

Etienne BERTRAND

CEREMA Méditerranée
Service Risque Sismique

Plan académique
de formation 2018

La prévention du risque sismique en France

13 Mars 2018



PLAN :

INTRODUCTION

SCÉNARIOS

SPECTRES DE RÉPONSE ÉLASTIQUES

RÉGLEMENTATION PARASISMIQUE

PARI ARCHITECTURAL



INTRODUCTION

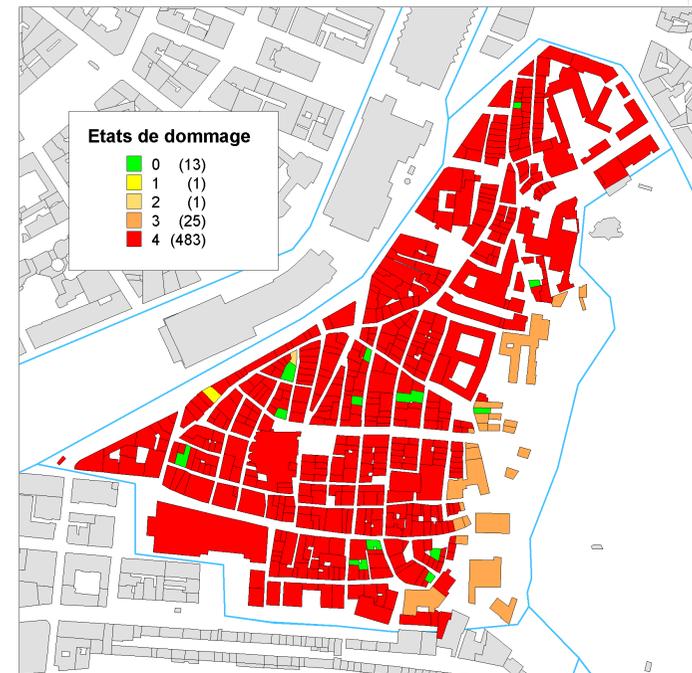


RISQUE :

Probabilité de pertes (dommages aux biens, victimes, atteinte à l'activité économique)

