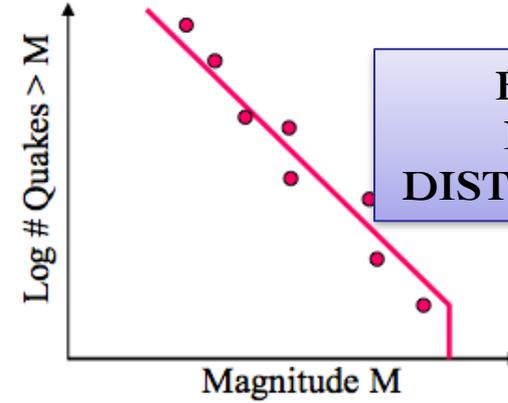
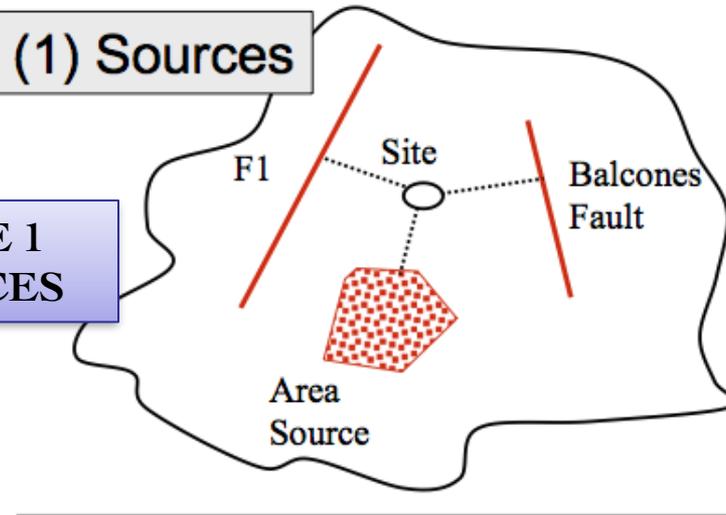
Evaluer la probabilité qu'un séisme se produise au moins une fois en un endroit de la zone sismique pendant une période donnée.

## Steps in Probabilistic Seismic Hazard Analysis

(1) Sources

(2) Recurrence

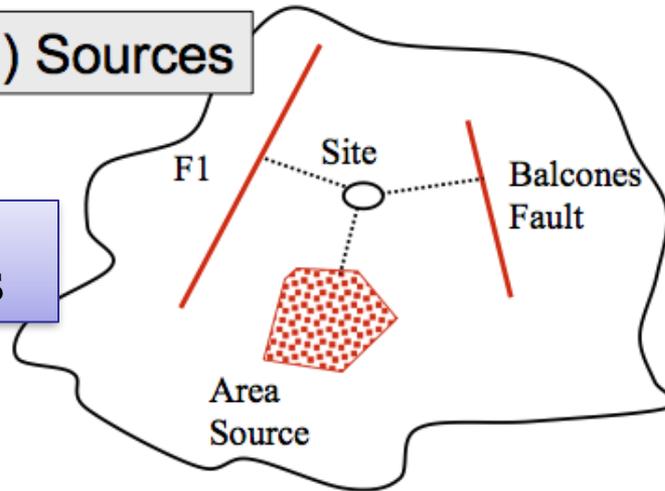
ÉTAPE 1  
SOURCES



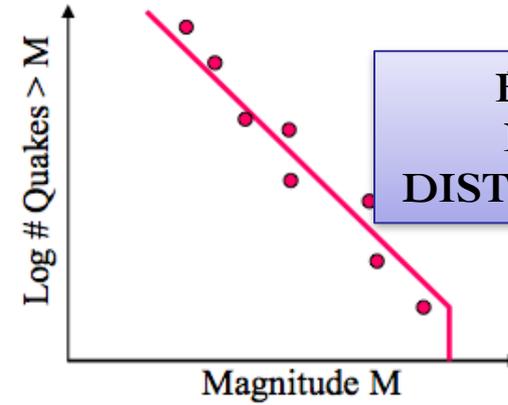
ÉTAPE 2  
LOI DE  
DISTRIBUTIONS

## Steps in Probabilistic Seismic Hazard Analysis

(1) Sources



(2) Recurrence

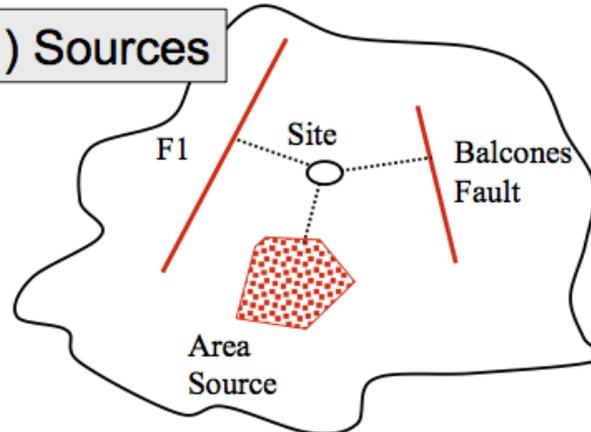


ÉTAPE 2  
LOI DE  
DISTRIBUTIONS

ÉTAPE 1  
SOURCES

## Steps in Deterministic Seismic Hazard Analysis

(1) Sources



(2) Controlling Earthquake

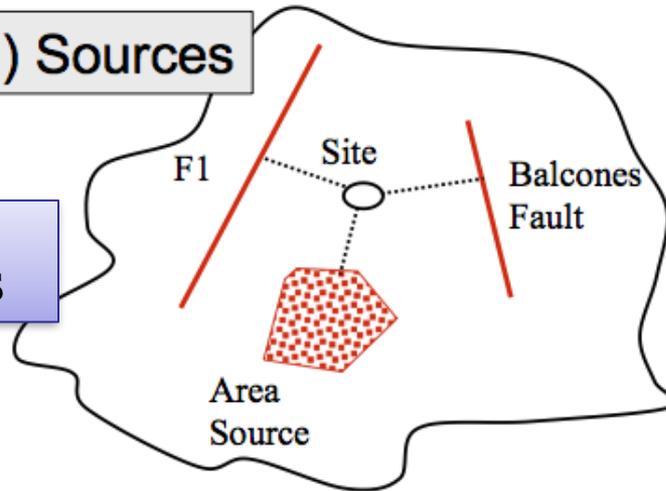
Fixed distance R

Fixed magnitude M

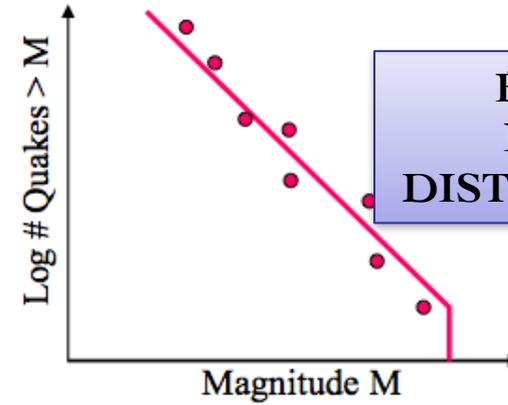
## Steps in Probabilistic Seismic Hazard Analysis

