

**Journées techniques**  
organisées avec l'appui du Sétra  
et sous l'égide de la CoTITA

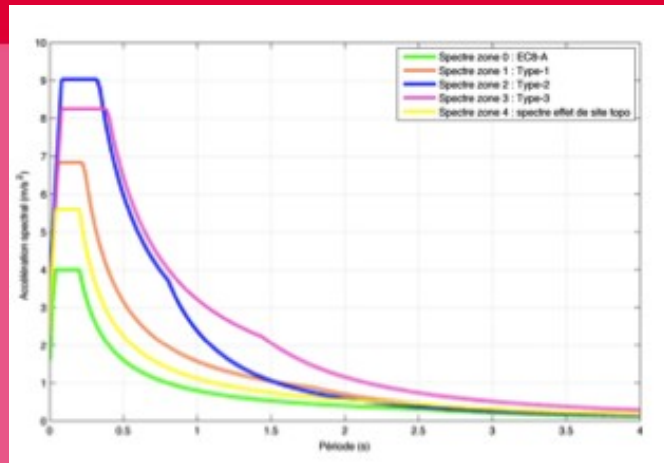
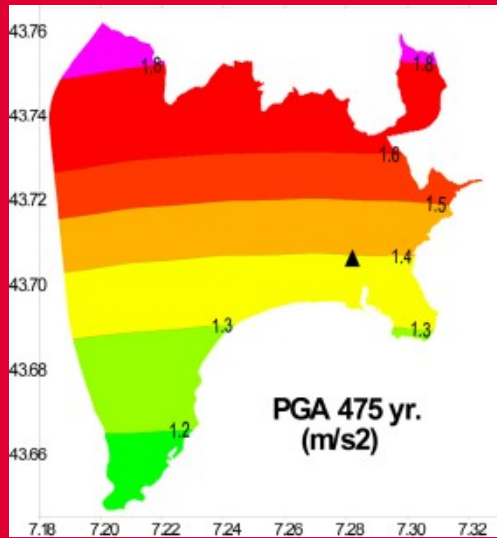
---

# **PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE**

**Mardi 27 mars 2012**  
**Lundi 2 et mardi 3 avril 2012**

CETE Méditerranée, Aix-en-Provence





**Journées techniques**  
organisées avec l'appui du Sétra  
et sous l'égide de la CoTITA

## **PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE**

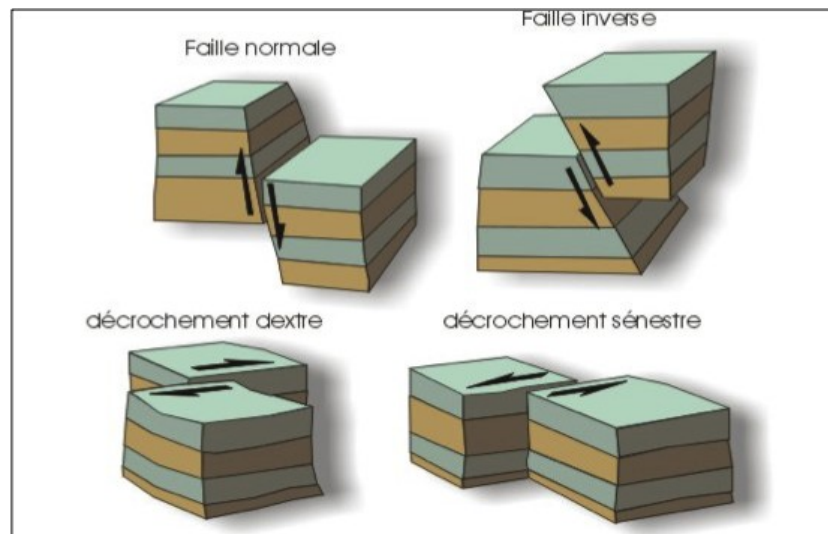
# **Définition et représentation de l'aléa sismique**

Etienne BERTRAND  
CETE Méditerranée



# Introduction

- Définition du séisme



Un **séisme** est un mouvement naturel du sol qui débute brusquement (rupture brutale) et dure peu (quelques secondes à quelques minutes).

Les séismes tectoniques sont liés au rejeu d'une faille pré-existante ou à la création d'une nouvelle faille.

Ils se produisent essentiellement aux frontières des plaques lithosphériques.

On distingue 3 mouvements de faille principaux : faille normale, faille inverse et faille de décrochement.

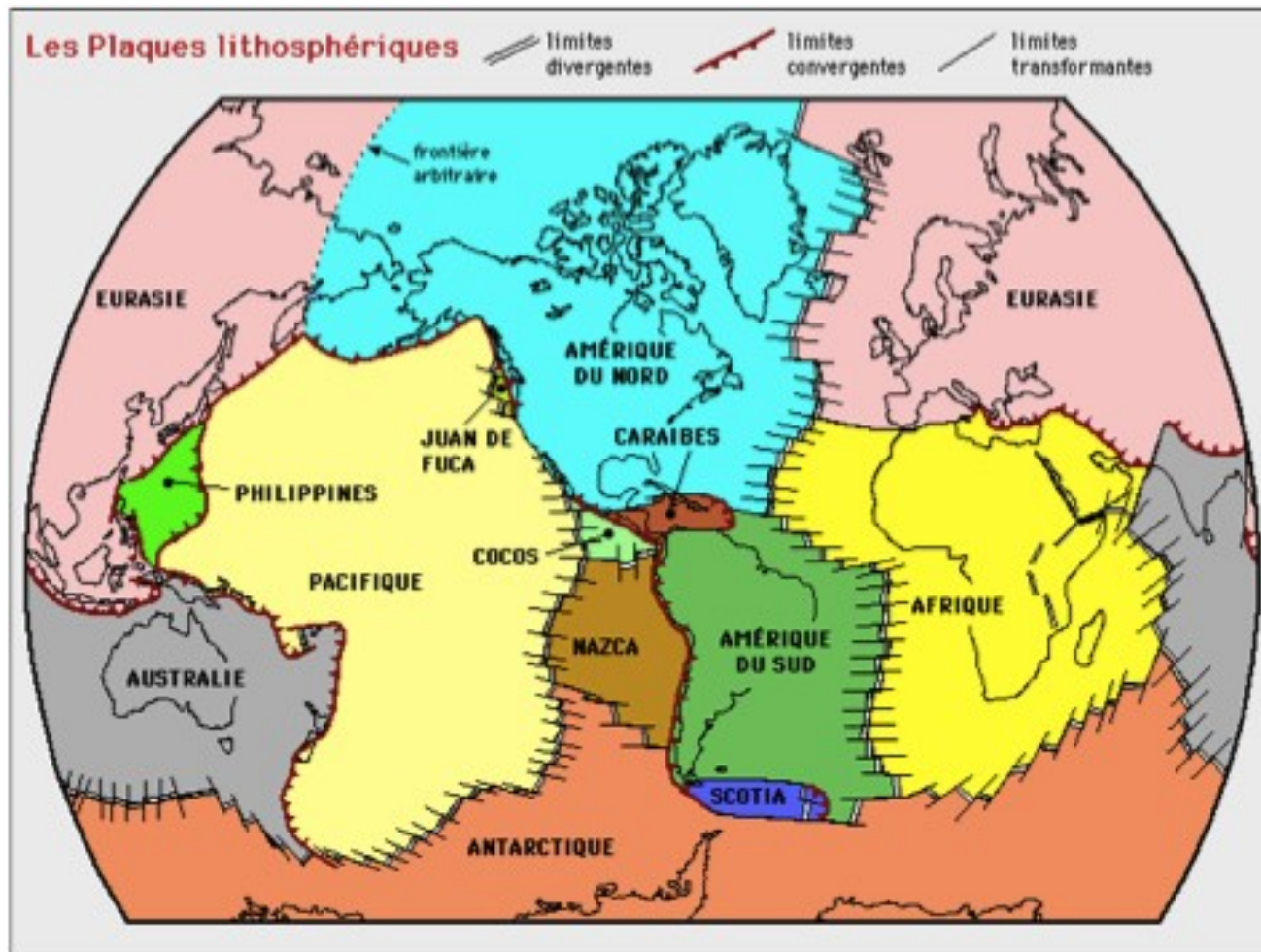
Un séisme est pratiquement toujours suivi d'une série de séismes moins forts que l'on appelle des **répliques**.

Parfois, un gros séisme peut être précédé par des séismes moins importants quelques heures voire quelques jours avant. On parle alors de **précurseur**.



# Introduction

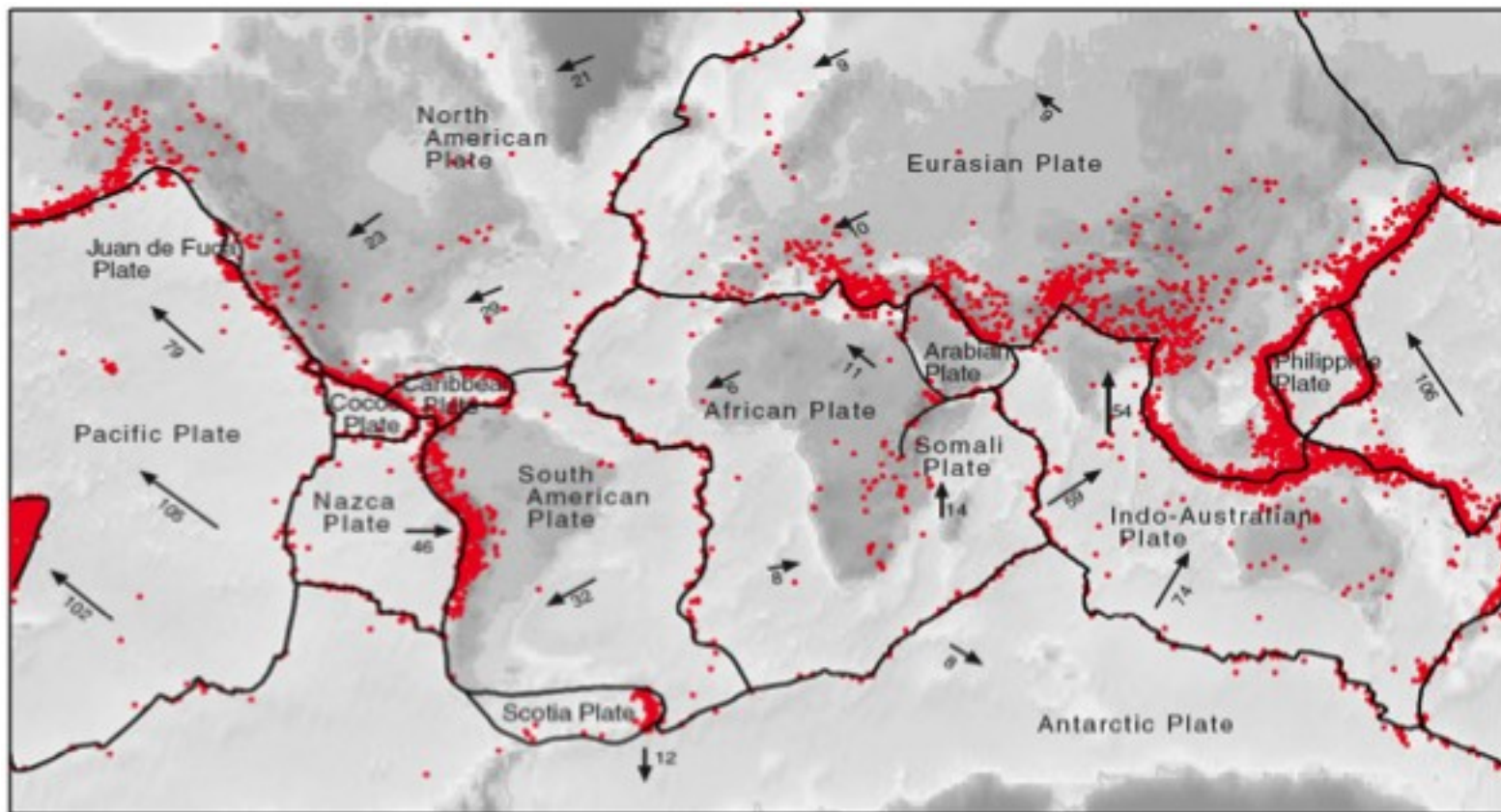
- Tectonique des plaques : le moteur des séismes tectoniques



# Introduction

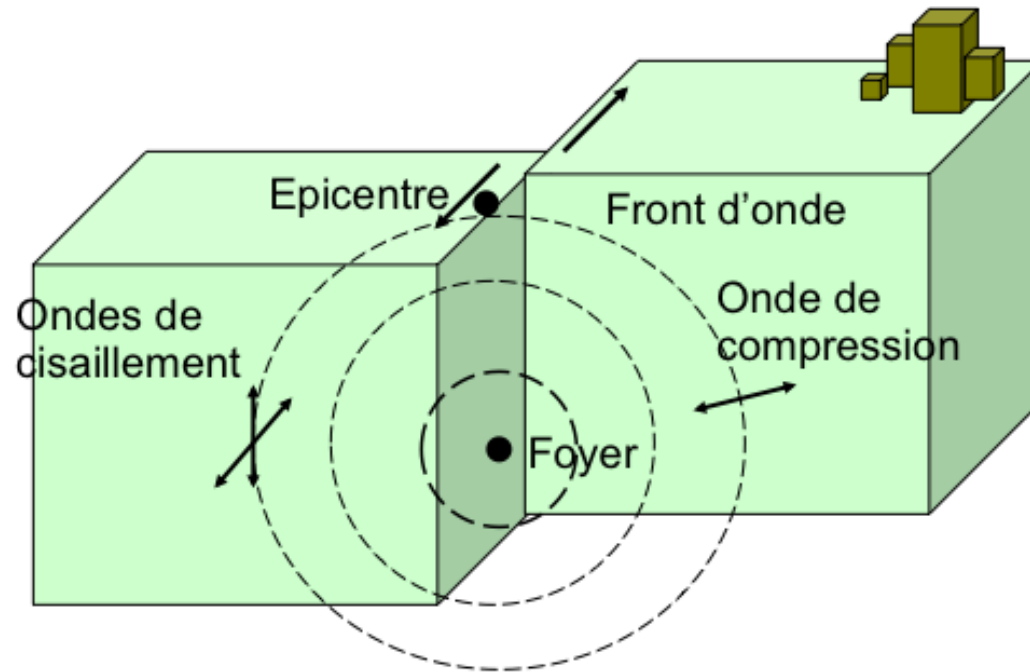
- Tectonique des plaques : le moteur des séismes tectoniques

La théorie de la tectonique des plaques décrit de façon cohérente les différentes zones sismiques observées



# Introduction

- Un séisme correspond à :