Pendant une période de référence

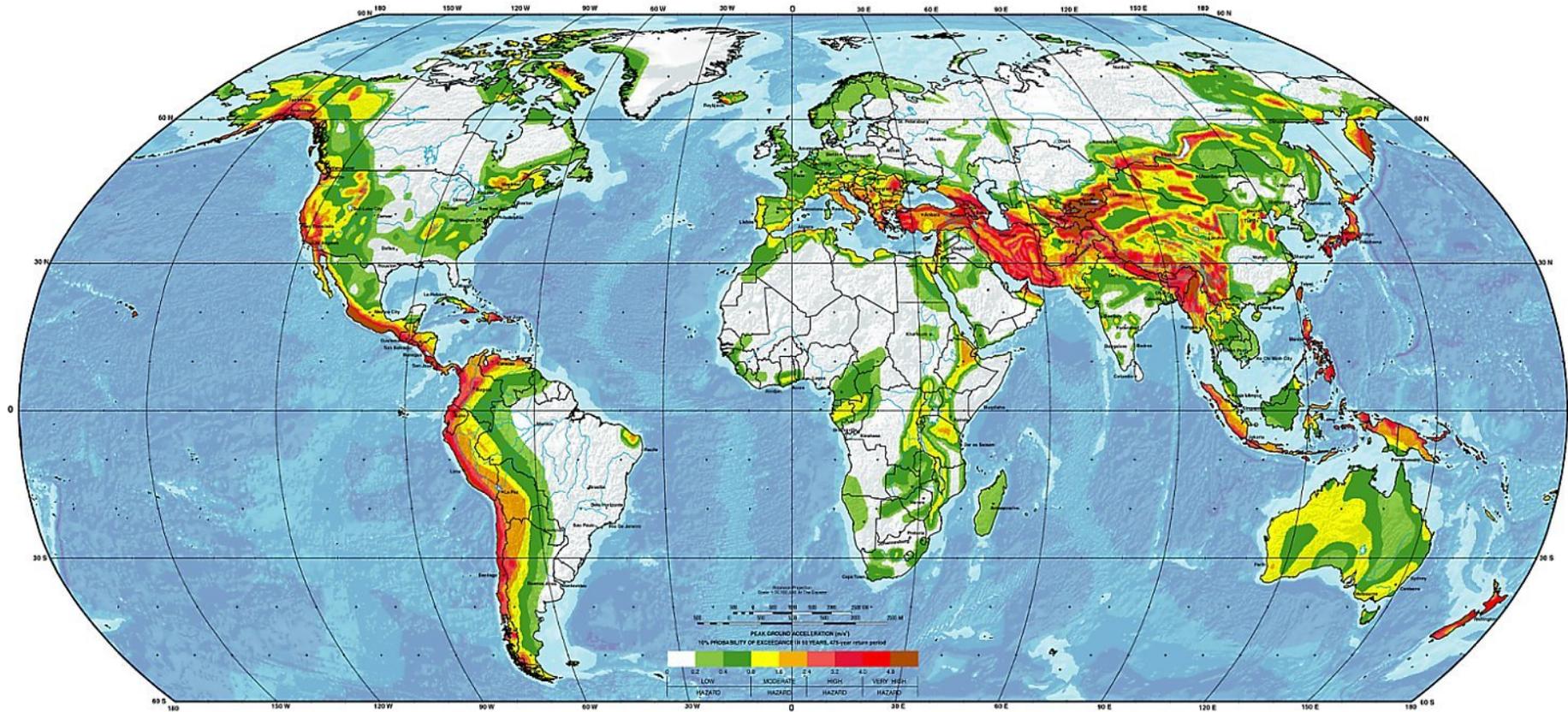
Dans une région donnée



Aspect probabiliste :

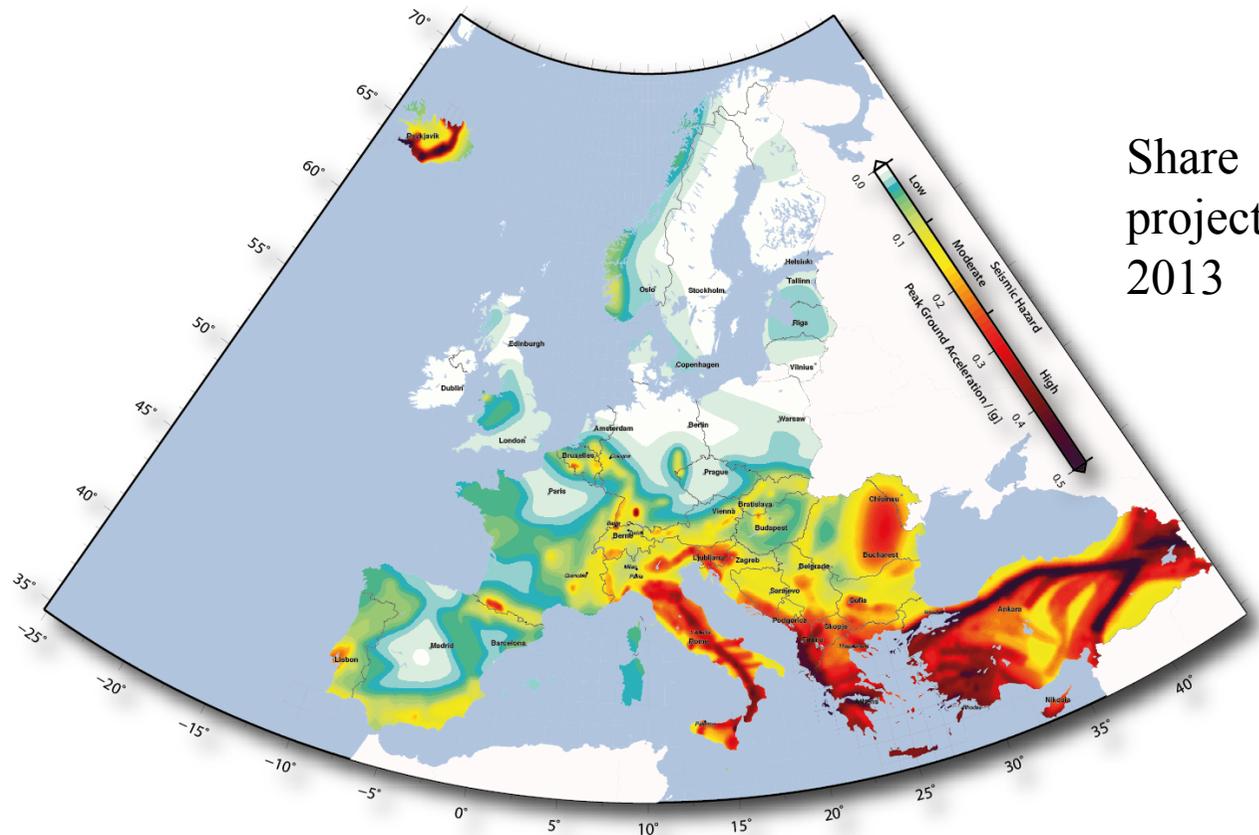
GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP

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. Grÿnthal, K. Shedlock, and P. Zhang
1999