(1) Sources

ÉTAPE 1  
SOURCES

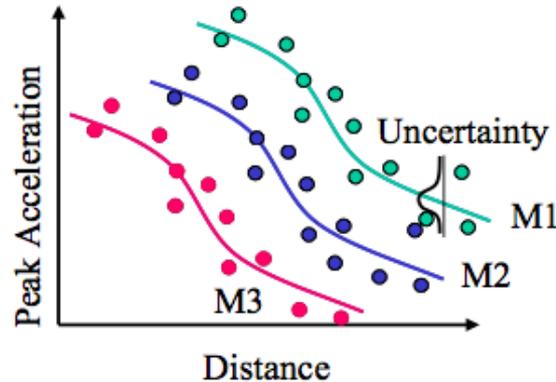


(2) Recurrence



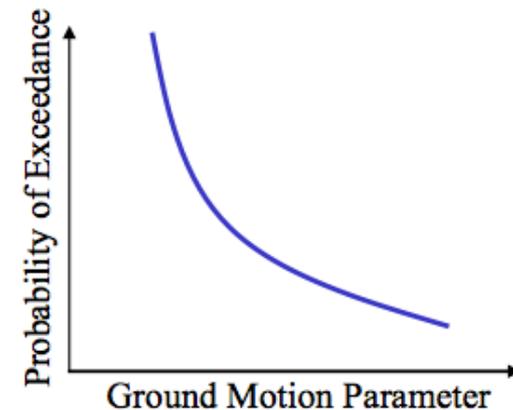
ÉTAPE 2  
LOI DE  
DISTRIBUTIONS

(3) Ground Motion



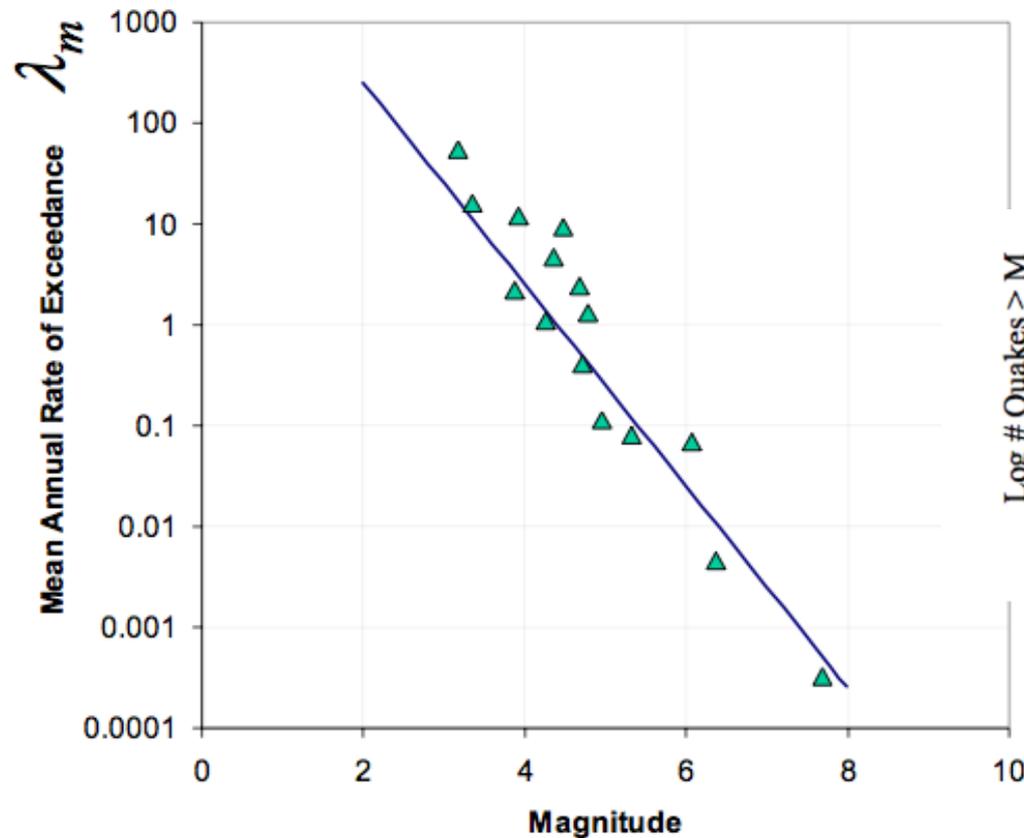
ÉTAPE 3  
ATTENUATION  
DU  
MOUVEMENT

(4) Probability of Exceedance

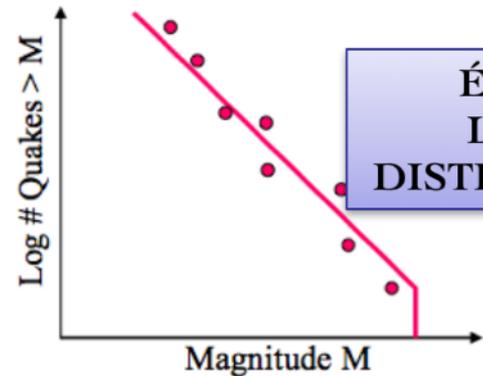


ÉTAPE 4  
PROBABILITE DE  
DEPASSEMENT

# Empirical Gutenberg-Richter Recurrence Relationship



$$\log \lambda_m = a - bm$$



ÉTAPE 2  
LOI DE  
DISTRIBUTIONS

$a$  and  $b$  to be determined from data



# DÉTERMINISTE / PROBABILISTE

L'APPROCHE DÉTERMINISTE fournit une méthode claire de l'information de l'aléa avec des hypothèses simples. Il fournit des scénarios compréhensibles qui peuvent être reliés directement au problème. Toutefois, il n'a aucune évaluation des incertitudes.

Les conclusions basées sur une analyse déterministe peuvent facilement être perturbées par l'apparition de nouveaux séismes.