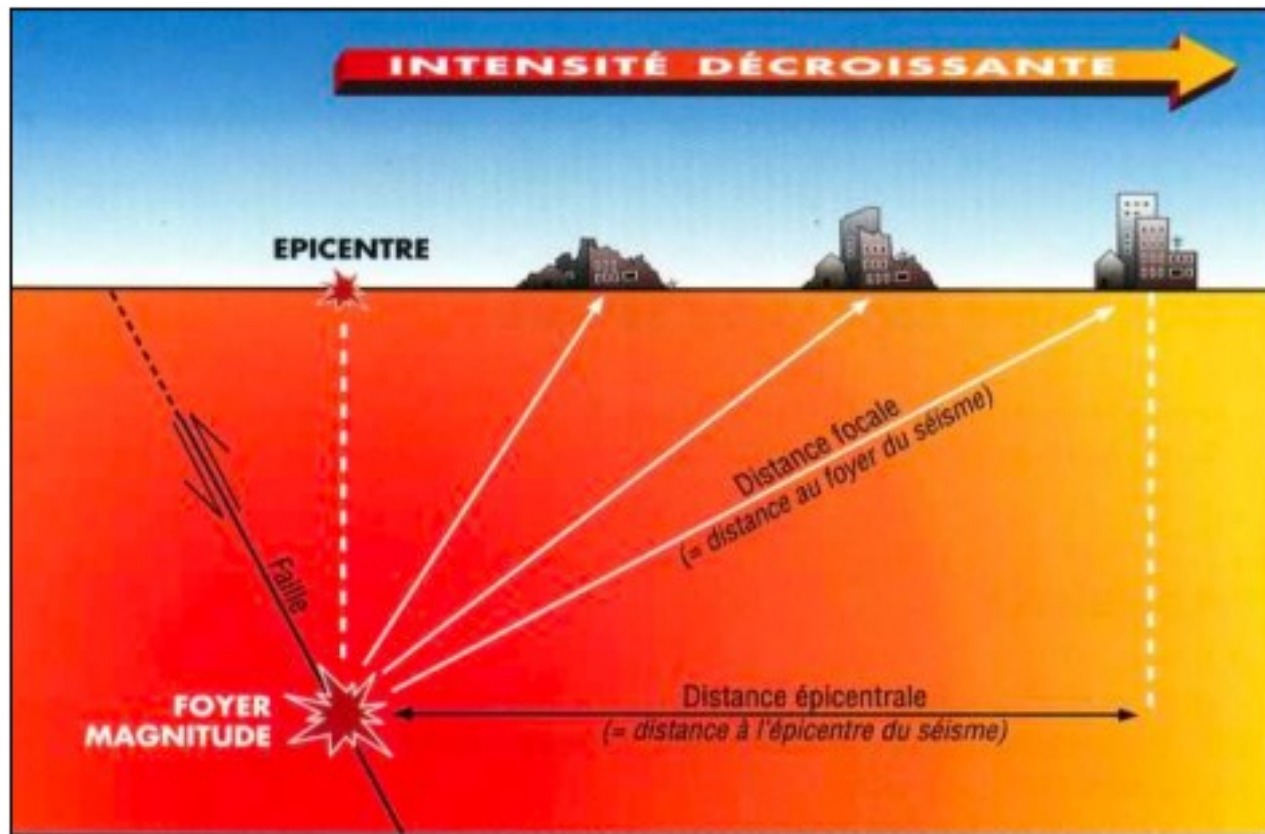
**Une fracturation des roches en profondeur**  
Quand les contraintes au sein des roches > résistance au cisaillement

**Une libération soudaine d'énergie :**  
**Propagation d'ondes sismiques (ondes élastiques)**  
**Vibration en surface**



# Magnitude et Intensité

- Des paramètres à ne pas confondre :

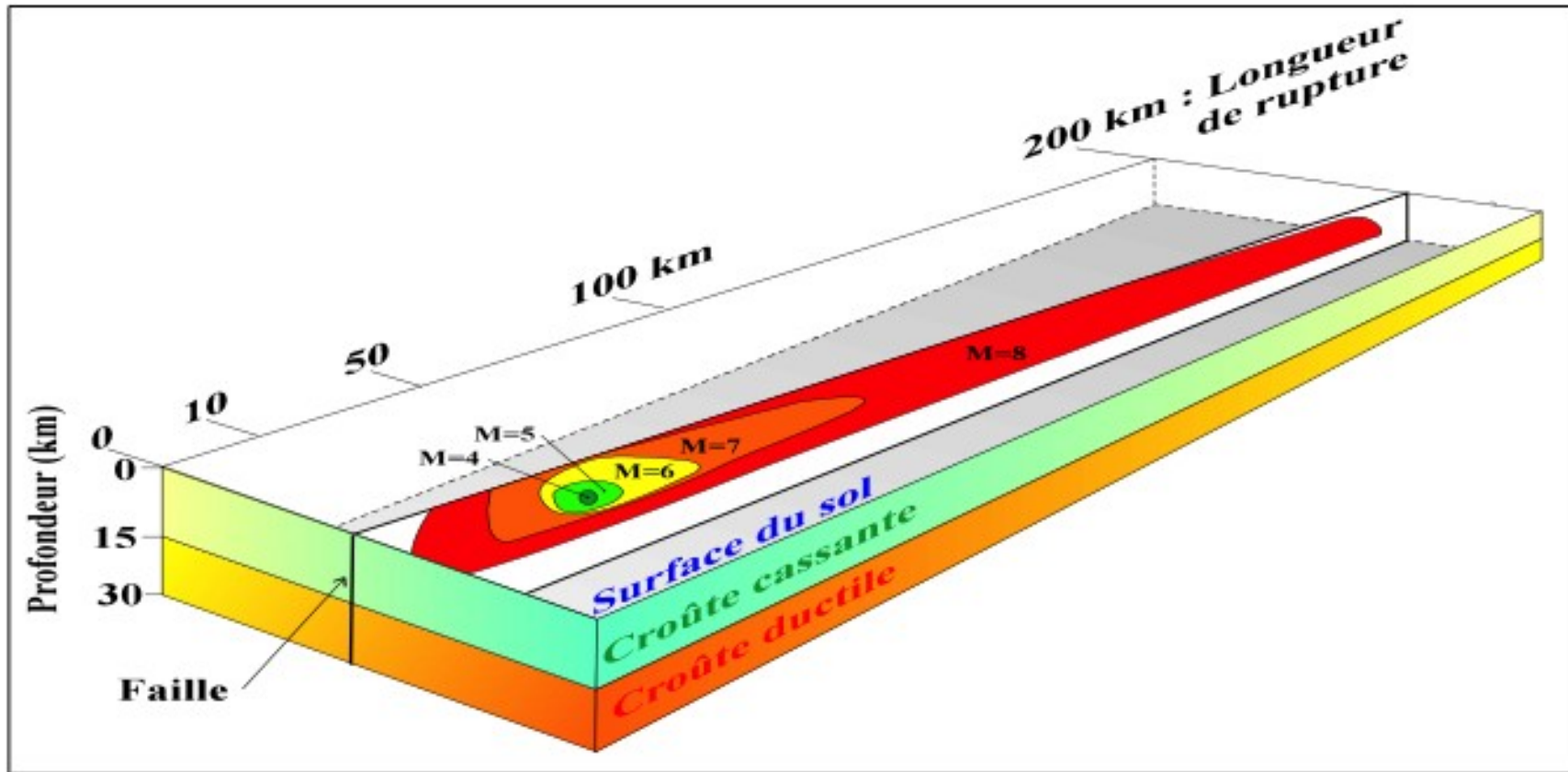


**Magnitude : énergie libérée au point de rupture**

**Intensité : effets ressentis ou observés en surface en un lieu donné**

# Magnitude et Intensité

- Magnitude : relation avec la taille de la faille





# Magnitude et Intensité

- Magnitude : c'est une échelle continue (exple : Richter)

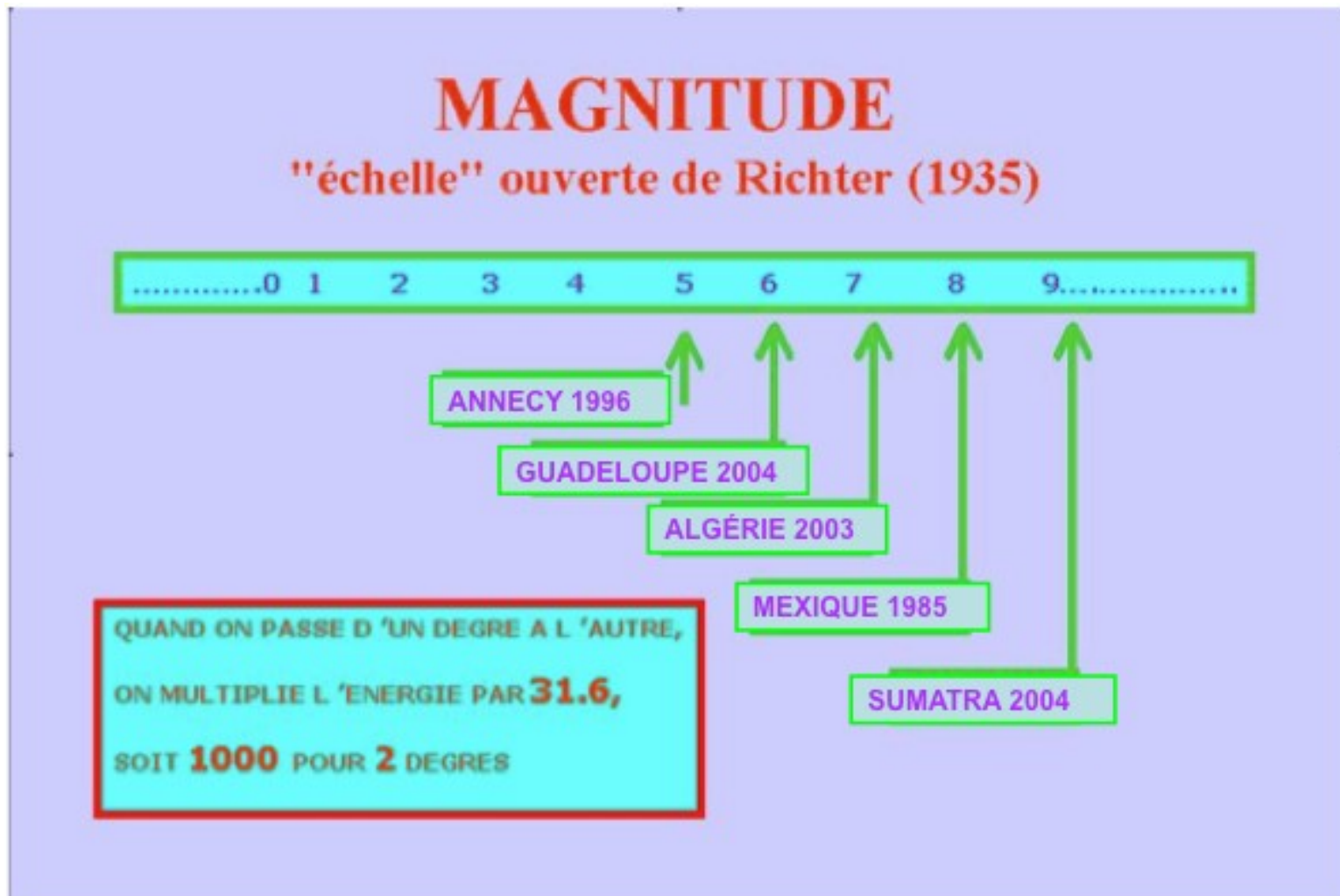
Magnitude	Nbre de séismes par an	Energie libérée	Durée de la rupture	Glissement moyen	Longueur de glissement
9			250 s	8 m	800 km
8	1		85 s	5 m	250 km
7	18		15 s	1 m	50 km
6	125	E x 900	3 s	20 cm	10 km
5	1500	E x 30	1 s	5 cm	3 km
4	5000	E	0,3 s	2 cm	1 km
3		E / 30			
2		E / 900			
1					

**Magnitude : énergie libérée au point de rupture**

**Intensité : effets ressentis ou observés en surface en un lieu donné**

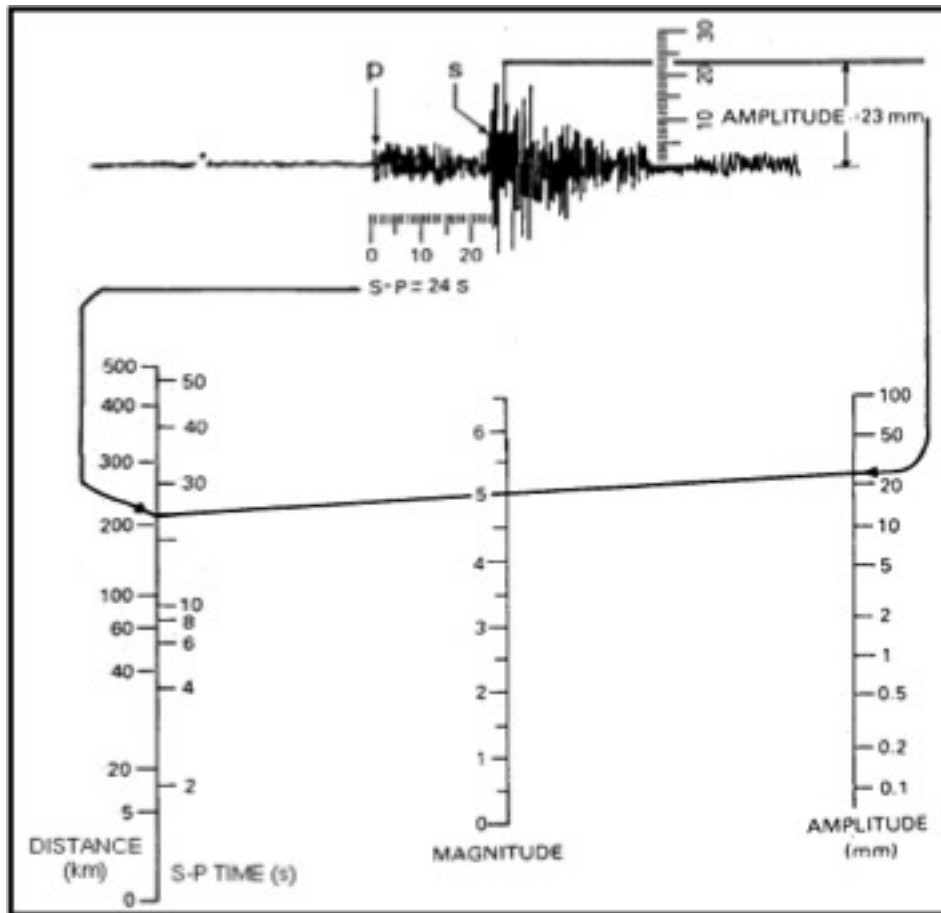
# Magnitude et Intensité

- Magnitude : échelle logarithmique



# Magnitude et Intensité

- Estimation de la magnitude :



A partir d'un sismogramme

Richter (1935) établit une relation empirique entre la distance entre l'épicentre et le point de mesure et l'amplitude maximale relevée sur le sismogramme.