Seuil de PGA, 10% de probabilité de dépassement sur 50 ans

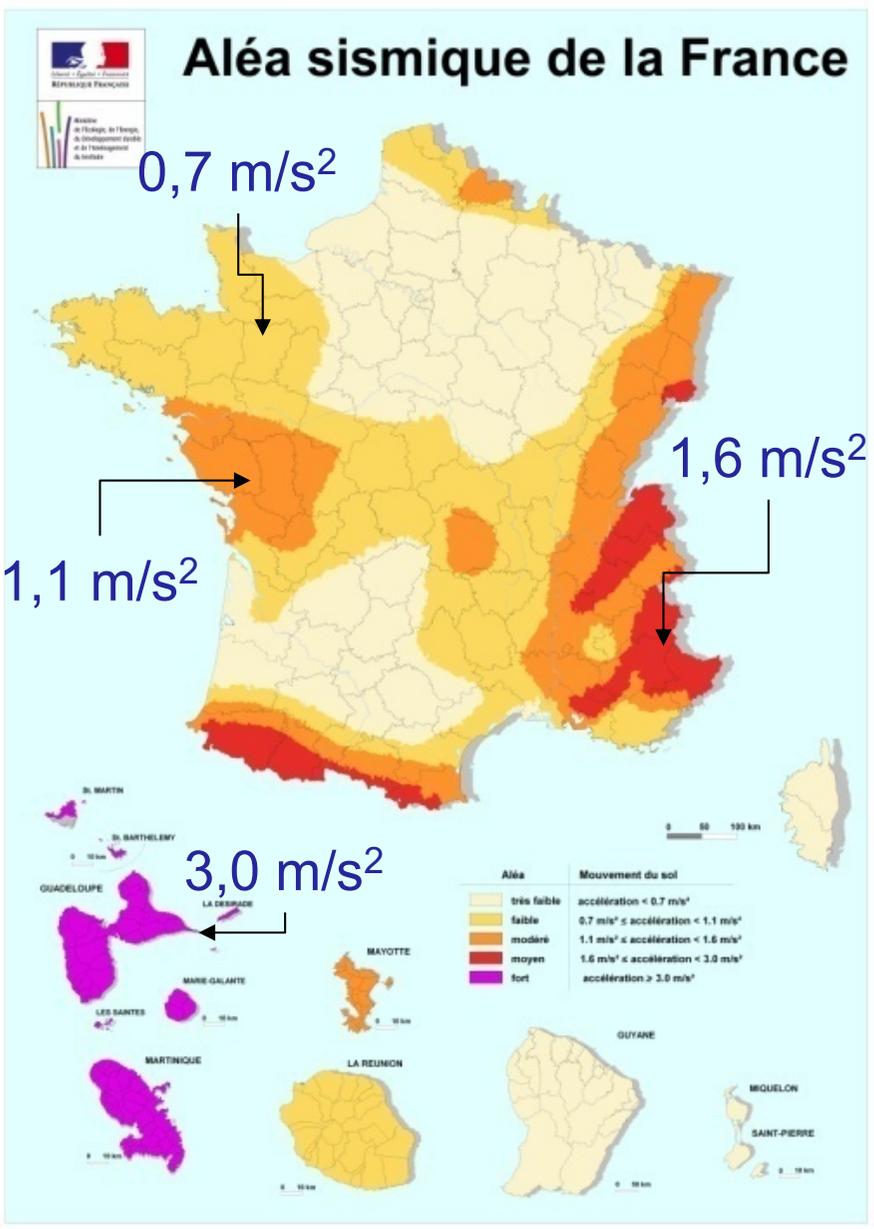
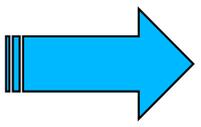
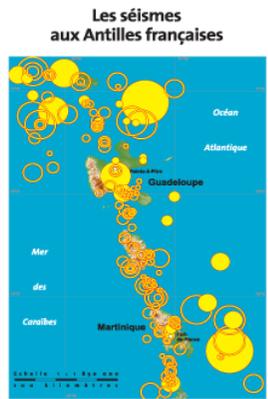
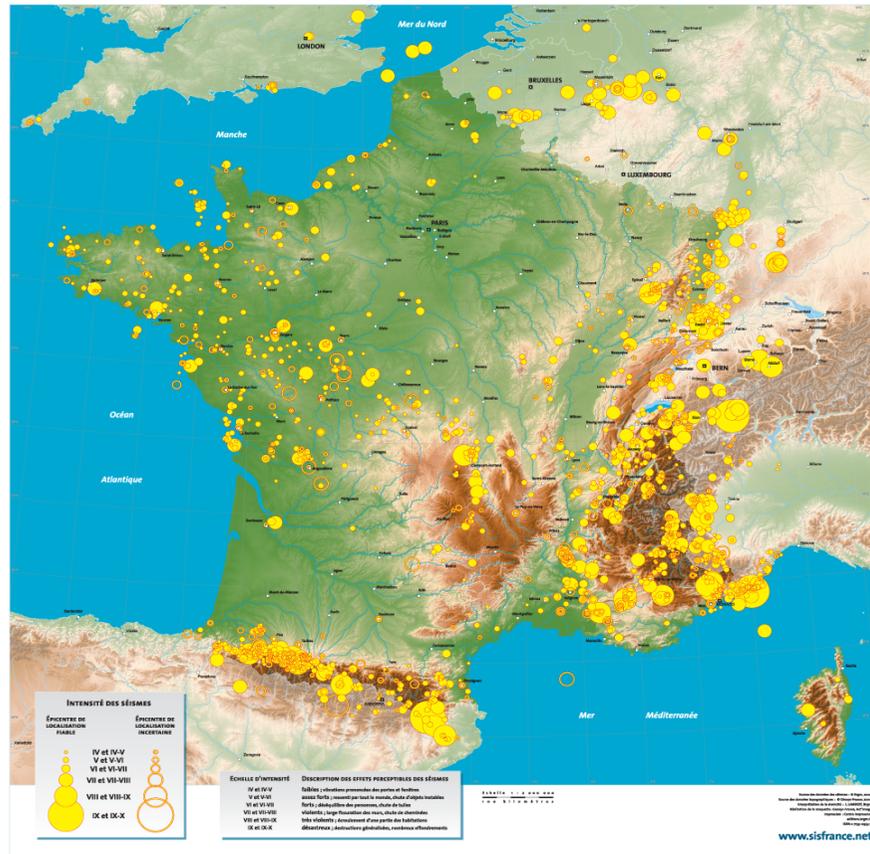
Aspect probabiliste :