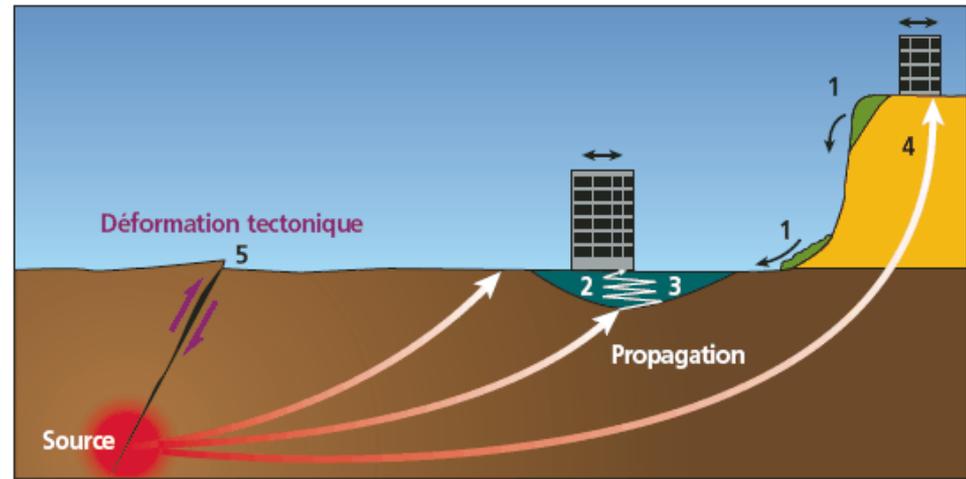
L'APPROCHE PROBABILISTE est capable d'intégrer un large éventail d'informations et d'incertitudes dans un cadre plus flexible.

Malheureusement, sa complexité peut obscurcir les éléments qui gouvernent les résultats, et sa nature hautement quantitative peut conduire à des fausses impressions de précision.

# Evaluation de l'aléa sismique

## 4) Prendre en compte les conditions locales

Aléa local (microzonage)



### Effets induits

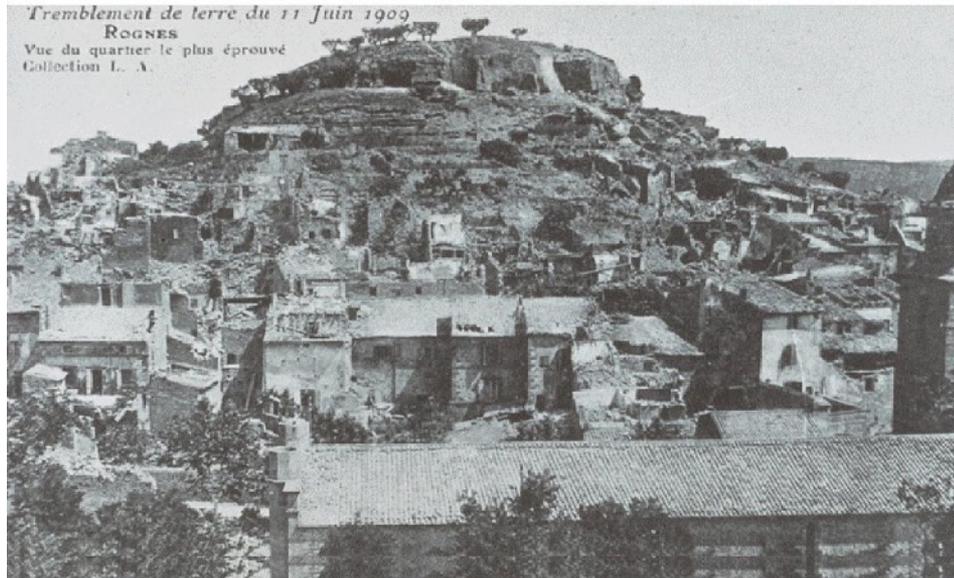
1. Stabilité des versants
2. Liquéfaction

### Effets de sites

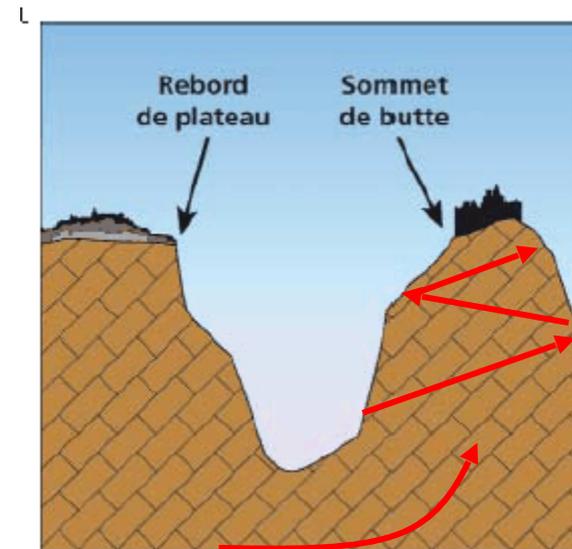
3. Lithologie
4. Topographie
5. Rupture en surface

- Effets de site topographiques
- Effets de site lithologiques
- Rupture de faille en surface

# ALÉA SISMIQUE LOCAL : EFFETS DE SITE TOPOGRAPHIQUES

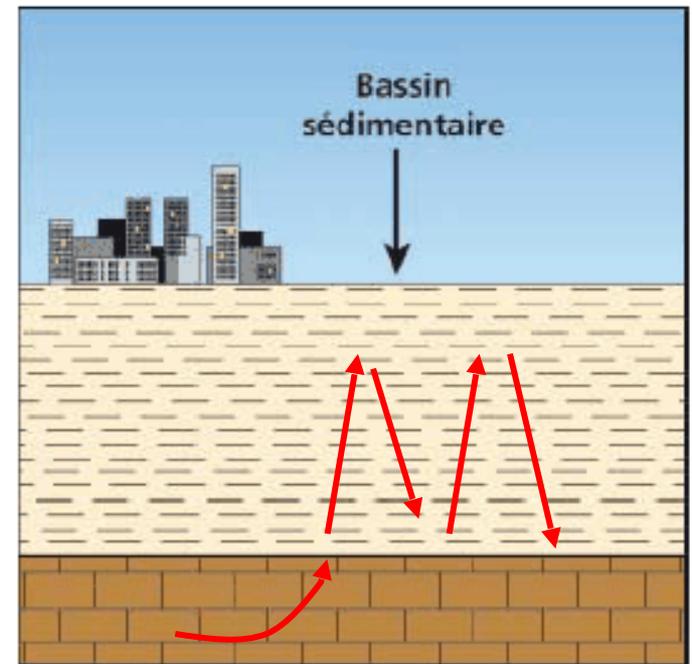


- Principe :  
Piégeage des ondes sismiques dans  
des topographies marquées.