# Magnitude et Intensité

- Intensité : une échelle discontinue (exemples : MSK, EMS98)

<b>I</b>	<b>Secousse non perceptible</b>
<b>II</b>	<b>Secousse à peine perceptible</b>
<b>III</b>	<b>Secousse ressentie de façon partielle</b>
<b>IV</b>	<b>Secousse largement ressentie</b>
<b>V</b>	<b>Réveil des dormeurs</b>
<b>VI</b>	<b>Frayeur</b>
<b>VII</b>	<b>Dommmages aux constructions</b>
<b>VIII</b>	<b>Destructions de bâtiments</b>
<b>IX</b>	<b>Dommmages généralisés aux constructions</b>
<b>X</b>	<b>Destruction générale des bâtiments</b>
<b>XI</b>	<b>Catastrophe</b>
<b>XII</b>	<b>Changement de paysage</b>

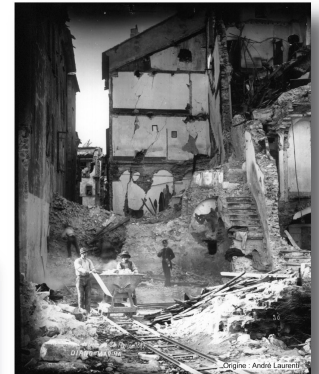
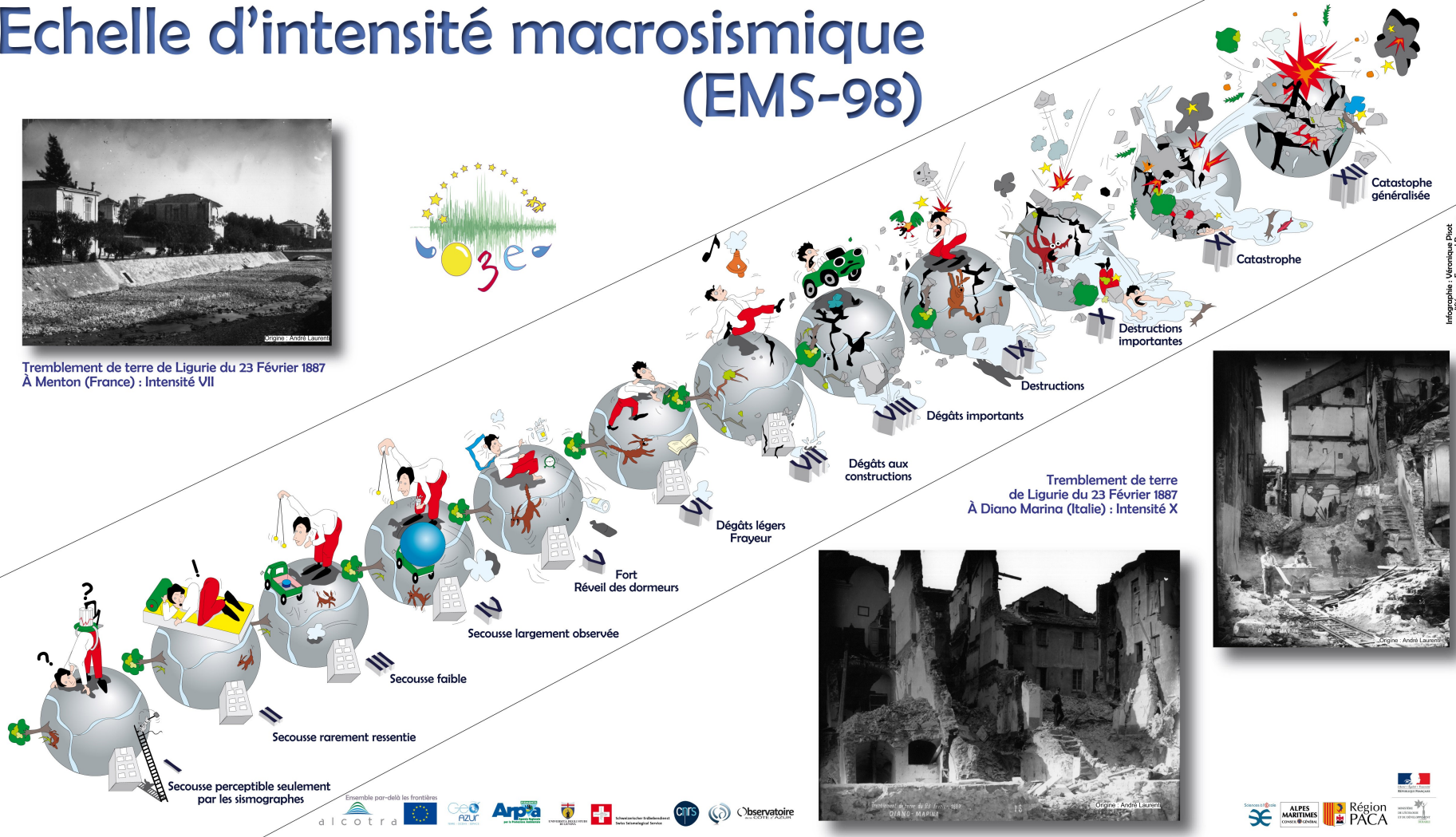


# Magnitude et Intensité

## Echelle d'intensité macrosismique (EMS-98)



Tremblement de terre de Ligurie du 23 Février 1887  
À Menton (France) : Intensité VII



Tremblement de terre de Ligurie du 23 Février 1887  
À Diano Marina (Italie) : Intensité X



Infographie: Véronique Poch, Institut des Sciences de l'Environnement de Bordeaux



Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement



# Magnitude et Intensité

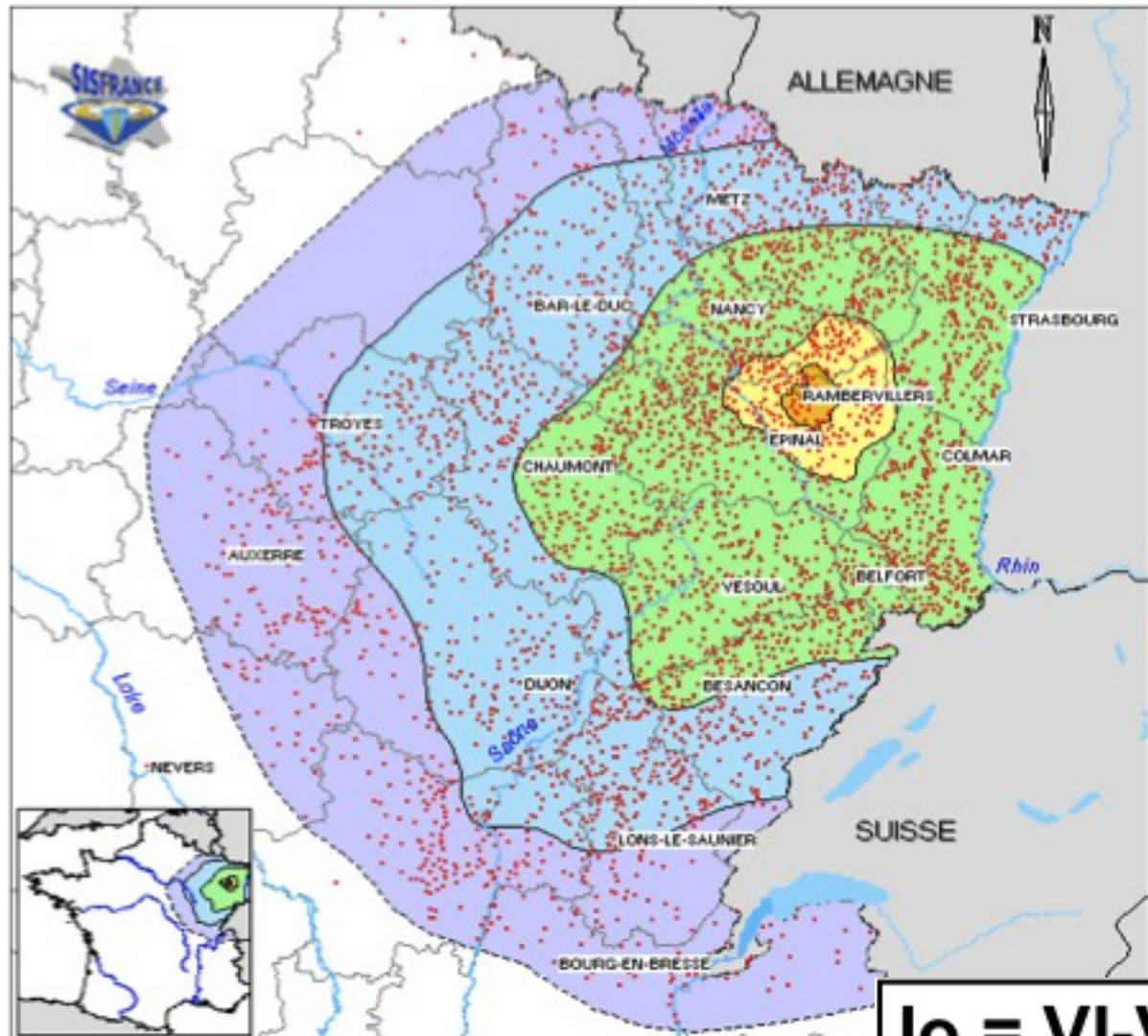
## Séisme du 22 février 2003

### Isoséistes et domaines d'intensité

Propagation des effets du séisme  
(isoséistes figuratives, non contractuelles)

Degré d'intensité (échelle macrosismique MSK)

- 2 et 2.5 : très faible (rares personnes)
- 3 et 3.5 : modérée (quelques personnes)
- 4 et 4.5 : assez forte (grand nombre)
- 5 et 5.5 : forte (majorité)
- 6 et 6.5 : dommages légers
- 7 et 7.5 : dommages prononcés
- 8 et 8.5 : dégâts massifs
- 9 et 9.5 : destructions nombreuses
- Localité associée au séisme



**Io = VI-VII**

# Magnitude et Intensité

---

- Des paramètres à ne pas confondre :

## Magnitude

Mesure l'énergie au point de rupture

Relative à la taille de la source sismique

Ne change pas quand on s'éloigne de l'épicentre

## Intensité macrosismique

Définie par l'importance des effets à un endroit donné

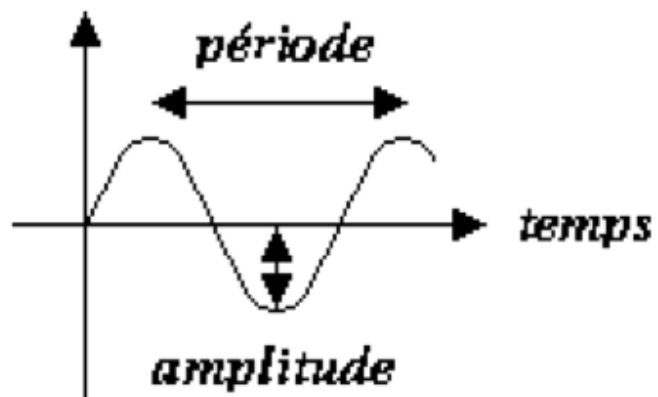
Dépend de la distance à l'épicentre : elle diminue quand on s'éloigne.



# Mouvement sismique

- Mouvement sismique en surface : mouvement vibratoire

déplacement



**Période et amplitude décrivent le mouvement ondulatoire**

Le mouvement est décrit en termes de déplacement (en m) ou vitesse (en m/s) ou accélération (en m/s<sup>2</sup> ou g)

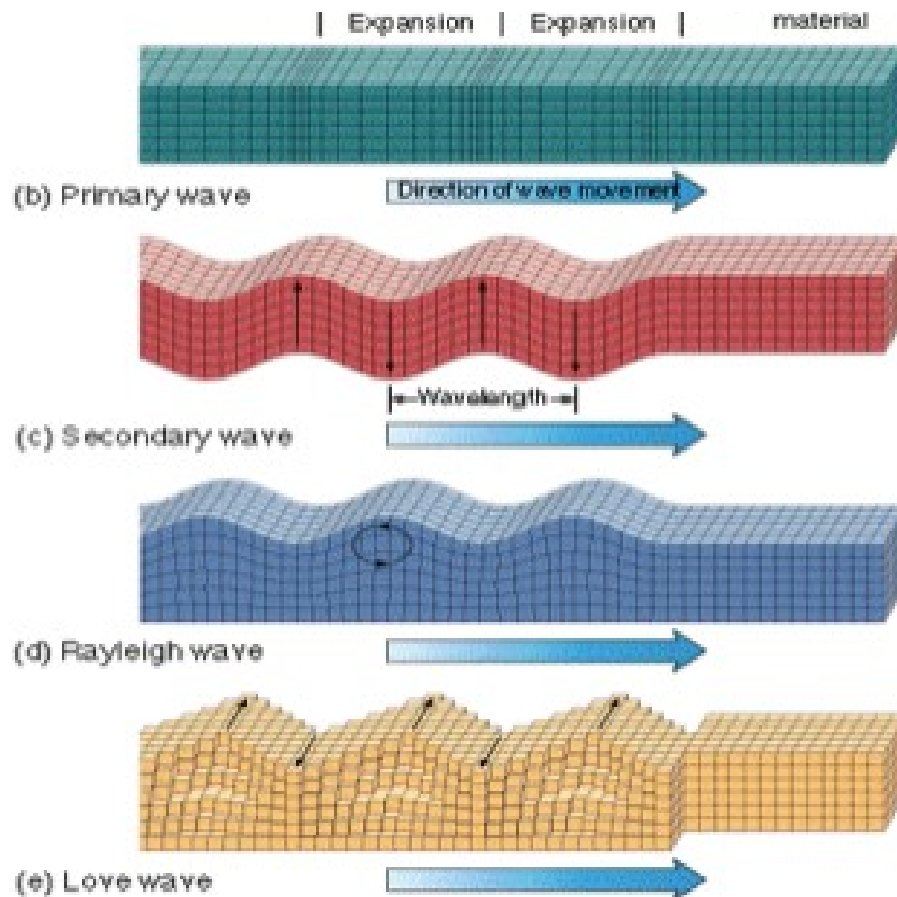
$$F = 1/T$$





# Mouvement sismique

- Les différentes ondes sismiques



## Onde de volume

(courte période : 1s)