The above European Seismic Hazard Map displays the Peak Ground Acceleration (PGA) expected to be reached or exceeded with a 10% probability in 50 years, or to return on average every 475 years. Green colour indicates comparatively low hazard values of PGA below 0.1g, yellow to orange colours depict moderate hazard between 0.1-to-0.25g and red colours identify high hazard areas with PGA of more than 0.25.

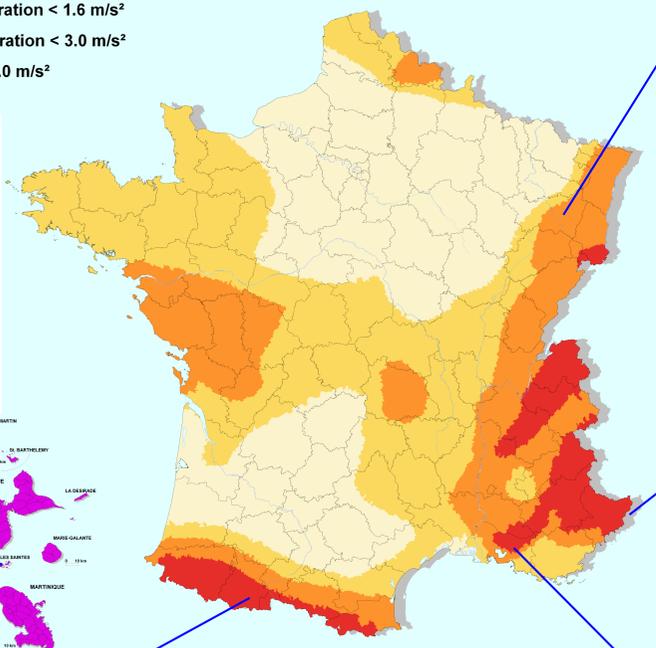
Seuil de PGA, 10% de probabilité de dépassement sur 50 ans

Aspect probabiliste :



| Aléa | Mouvement du sol |
|---|--|
|  très faible | accélération < 0.7 m/s ² |
|  faible | 0.7 m/s ² ≤ accélération < 1.1 m/s ² |
|  modéré | 1.1 m/s ² ≤ accélération < 1.6 m/s ² |
|  moyen | 1.6 m/s ² ≤ accélération < 3.0 m/s ² |
|  fort | accélération ≥ 3.0 m/s ² |

The seismic zonation in the seismic code defines the *regional hazard*



Rambervillers, 2003



Ligurie, 1887



Les Saintes, 2004



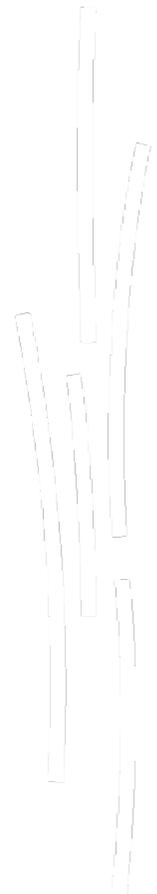
Arette, 1967



Lambesc, 1909



Le risque sismique



Il faut distinguer l'aléa et le risque : l'absence d'enjeux face à un aléa, même fort, amène à un risque nul.



Le risque sismique

Exemple : un aléa équivalent mais un risque différent

Décembre 2003: 3 séismes M6.5



> Taiwan : Pas de dommages ni de victime

Pourquoi ?