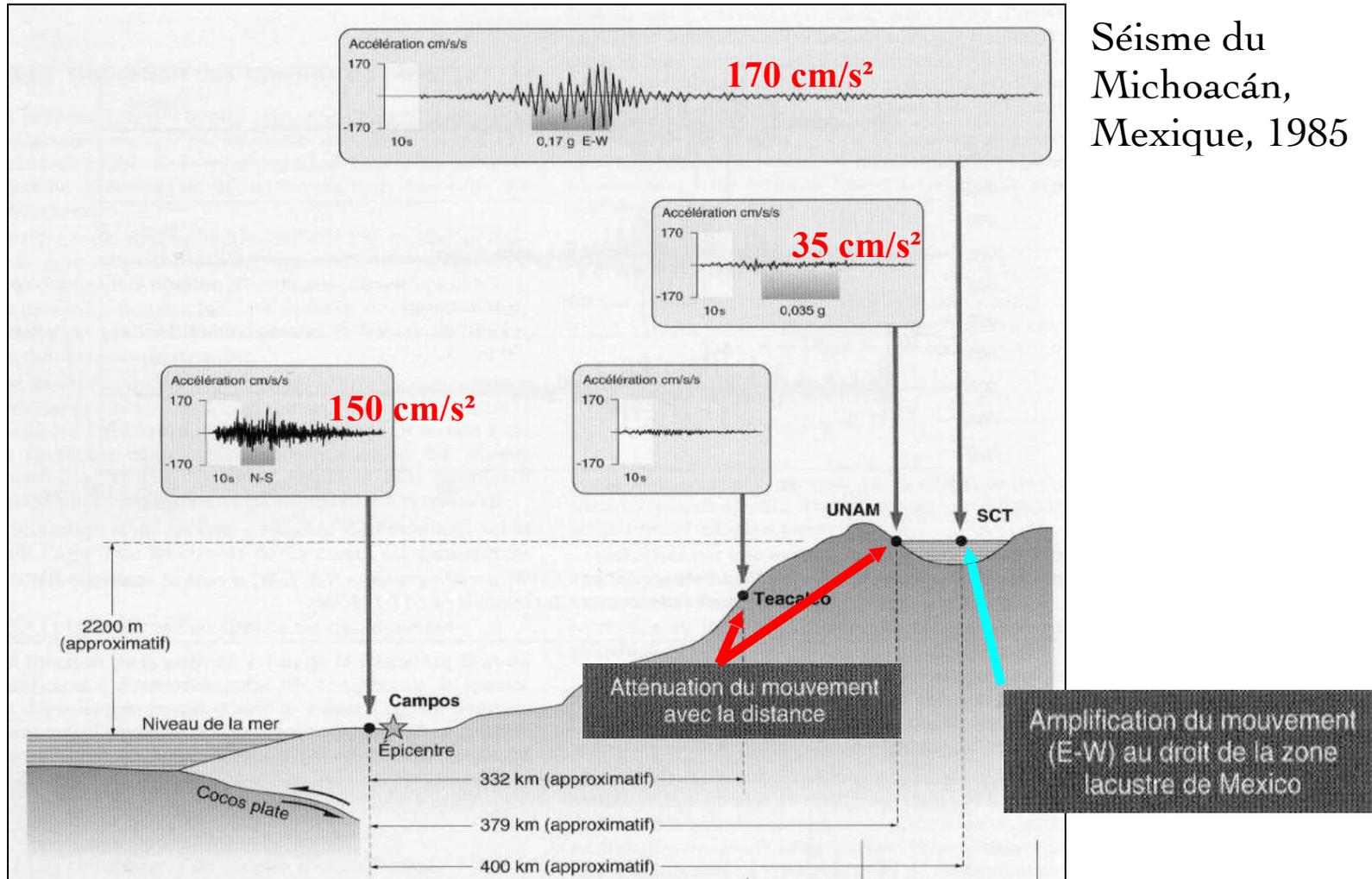
# ALÉA SISMIQUE LOCAL : EFFETS DE SITE LITHOLOGIQUES

- Principe
  - Piégeage des ondes sismiques dans les couches meubles superficielles (lié à la géologie superficielle)



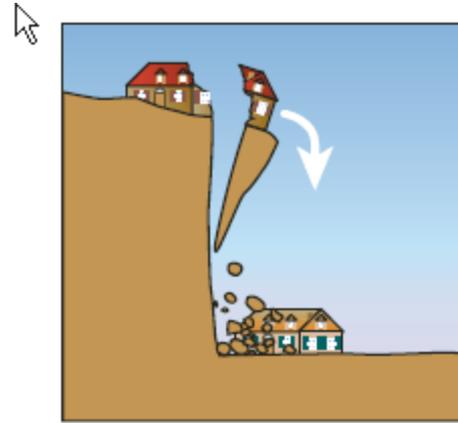
# ALÉA SISMIQUE LOCAL : EFFETS DE SITE LITHOLOGIQUES

Séisme du Michoacán, Mexique, 1985

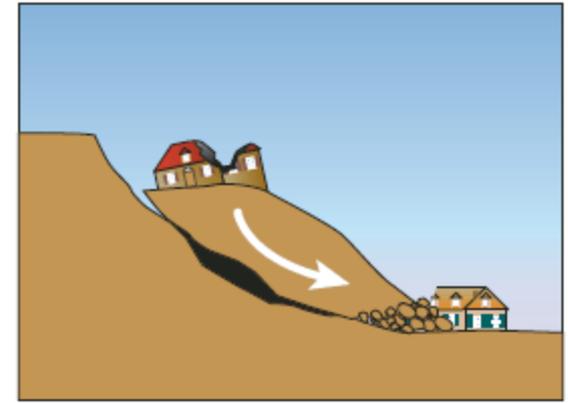


# Evaluation de l'aléa sismique

## 5) Effets induits



*Chute de blocs*



*Glissement*

- Aléas étudiés :
  - Chute de blocs
  - Glissement de terrain
  - Liquéfaction
  - Tsunamis.....