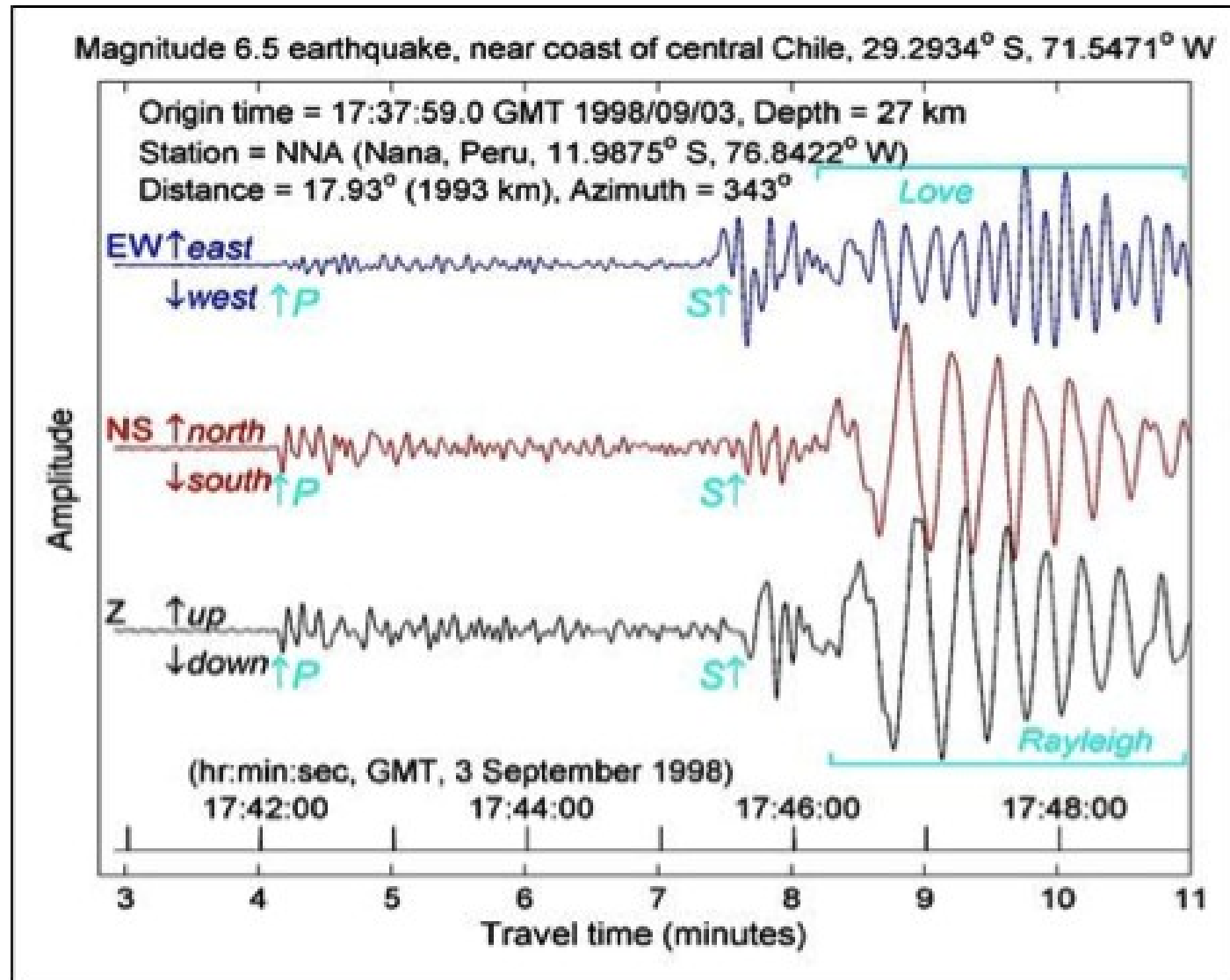
Onde P : la plus rapide à se propager. Onde de compression.  
Onde S : plus lente. Onde de cisaillement.

## Onde de surface

(longue période : 20 s)