Le risque sismique

Exemple : un aléa équivalent mais un risque différent

Décembre 2003: 3 séismes M6.5



> Taiwan : Pas de dommages ni de victime

> Californie : - Pas de dommage
- 1 victime



Le risque sismique

Exemple : un aléa équivalent mais un risque différent

Décembre 2003: 3 séismes M6.5



> Taiwan : Pas de dommages ni de victime



> Californie : - Pas de dommage
- 1 victime



> Iran (Bam):
- 80% de la ville détruite
- 38 000 morts

Pourquoi ?



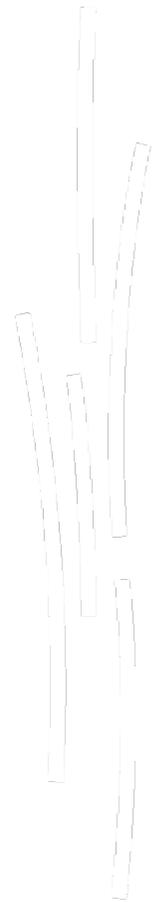
Le risque sismique



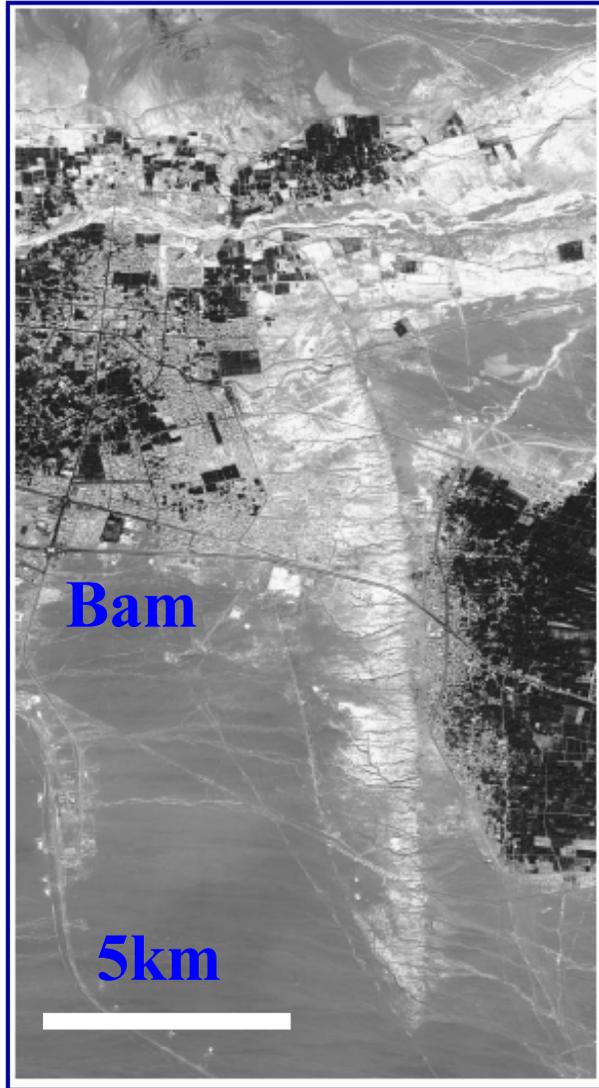
> 2000 ans sans séisme ...