# Evaluation de l'aléa sismique

## 5) Effets induits



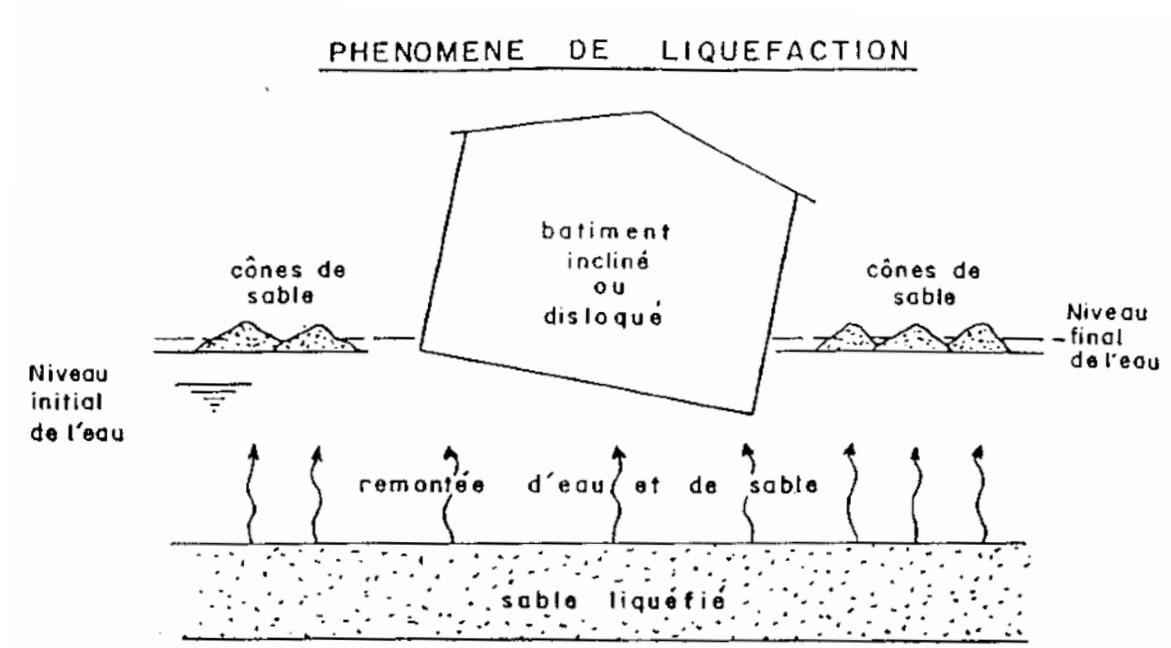
# Evaluation de l'aléa sismique

## 5) Effets induits

- LIQUÉFACTION:

Principe :

- Perte totale de résistance mécanique sous sollicitation sismique : tassements
- Concerne certaines formations lithologiques (sables saturés d'eau et peu compacts)





Tocopilla earthquake

Damage to port due to liquefaction (photo: J. Bray)



1964 Niigata earthquake

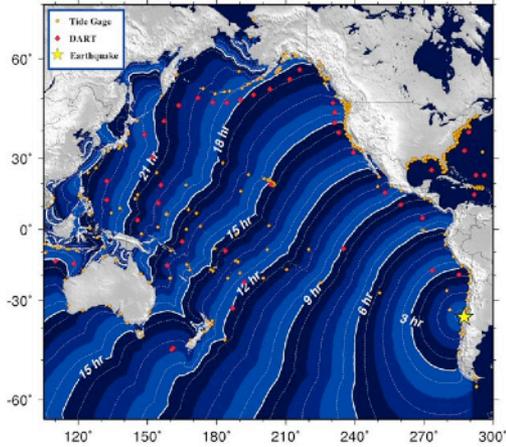


# 2011 Christchurch earthquake



# Tsunami

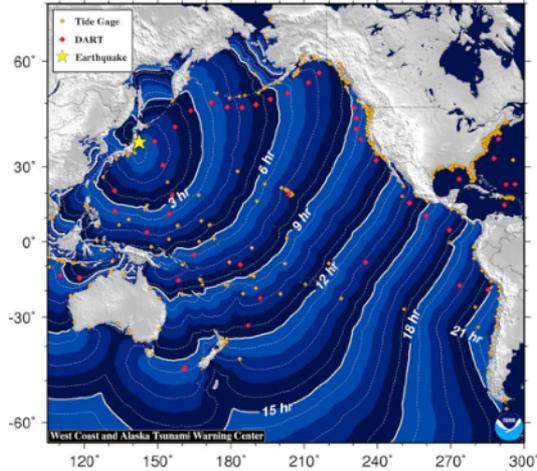
February 27, 2010 Chilean Tsunami Travel Times



At 06:34:14 UTC, a M8.8 earthquake occurred offshore Maule, Chile, [35.846°S, 72.719°W], resulting in a Pacific-wide tsunami. Shown above are the tsunami travel time contours in hours, beginning from the 0 time of the earthquake.

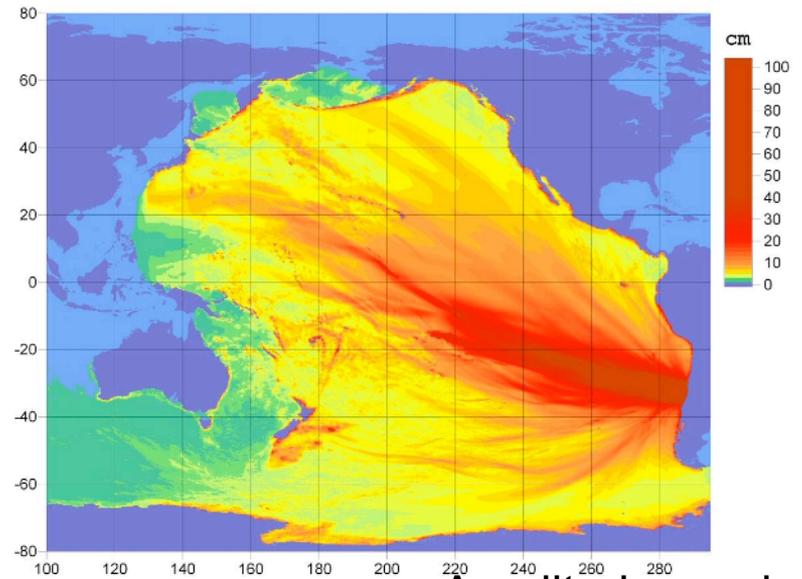
Tsunami Travel Times

Tsunami travel time contours in hours, beginning from the earthquake origin time.



Event ID: lhvqd9  
 Earthquake Magnitude: 9.0  
 Earthquake Location: [38.322, 142.369], "near the east coast of Honshu, Japan"

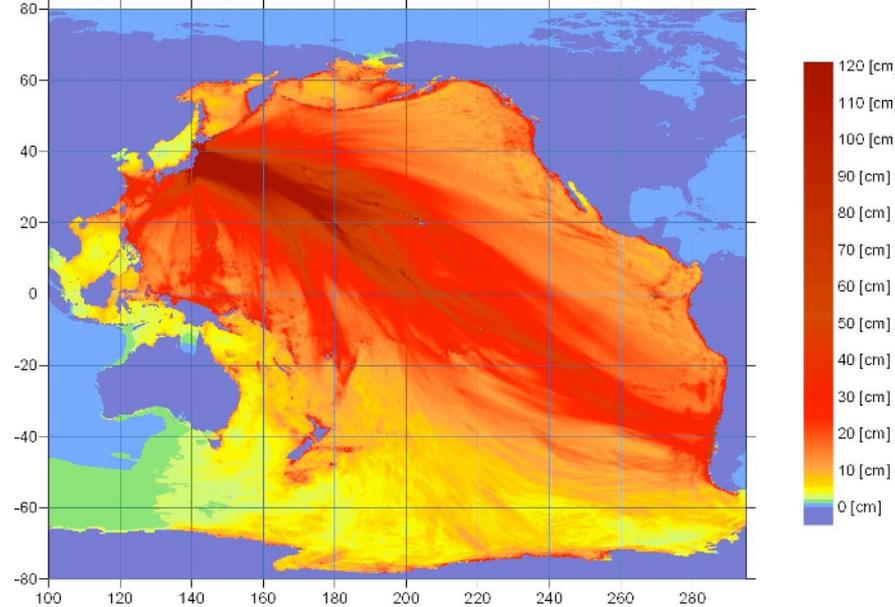
Origin Time: 05:46:23 (UTC)  
 Date: 3/11/2011



Amplitude maximum

Tsunami Propagation Forecast

Contours of forecasted maximum wave amplitudes [cm], detailing tsunami energy propagation.