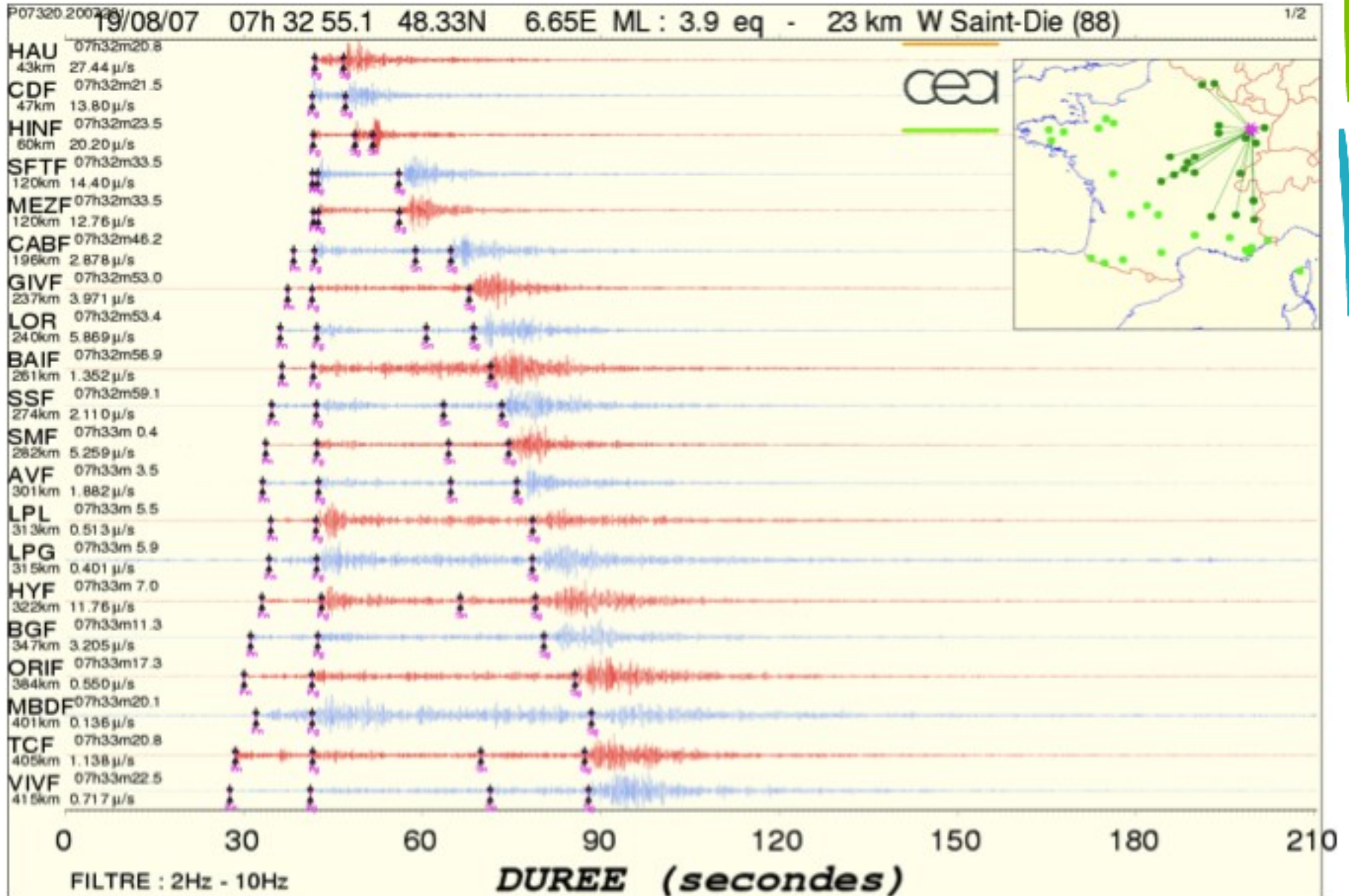


# Mouvement sismique



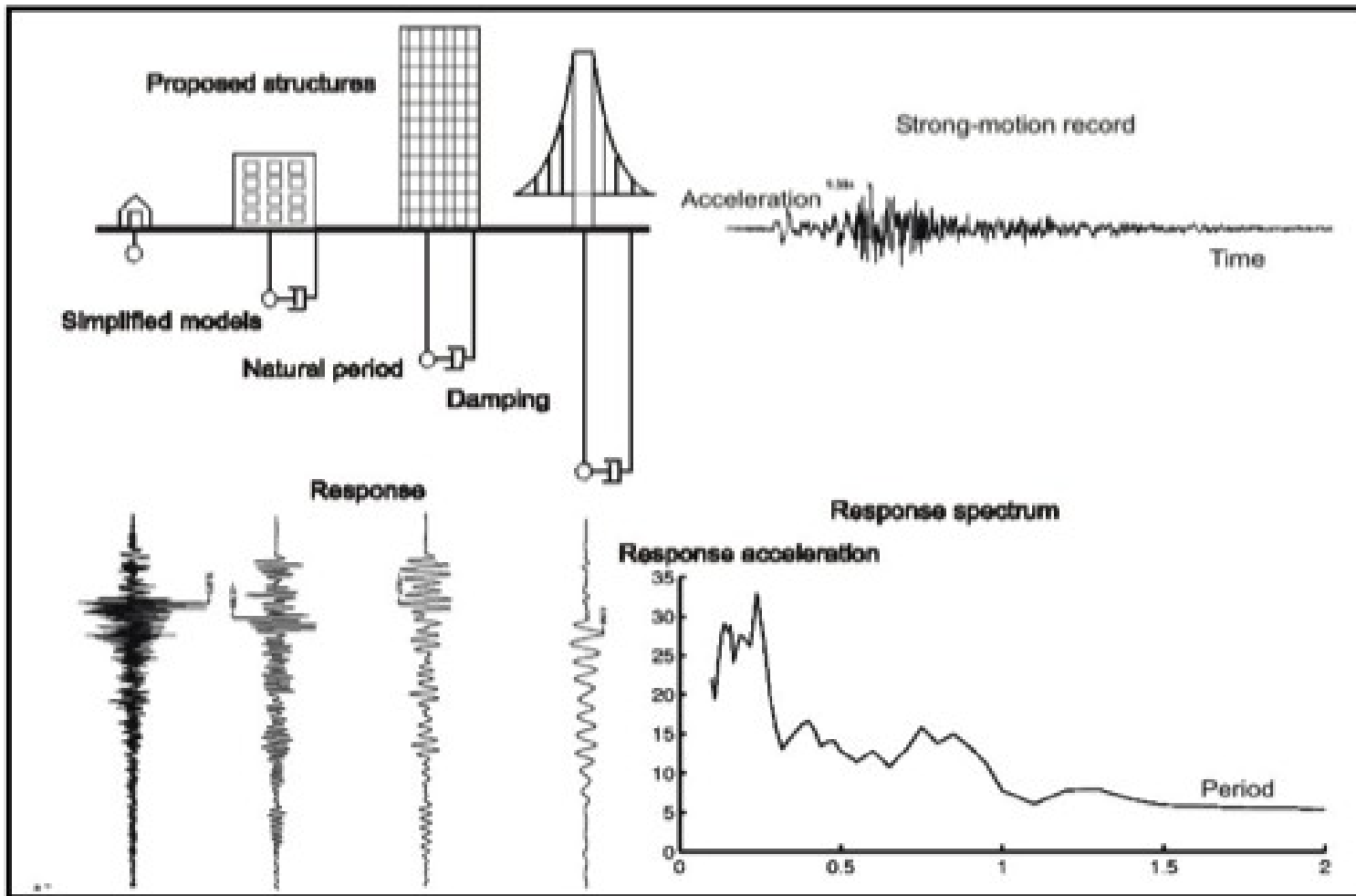
Source : Université de Purdue, Indiana

# Mouvement sismique



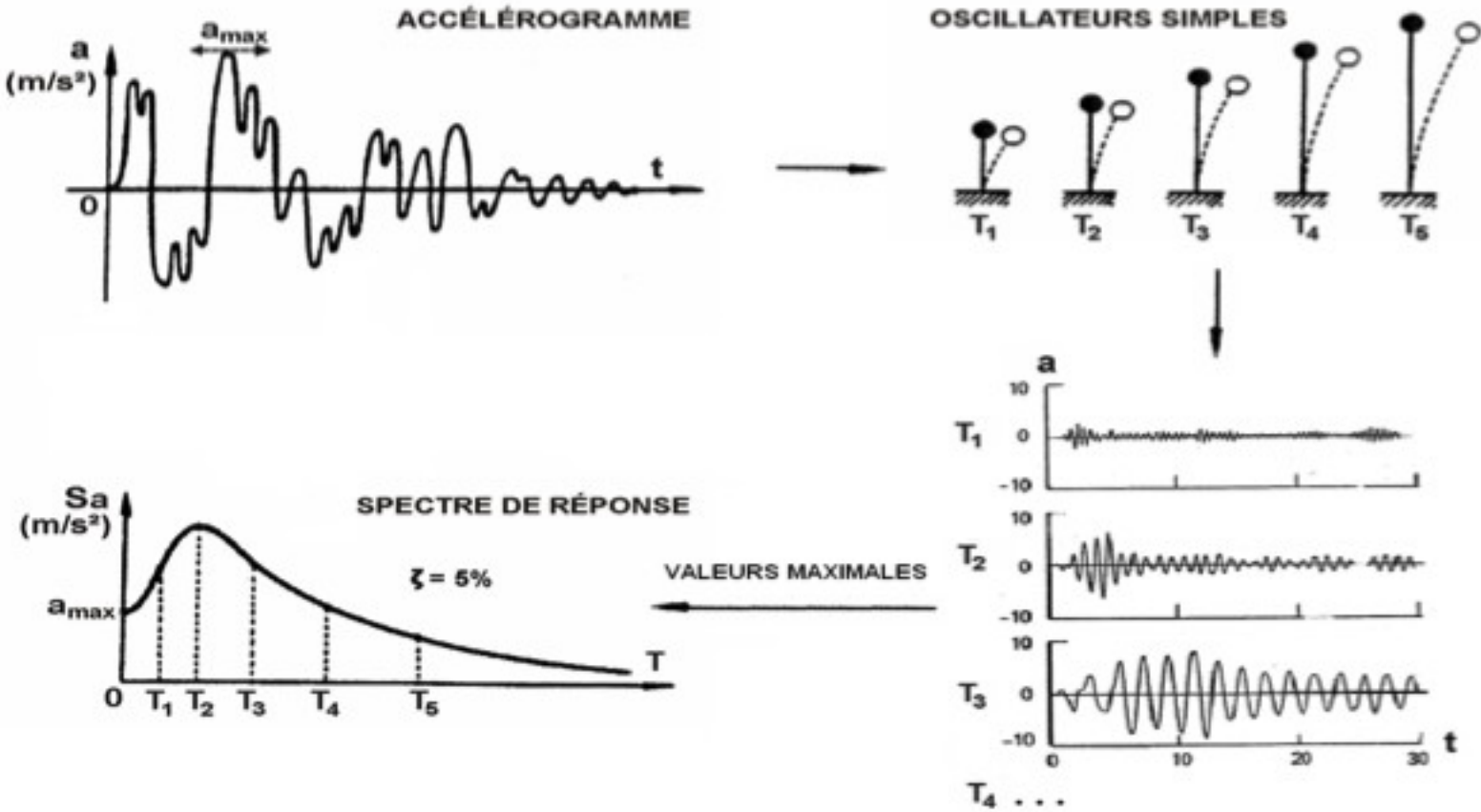
# Mouvement sismique

- Spectre de réponse élastique



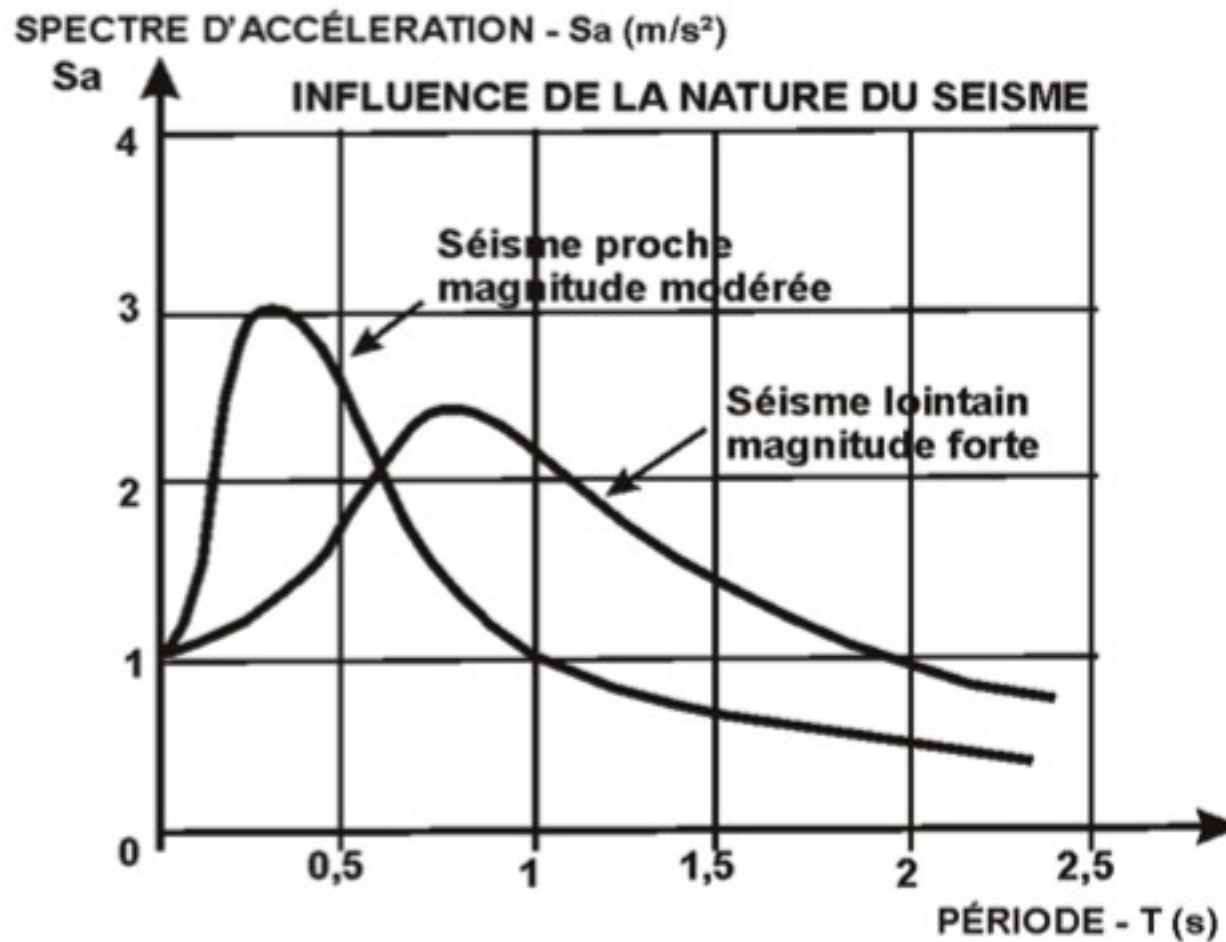
# Mouvement sismique

- Spectre de réponse élastique



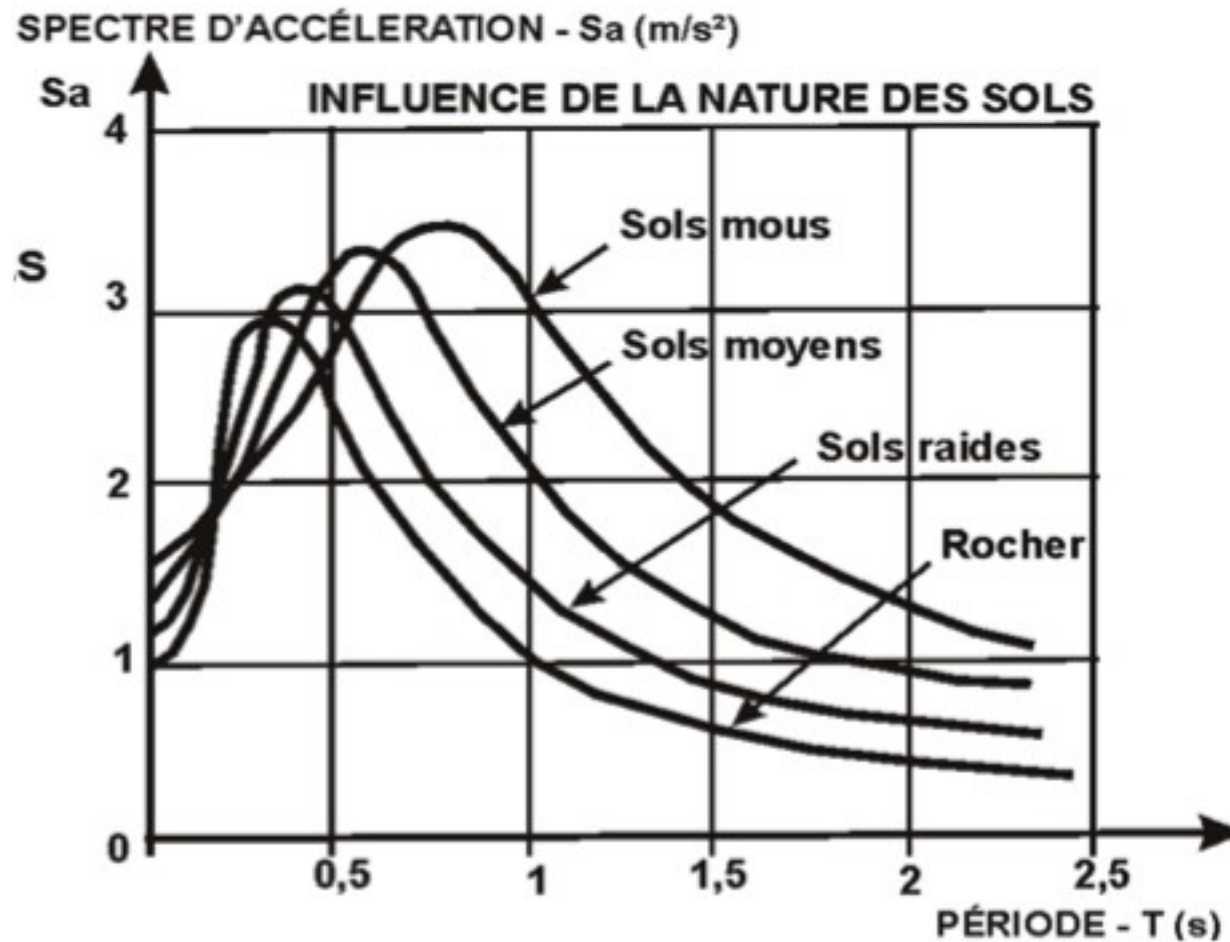
# Mouvement sismique

- Spectre de réponse élastique : dépend de la nature du séisme



# Mouvement sismique

- Spectre de réponse élastique : dépend de la nature du sol



# Mouvement sismique : effets de site

## MEXICO - M 8,1 - 1985

BÂTIMENTS DE 10 A 30 ÉTAGES  
BEAUCOUP DE DESTRUCTIONS

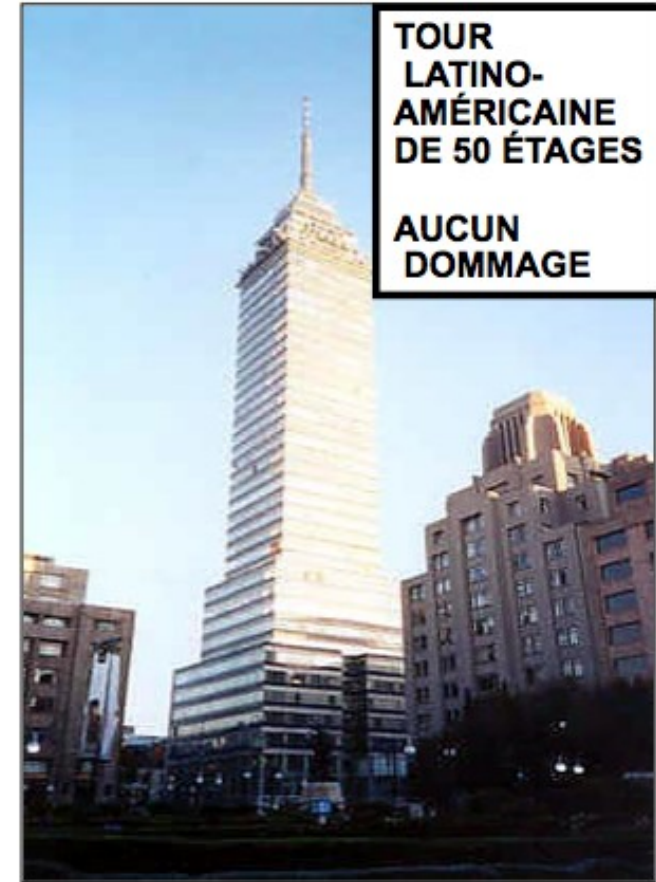
BÂTIMENTS  
DE STYLE  
COLONIAL  
PEU ÉLEVÉS