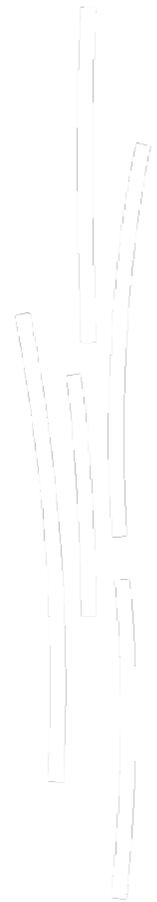
IRAN - Bam – 26 décembre 2003



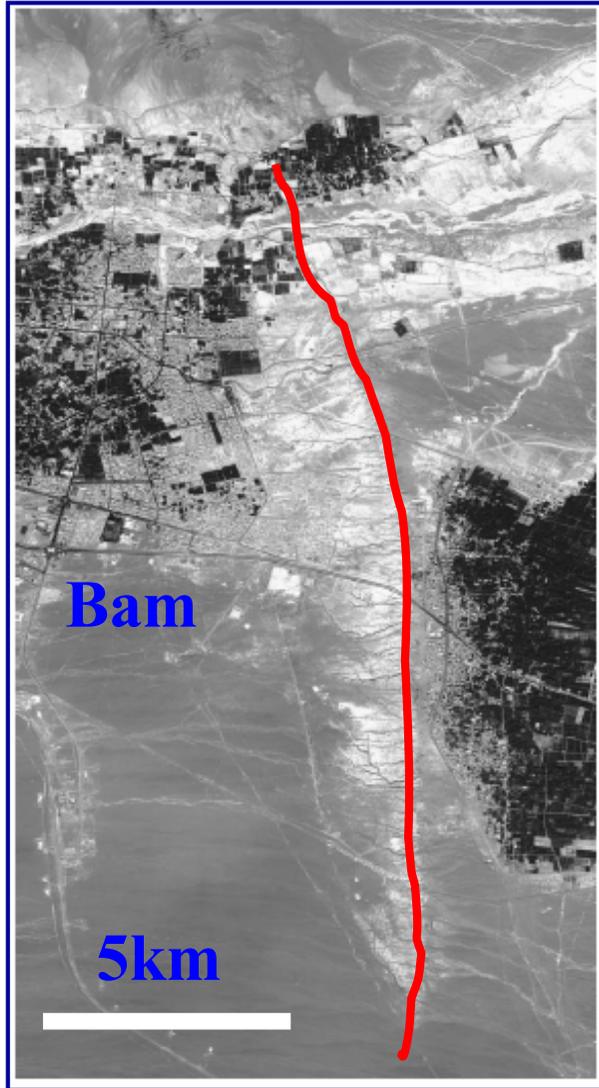
Le risque sismique



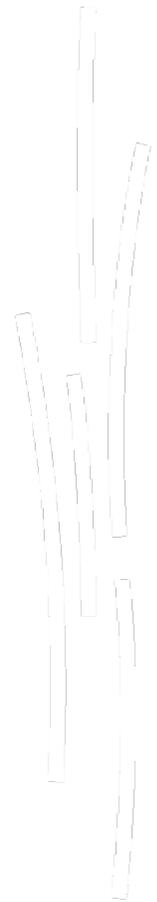
- > 2000 sans séisme...
- > ... mais une faille reconnue sur les images aériennes



Le risque sismique



- > 2000 sans séisme...
- > ... mais une faille reconnue sur les images aériennes



Le risque sismique



- > 2000 sans séisme ...
 - > ... ais une faille reconnue sur les images aériennes
 - > Un code parasismique mal connu et donc très peu appliqué
 - > Des autorités locales peu informées du risque sismique
 - > Pas de plan d'intervention d'urgence
- ⇒ **Forte vulnérabilité de la ville**



Le risque sismique

L'ALEA ne peut être contrôlé !

Réduire le RISQUE implique :

- l'amélioration de la connaissance des phénomènes
- l'identification des éléments exposés les plus vulnérables,
- une appropriation active du risque,
- le développement d'actions préventives et de surveillance



Le risque sismique

Les 4 axes de la PRÉVENTION :