Event ID: lhvqd9  
 Earthquake Magnitude: 9.0  
 Earthquake Location: [38.322, 142.369], "near the east coast of Honshu, Japan"

Origin Time: 05:46:28 (UTC)  
 Date: 3/11/2011



# ÉVALUATION DE L'ALÉA SISMIQUE

## 2 APPROCHES POSSIBLES

- **Déterministe (DSHA – Deterministic Seismic Hazard Analysis)**

Séisme maximal possible, séismes de référence

- **Probabiliste (PSHA – Probabilistic Seismic Hazard Analysis)**

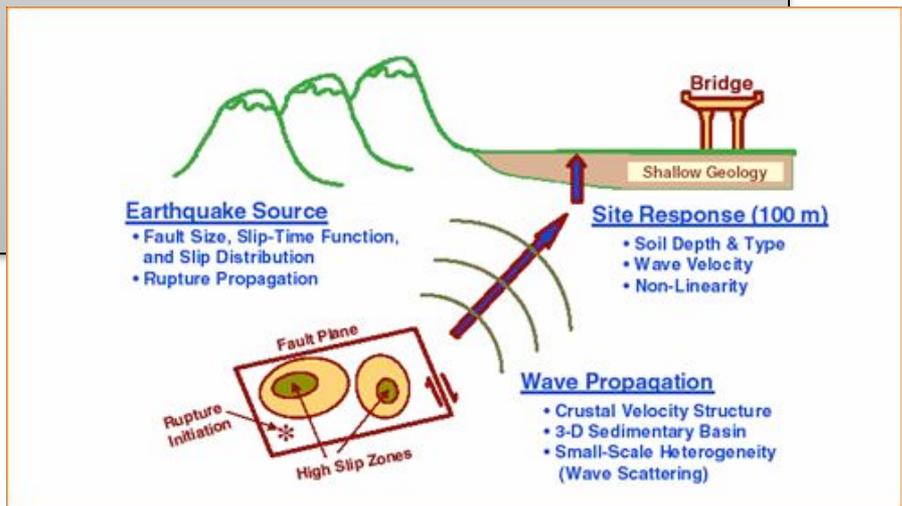
Loi de distribution des séismes dans le temps