PEU DE DÉGÂTS



TOUR  
LATINO-AMÉRICAINNE  
DE 50 ÉTAGES

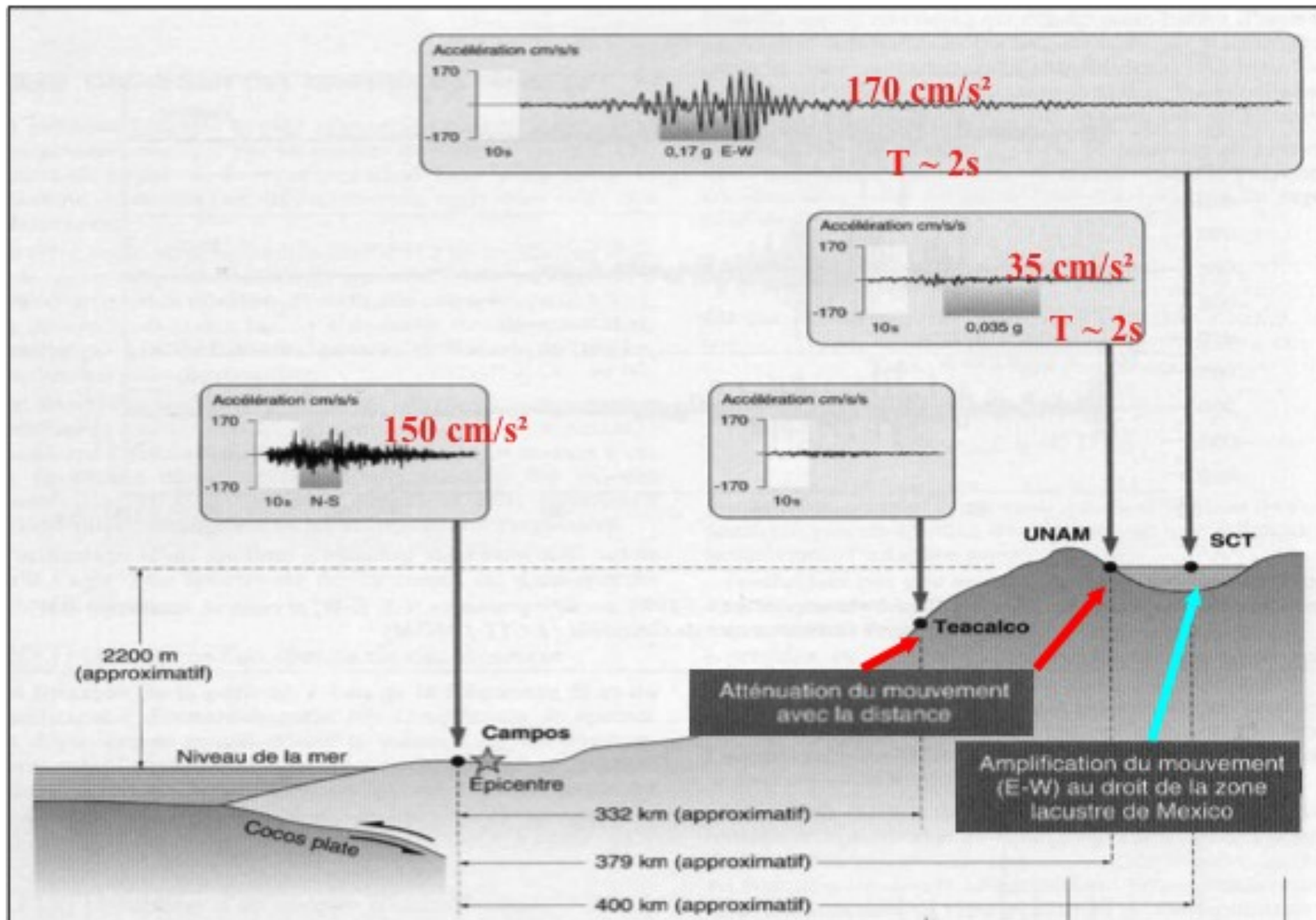
AUCUN  
DOMMAGE



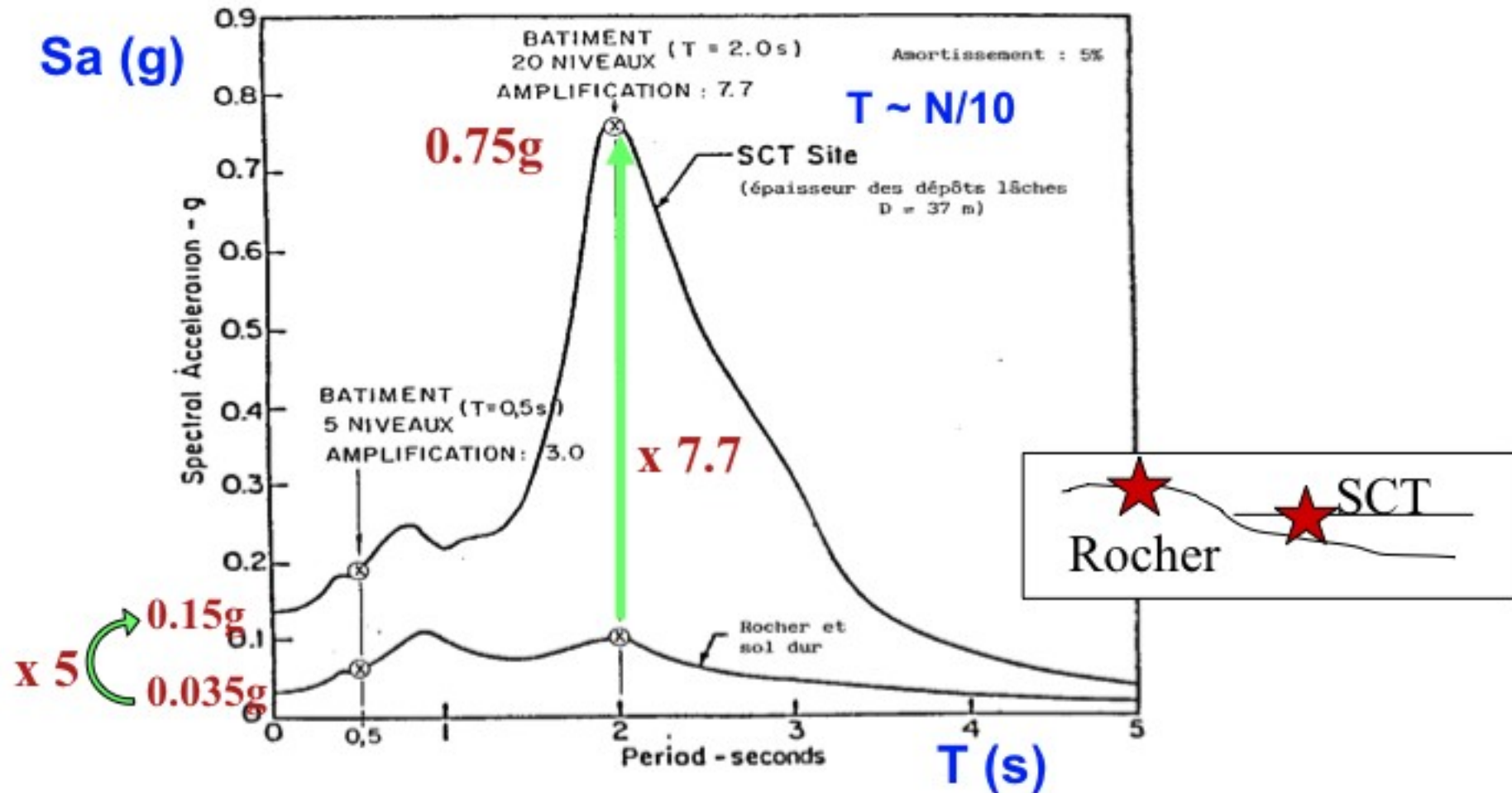
TYPES DE CONSTRUCTION VULNÉRABLES  
PRÉSENCE DE VASE SUR DES ÉPAISSEURS IMPORTANTES  
(autour de 50m)



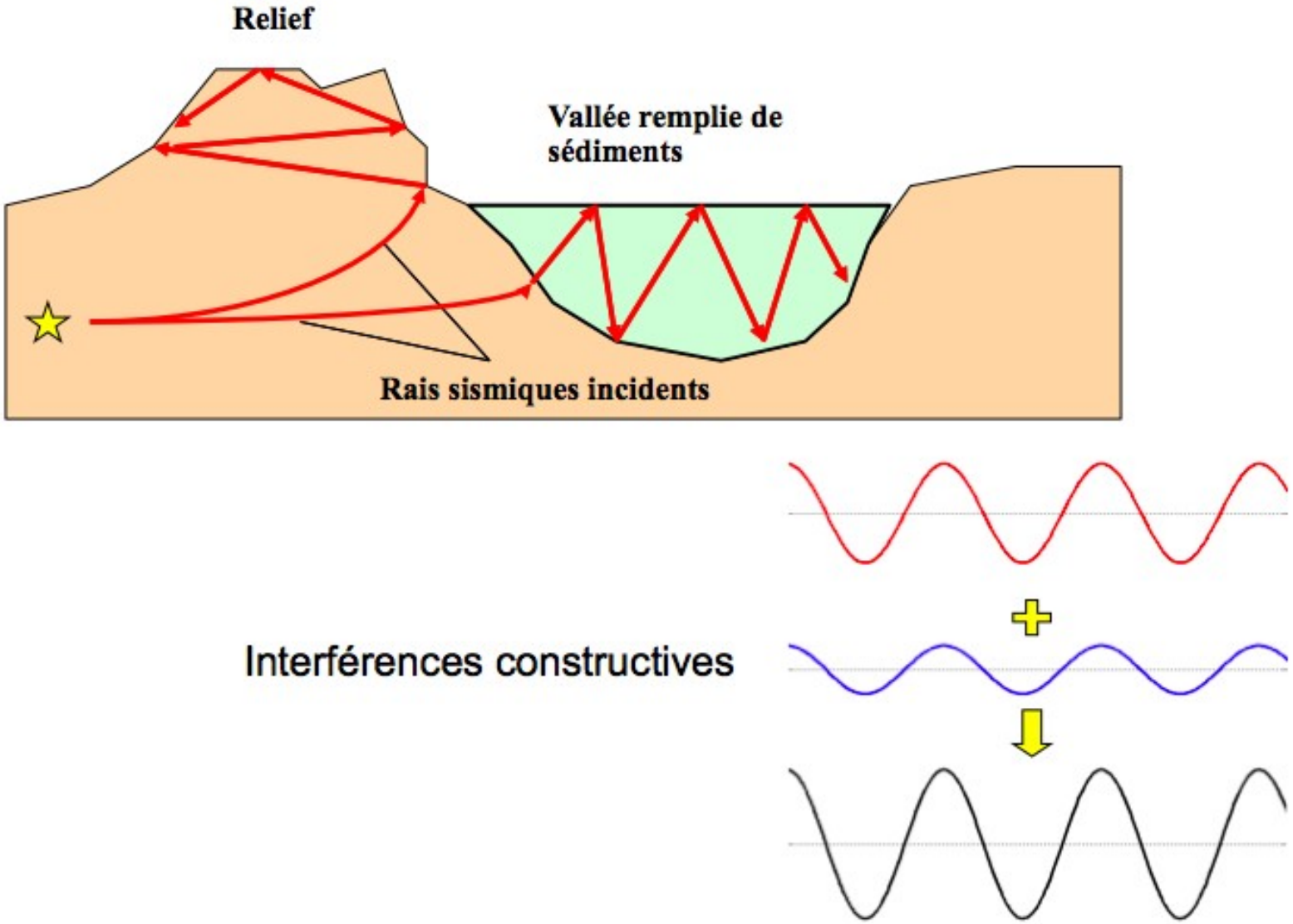
# Mouvement sismique : effets de site



# Mouvement sismique : effets de site

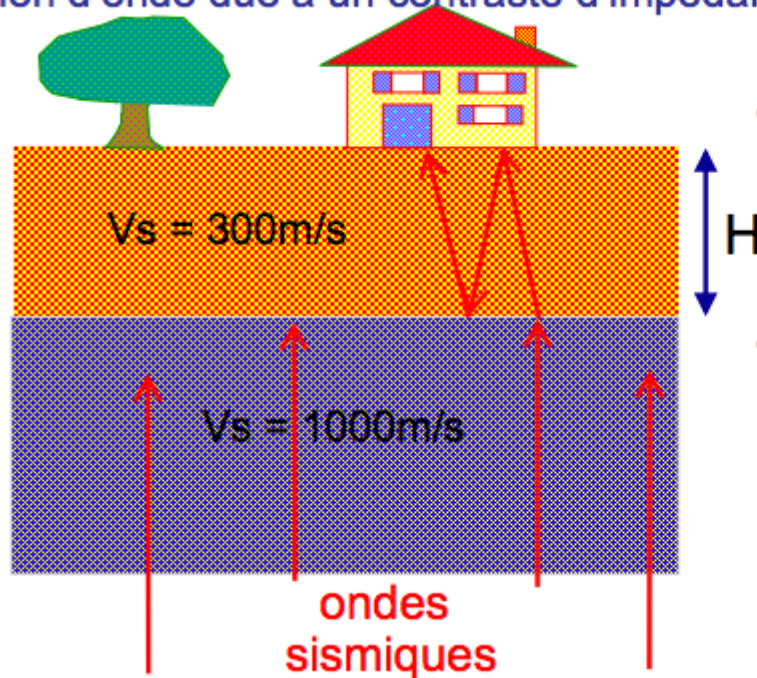


# Mouvement sismique : effets de site



# Mouvement sismique : effets de site

## Amplification d'onde due à un contraste d'impédance acoustique



- Ordre de grandeur de la fréquence de résonance du site  
 $F_o = V_s / 4H$
- Ordre de grandeur de la fréquence propre d'un bâtiment de N étages:  
 $F = 10 / N$

Raccourci n°1:

Si  $H = 75$  m et  $V_s = 300$  m/s alors  $F_o \approx 1$  Hertz, les constructions élevées sont « concernées »

Raccourci n°2:

Si  $H = 7$  m et  $V_s = 300$  m/s alors  $F_o \approx 10$  Hertz, les onstructions basses sont « concernées »

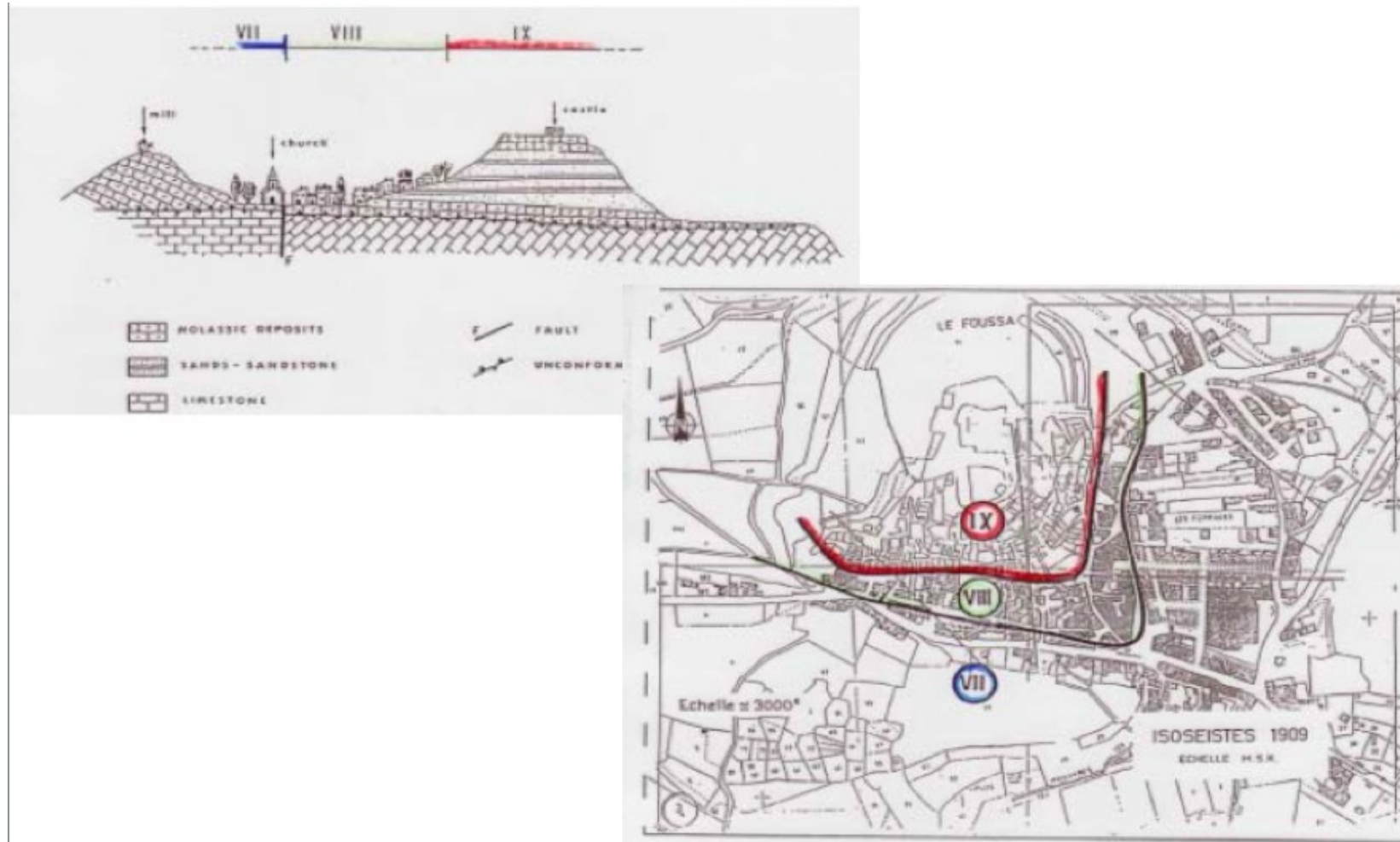
# Mouvement sismique : effets de site

Exemple d'effet de site topographique : Rognes 1909



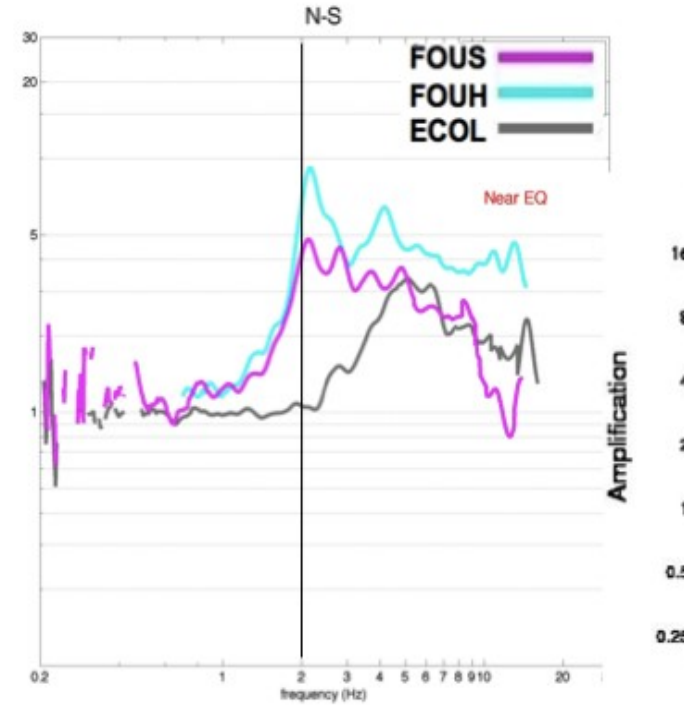
# Mouvement sismique : effets de site

Exemple d'effet de site topographique : Rognes 1909



# Mouvement sismique : effets de site

Exemple d'effet de site topographique : Rognes 1909



# Estimation de l'aléa

---

## 2 APPROCHES POSSIBLES

### -Déterministe

Quel est le mouvement du sol attendu pour un séisme de magnitude donnée dont l'épicentre est localisé à un endroit donné.