**AMÉNAGEMENT
URBANISME**

CONSTRUCTIONS
Bâtiments - Équipements
Ouvrages d'art

**ORGANISATION
DES SECOURS**

**INFORMATION
FORMATION**



RÉDUCTION SYSTÉMATIQUE DU RISQUE SISMIQUE

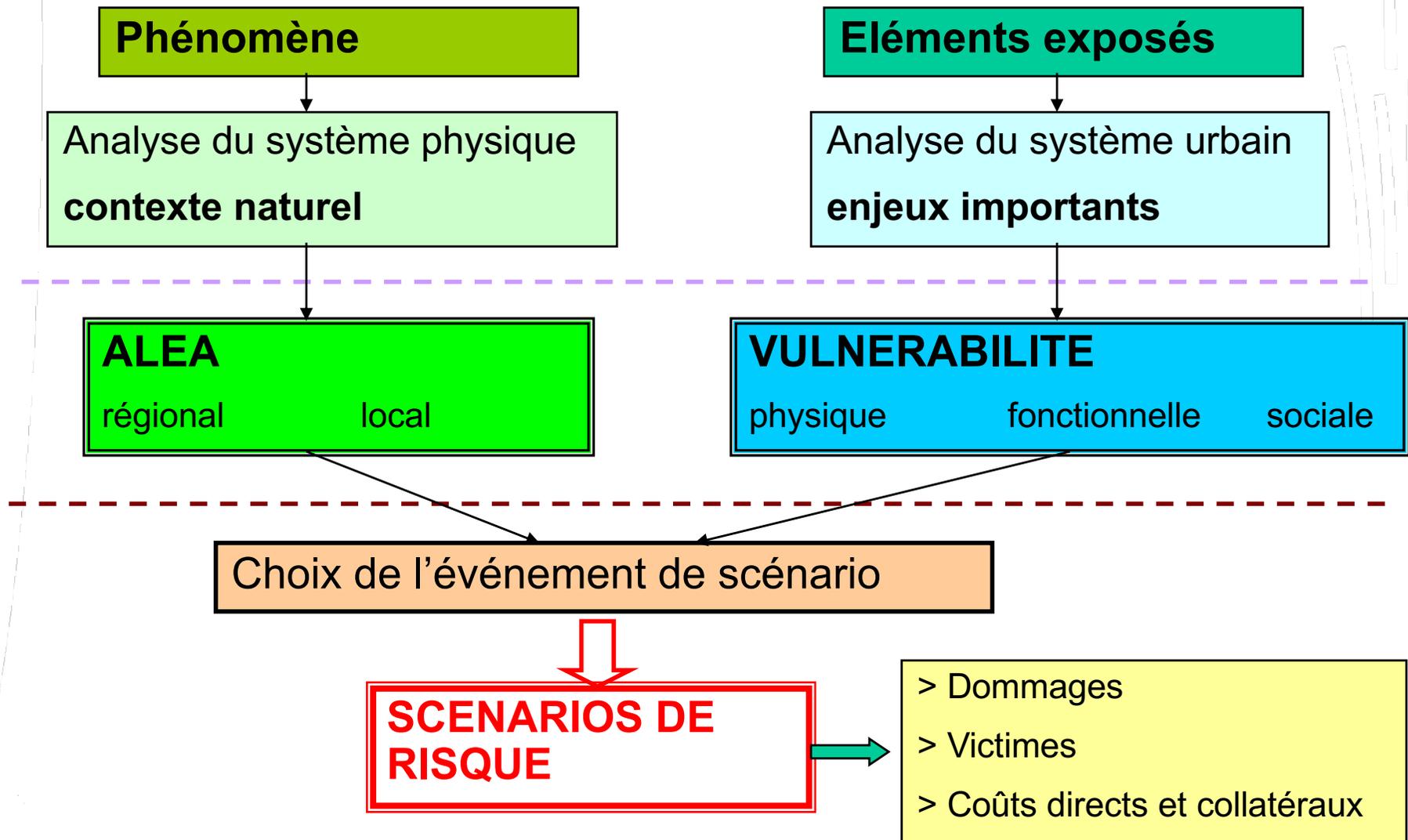


SCÉNARIOS DE RISQUE



Les scénarios de risque sismique :

Un outil pour la prévention du risque

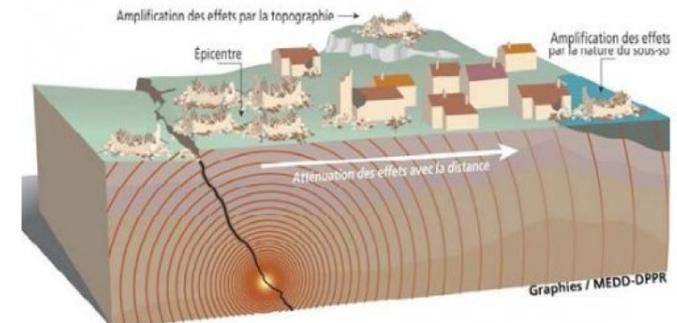
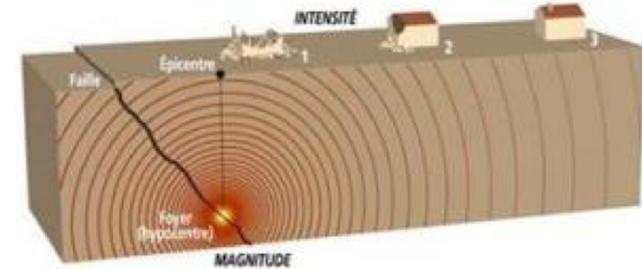


Les scénarios de risque sismique :

Aléa sismique

L'aléa sismique se décompose en :

- aléa **régional** : correspond au mouvement sismique de référence, c'est à dire sur un sol rocheux horizontal. Ces mouvements dépendent essentiellement de la **source sismique** (magnitude, mécanisme au foyer, orientation de la faille, histoire de la rupture, ...) et de la **distance épacentrale**.
- aléa **local** : les conditions **géologiques** (sols mous) et **topographiques** (reliefs) ont un impact sur le mouvement du sismique. Elles amplifient notamment le signal dans des bandes de fréquences qui dépendent des paramètres géotechniques des sites et de la géométrie du relief et du sous-sol.