Loi de distribution des magnitudes

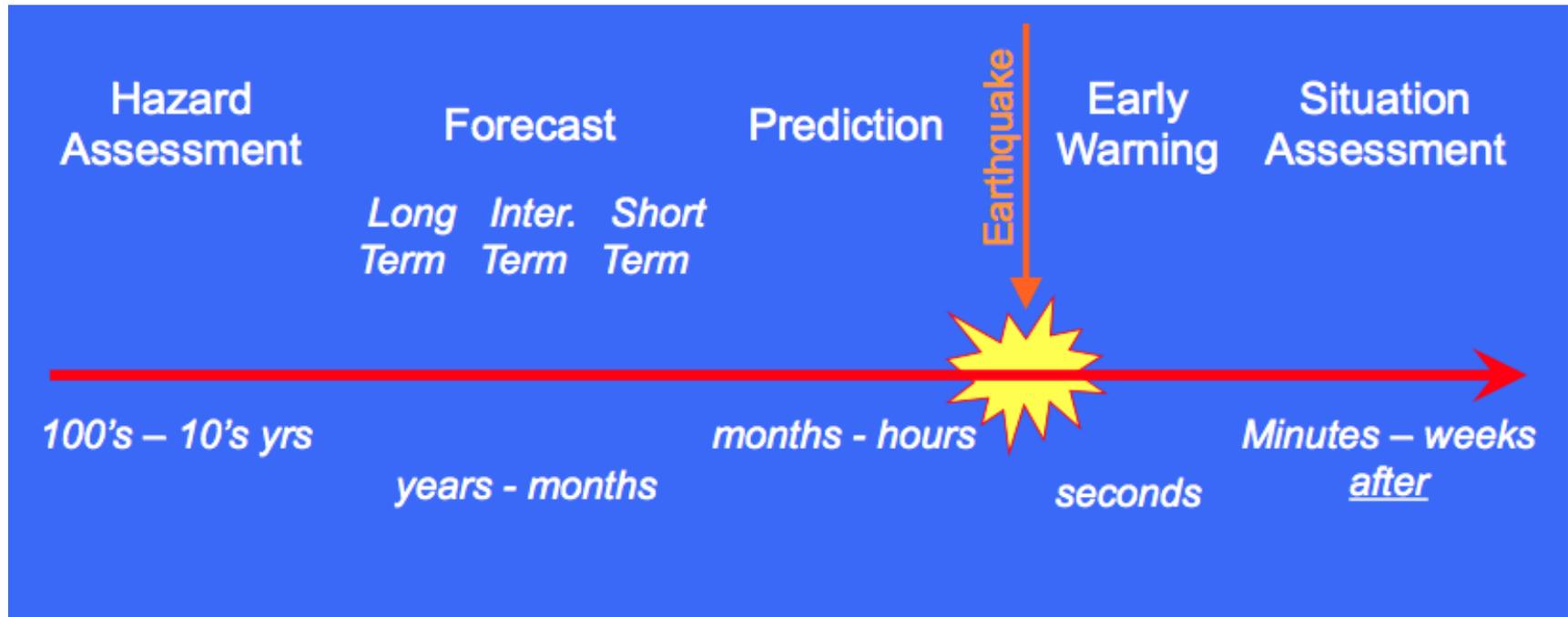
## 2 ECHELLES

- Régionale

- Locale



# ECHELLE TEMPORELLE DE L'INFORMATION



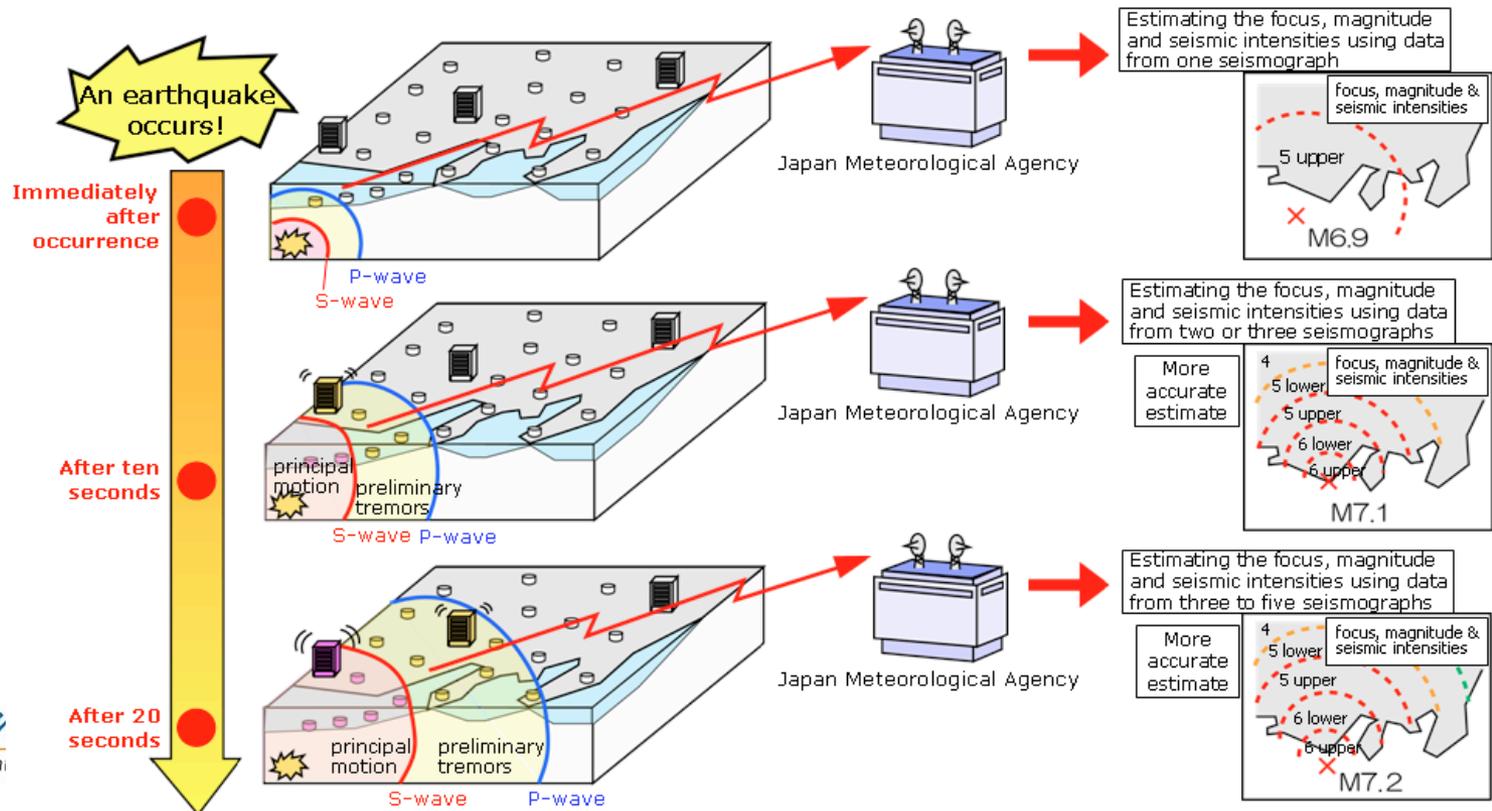
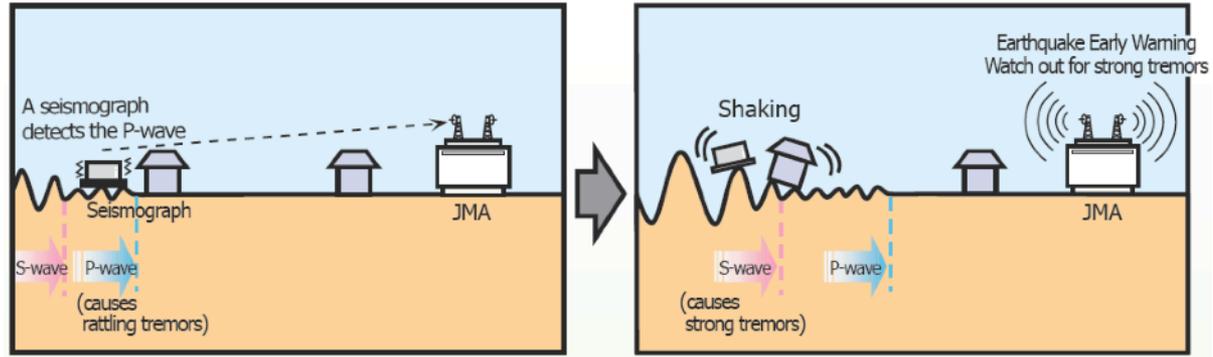
**A long terme:** plusieurs dizaines d'années = définition de l'aléa, du mode de construction adapté et renforcement des bâtiments existants

**A moyen terme:** quelques mois, 1 an = surveillance et instrumentation des sites à risque

**A court terme :** quelques heures à quelques jours = mise en alerte des réseaux d'intervention, préparation des secours et évacuation des bâtiments