### -Probabiliste

Quelle est la probabilité d'avoir un certain mouvement du sol en un endroit donné sur une certaine période de temps.

Exemple : quelle est la probabilité d'avoir une accélération supérieure à  $0,16g$  sur 50 ans à Nice ? : 10% (ce qui correspond à une période de retour de 475 ans). Nouvelle réglementation.





## Estimation de l'aléa : déterministe



### Type 1644 :

Intensité épiscoptrale : VIII

Magnitude : 5,7

Profondeur : 10 km

Distance épiscoptrale : 15 km

### Type 1887 :

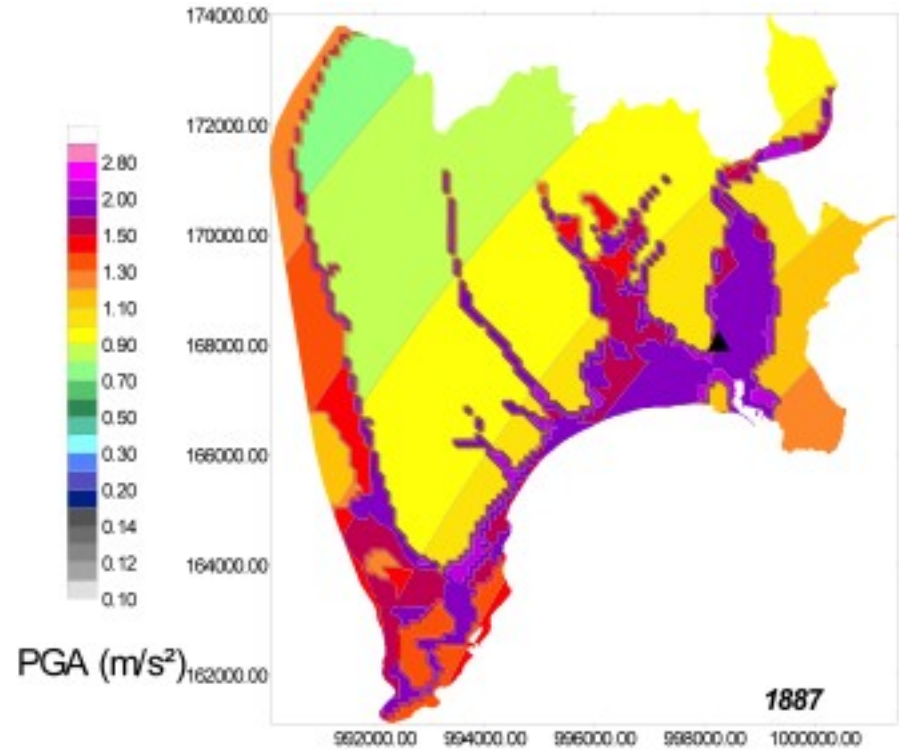
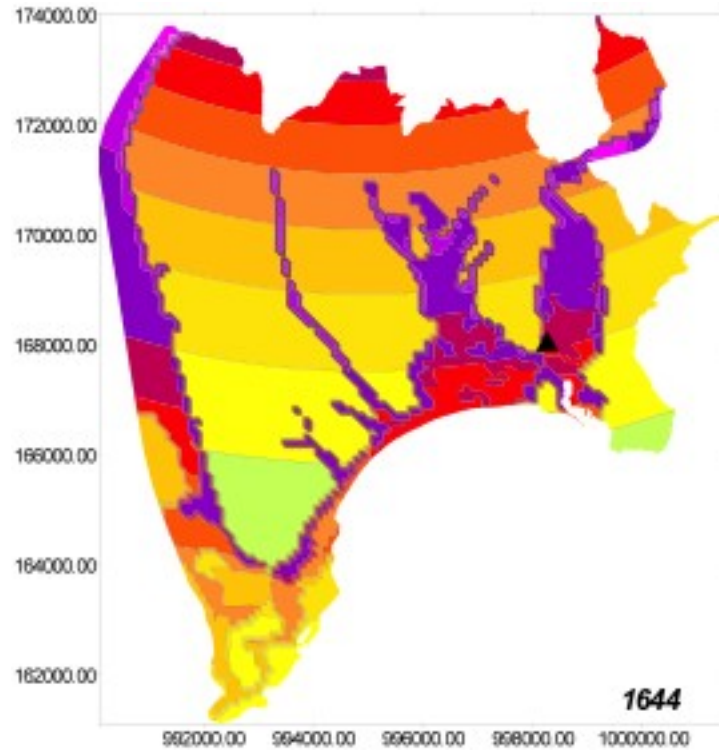
Intensité épiscoptrale : IX

Magnitude : 6,3

Profondeur : 8 km

Distance épiscoptrale : 28 km

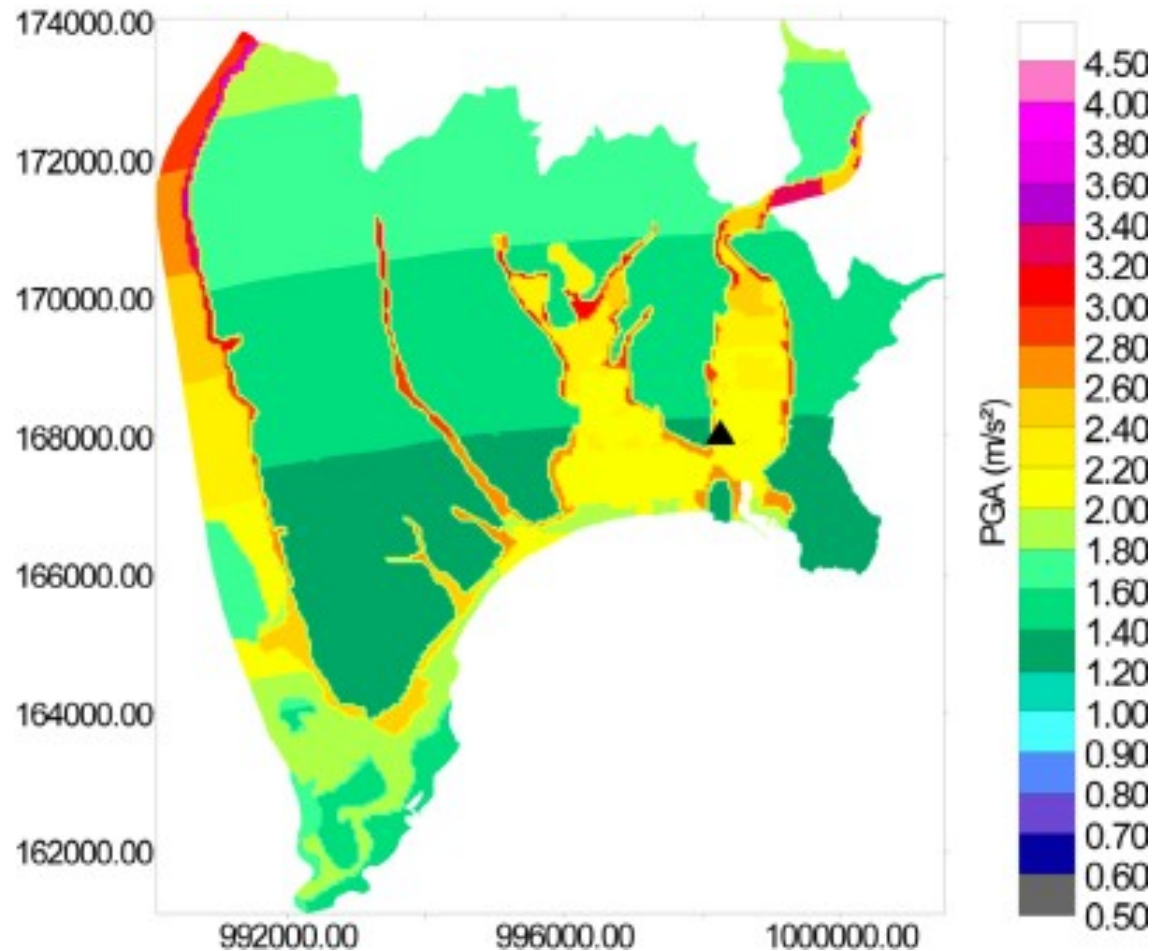
# Estimation de l'aléa : déterministe



PGA (m/s<sup>2</sup>)



## Estimation de l'aléa : probabiliste



**Période de retour de 475 ans = 10% de probabilité de dépassement de la valeur en 50 ans.**

# Spectres de réponses élastique

**Spectre de réponse spécifique :**

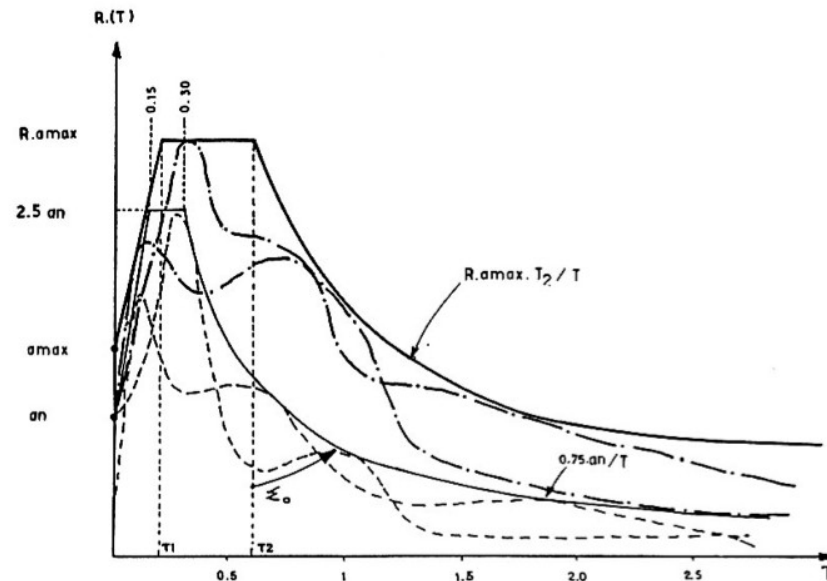
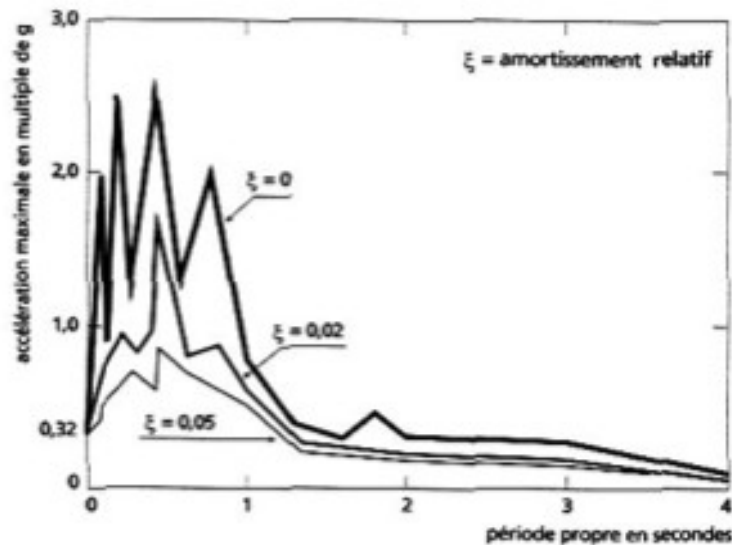
Correspond à un séisme particulier

Permet d'étudier les effets d'un séisme enregistré

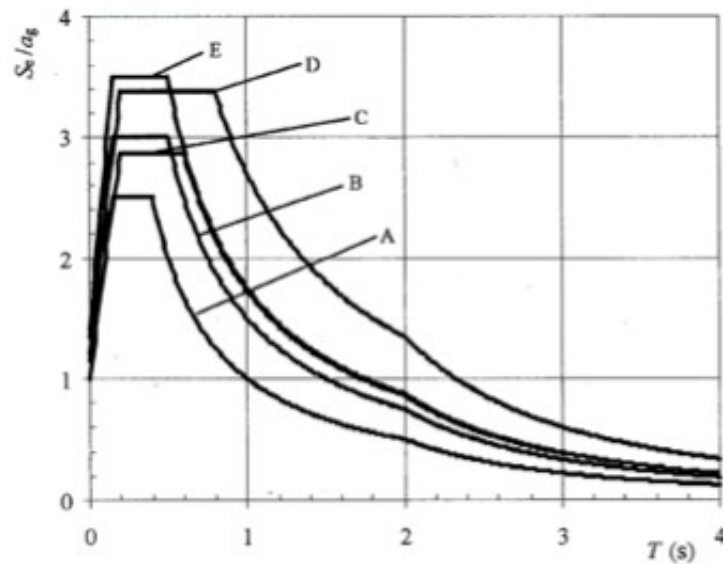
**Spectre de réponse lissé :**

Correspond à l'enveloppe de spectres réels

Donné par la réglementation

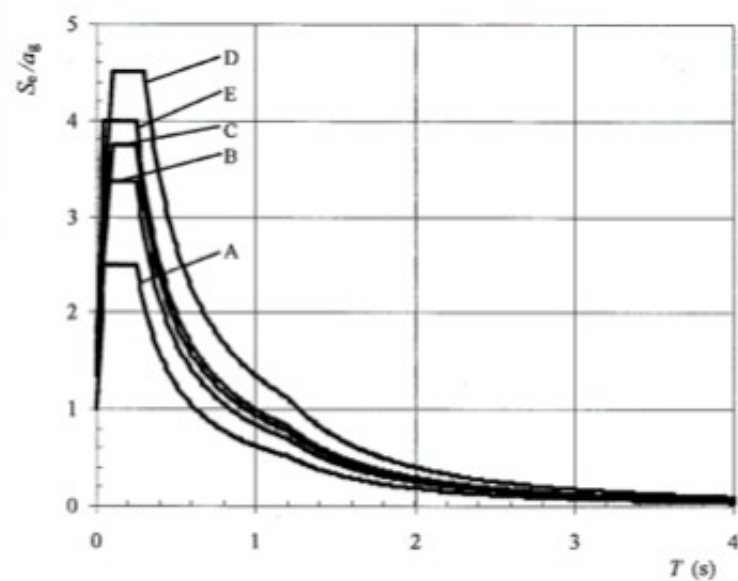


# Spectres de réponses élastique réglementaires



Spectres de réponse élastique de type 1 recommandés pour les sols de classes A à E (à 5 % d'amortissement)

Antilles



Spectres de réponse élastique de type 2 recommandés pour les sols de classes A à E (à 5 % d'amortissement)

Métropole

# Les PPR sismiques

- Les PPRS :

Les PPR remplacent les PER à partir de 1995



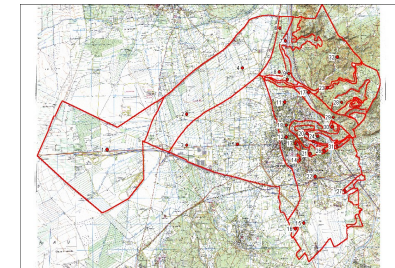
Les PPRS reposent sur la définition d'un microzonage sismique :

- du 25 000 ème au 5 000 ème selon la précision des études et des données disponibles (à minima carte géologique, à maxima modèle géotechnique 3D du sous-sol)
- croisement entre données géologiques, géotechniques, sismiques et sismologiques

Microzonage : définir des zones pour lesquelles le spectre de réponse élastique est homogène.

Au rocher : aléa régional, aléa règlementaire issu de la carte nationale

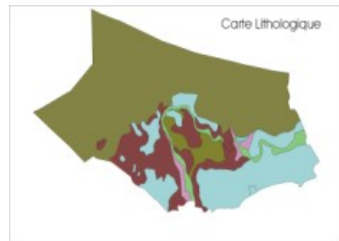
Sur sol mou : aléa local, prise en compte des effets de site lithologiques



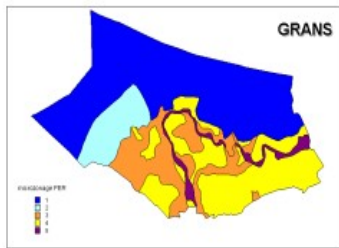
# Les PPR sismiques

- Les PPRS :

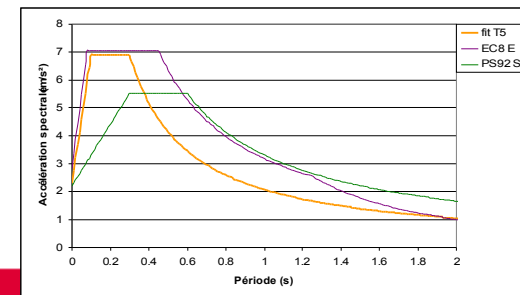
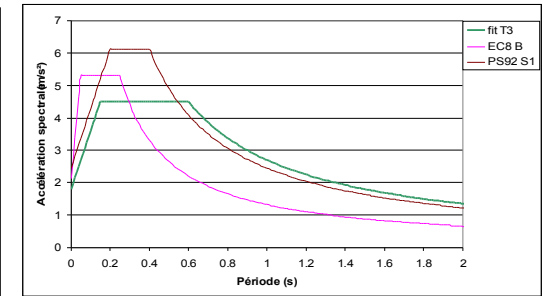
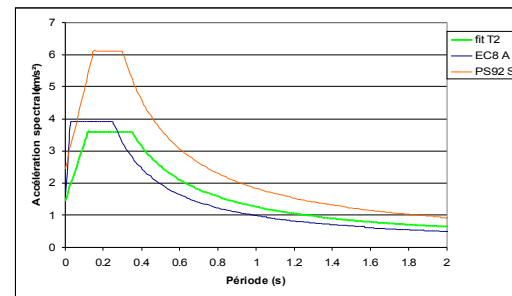
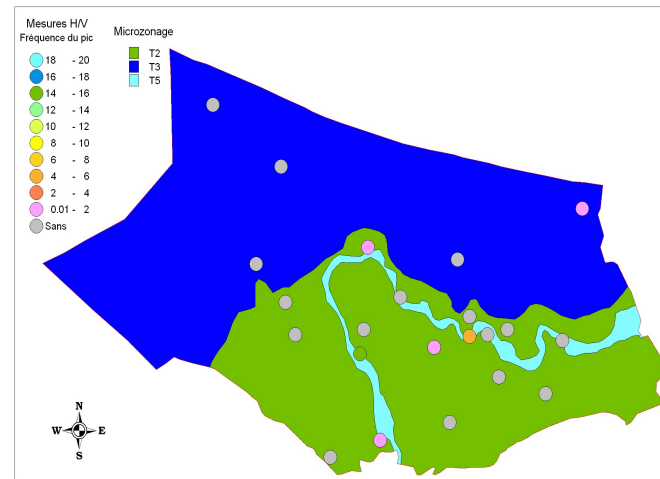
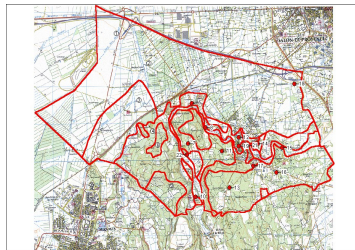
Carte lithologique au 1/10 000



Microzonage PER



Mesures BDF + données géotechniques  
+ modélisation



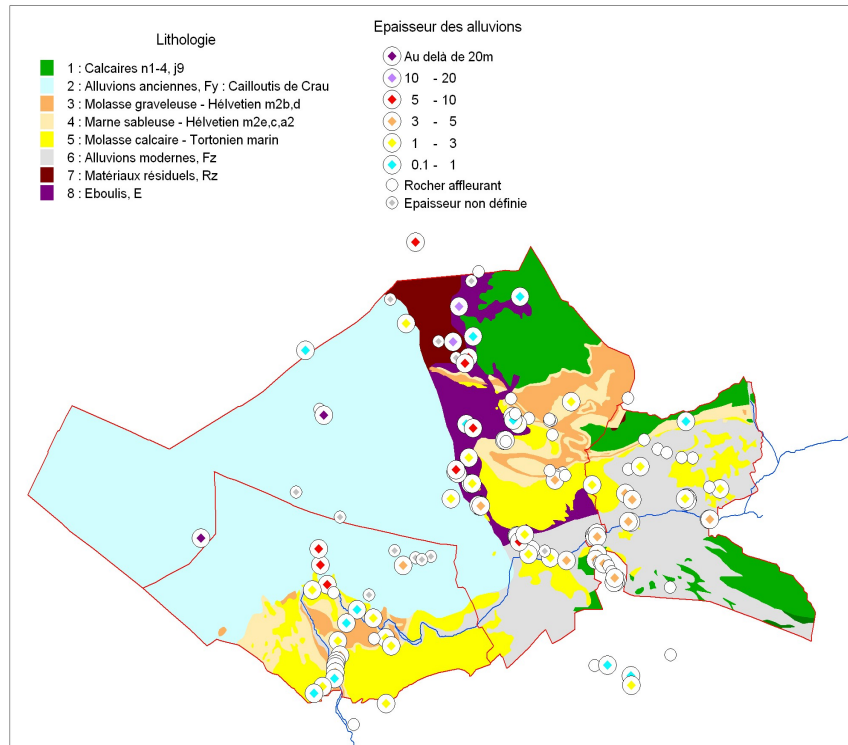
# Les PPR sismiques

## Nouveautés législatives et conséquences pratiques

- Quelles conséquences sur les PPRS déjà validés ?

Les points à vérifier :

- Forme des spectres de réponse
- Accélération d'ancrage des spectres (définition de l'aléa régional)
- Méthodologie utilisée
- Données d'entrée

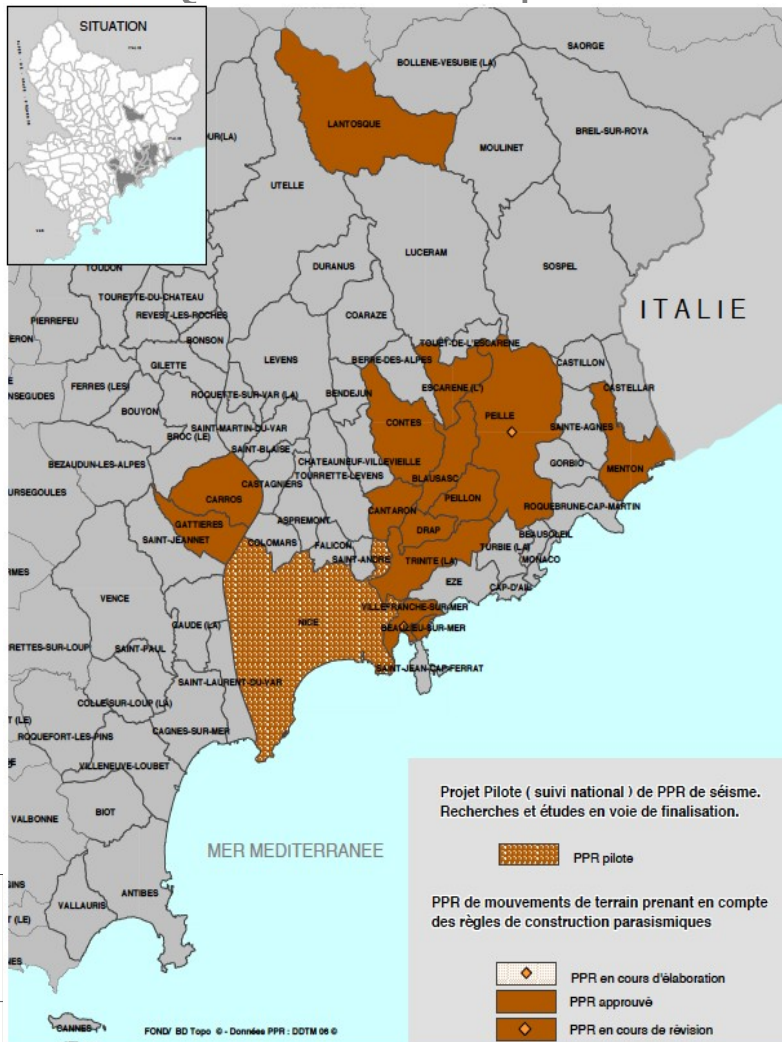




# Les PPR sismiques

## Nouveautés législatives et conséquences pratiques

- Quelles conséquences sur les PPRS déjà validés ?



### Exemple des Alpes-Maritimes :

14 PPR Mouvements de Terrain et Séisme approuvés:

Menton  
Villefranche-sur-mer  
Lantosque  
La Trinité  
Carros  
Drap  
Beaulieu-sur-mer  
Blausasc  
Cantaron  
Contes  
L'Escarène  
Gattières  
Peille  
Peillon

1 Étude pilote : Nice



# Les PPR sismiques

## Nouveautés législatives et conséquences pratiques

- Quelles conséquences sur les PPRS déjà validés ?

A priori l'impact est limité mais :

Il faut rester vigilant sur la définition de l'aléa régional (accélération d'ancrage très différente de la réglementation actuelle). Certains PPRS donnent des spectres de réponse élastique normalisés sans préciser l'accélération d'ancrage : c'est celle de la réglementation nationale qui s'applique. Ils restent donc d'actualité.

La forme des spectres de réponse peut être remise en question : les données et connaissances locales justifient elles des spectres très éloignés de la réglementation nationale ?

La prise en compte de l'augmentation du PGA par les effets de site mal pris en compte pas les études anciennes. (Philosophie des PS92)



# Les PPR sismiques

## Nouveautés législatives et conséquences pratiques

- Quelles conséquences sur les PPRS déjà validés ?

Nom	Nature du PPR	Date de prescription	Date d'approbation	Date de révision	Echelle du zonage	nombre de spectres déterminés (zones)	normalisation et forme des spectres	PGA indiqué
Menton	M+S	31/07/1987 (PER)	14/02/2001 (PPR)	non	1/5000ème	8	oui sauf spectres zones 2 et 6 aux plateaux réduits (max à 4,5 m/s <sup>2</sup> )	non : les spectres sont normalisés (PGA ramené à 1 g, on ne peut pas le lire manuellement)
Villefranche-sur-mer	M+S	juil-85	10/08/98	22/06/09	1/5000ème	8	oui mais tous les spectres ont globalement des plateaux réduits (max à 3,5 m/s <sup>2</sup> )	non
Lantosque	M+S	29/07/1985 (PER)	19/11/2001 (PPR)	non	1/5000ème	4	oui mais des spectres à PGA = 2,5 m/s <sup>2</sup> , pas d'effets de site pris en compte	non
La Trinité	M+S	31/12/1985 (PER)	17/11/99	non	1/5000ème	17	oui	non
Carros	M+S	22/12/99	21/06/01	non	1/5000ème	7	fortes différences entre les formes des spectres normalisés : plateaux des spectres 6 et 7 très étendus et plateau du spectre 4 très réduit	non
Drap	M+S	30/01/1986 (PER)	17/11/99	non	1/5000ème	11	oui	non
Beaulieu-sur-mer	M+S	18/07/85	10/08/98	non	1/2000ème	7	oui avec grandes disparités entre chaque spectre : plateaux à formes différentes	non
Blausasc	M+S	10/03/1986 (PER)	17/11/99	non	1/5000ème	4	oui	non
Cantaron	M+S	5/02/1986 (PER)	17/11/99	non	1/5000ème	4	oui	non
Contes	M+S	03/02/1986 (PER)	17/11/99	non	1/5000ème	4	oui	non
L'Escarène	M+S	17/01/1986 (PER)	17/11/99	non	1/5000ème	4	oui	non
Gattières	M+S	22/12/99	02/12/02	date prescription modification : 21/12/2008 ; date d'approbation modification : 17/03/2008	1/5000ème et zoom village 1/2500ème	8	oui : grandes disparités entre la forme des spectres	non
Peille	M+S	19/02/1986 (PER)	17/11/1999 (PER)	date de prescription de modification : 17/07/2010	1/5000ème	9	oui formes + ou - cohérentes	non
Peillon	d	19/02/1986 (PER)	17/11/99	non	1/5000ème	8	oui	non