**A très court terme :** -> EARLY WARNING (ALERTE RAPIDE)

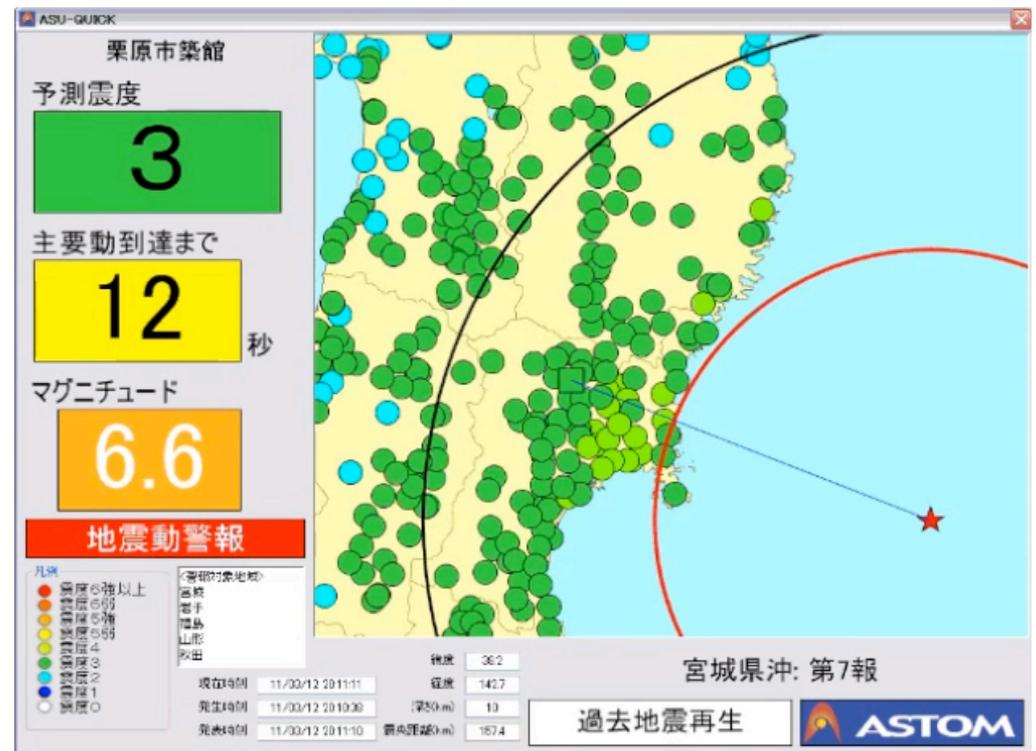
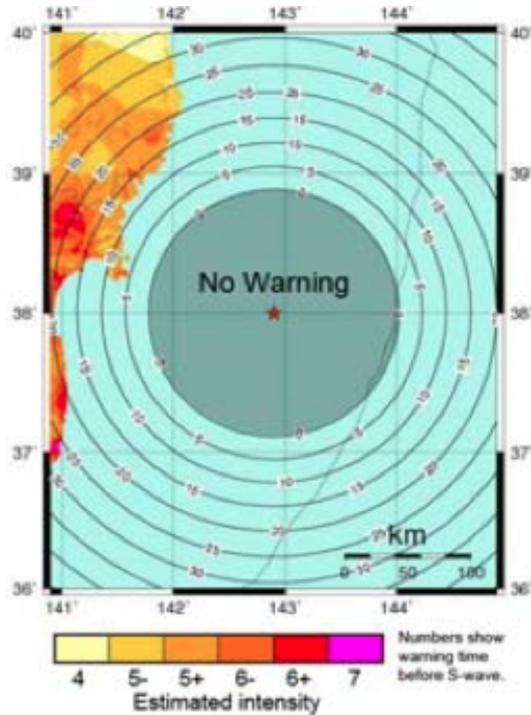
EARLY WARNING: L'information sur un gros séisme (localisation, magnitude) peut atteindre un site (potentiellement à risque) en quelques secondes à des dizaines de secondes avant que les plus larges amplitudes n'arrivent (S).

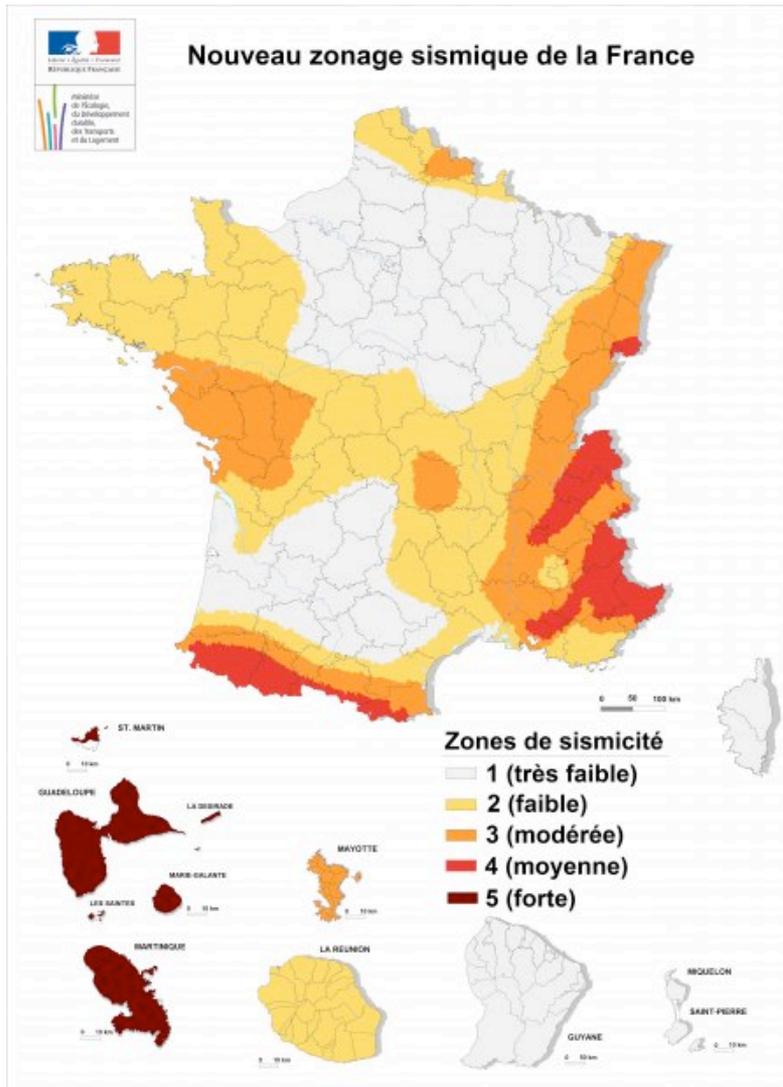


# EXEMPLE DE TOHOKU Mw9

## EXEMPLE DE TOHOKU Mw9

Good: - Alerte donnée dans les 9 secondes  
- Millions de personnes ont eu 5 à 40 secondes pour se préparer





	I	II	III	IV
Zone 1	aucune exigence			
Zone 2	aucune exigence			Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=0,7 \text{ m/s}^2$
Zone 3	PS-MI <sup>1</sup>	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,1 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,1 \text{ m/s}^2$	
Zone 4	PS-MI <sup>1</sup>	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$	
Zone 5	CP-MI <sup>2</sup>	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 <sup>3</sup> $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$	

<sup>1</sup> Application possible (en dispense de l'Eurocode 8) des PS-MI sous réserve du respect des conditions de la norme PS-MI

<sup>2</sup> Application possible du guide CP-MI sous réserve du respect des conditions du guide

<sup>3</sup> Application obligatoire des règles Eurocode 8

## Que faire en cas de tremblement de terre : les gestes qui protègent les écoliers.

*Cet apprentissage fait partie du Plan Particulier de Mise en Sûreté de tous les établissements scolaires*



Dès la 1<sup>ère</sup> secousse  
se protéger sous une table



Se protéger la tête



Tenir les pieds de la table  
si elle bouge



Se protéger dans un coin  
de mur ou dans l'encadrement  
d'une porte



Après la secousse  
évacuer sans paniquer



S'éloigner des bâtiments



Se regrouper auprès  
des adultes qui font l'appel



Ne pas téléphoner  
pour laisser les lignes libres  
pour les secours



Suivre les consignes  
écouter la radio  
et attendre les secours