Les scénarios de risque sismique :

Vulnérabilité des bâtiments : approche statistique, macrosismique

Approche empirique, basée sur des retours d'expériences;

Utilise une matrice de typologie de bâtiments (BTM), exemple de RISK-EU (2004).

$$0 < V_i < 1$$

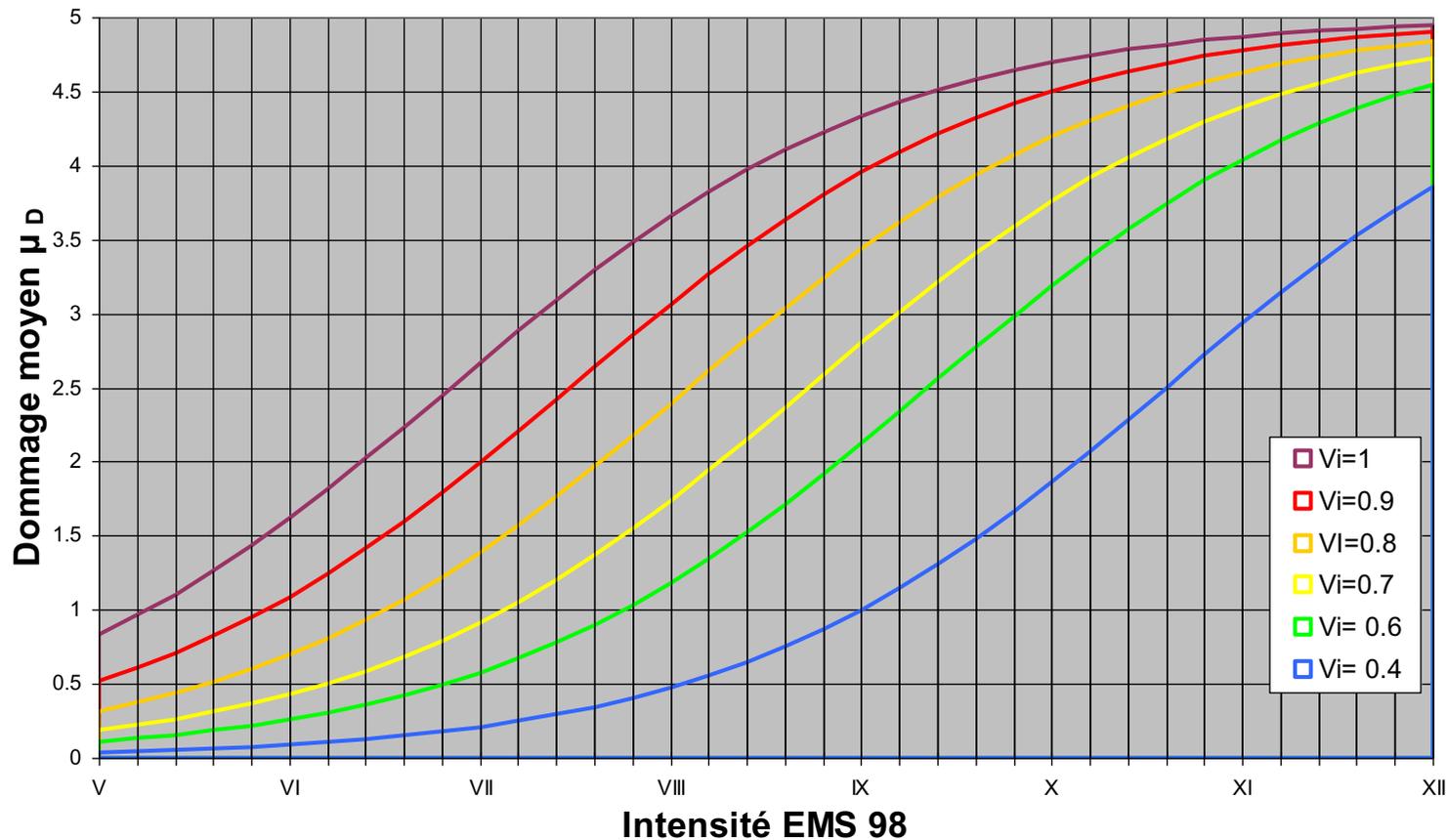


| Nom | Typologie | V_i^* | Nom | Typologie | V_i^* |
|-------------|---|---------|--------------|--|---------|
| M1.1 | Moellons | 0.807 | RC3.1 | Mur de remplissage maçonnerie, structure régulière | 0.462 |
| M1.2 | Pierres appareillées | | RC3.2 | Structure irrégulière | |
| M1.3 | Pierre de taille | 0.616 | RC4 | Structure mixte en BA (portiques et murs) | 0.386 |
| M3.1 | Planchers bois | 0.722 | RC5 | Murs en béton préfabriqué | 0.384 |
| M3.3 | Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie | | S1 | Poteaux/poutres acier | 0.363 |
| M3.2 | Voûtes en maçonnerie | 0.776 | S2 | Structure en acier contreventé | 0.287 |
| M4 | Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée | 0.45 | S3 | Poteaux/poutres acier + remplissage maçonnerie non armée | 0.484 |
| M5 | Maçonnerie renforcée dans son ensemble | 0.694 | S5 | Système composite acier/BA | 0.402 |
| RC1 | Poteaux/poutres béton | 0.442 | W | Structure en bois | 0.447 |
| RC2 | Murs de refend béton | 0.386 | | | |

Les scénarios de risque sismique :

Croisement entre Vulnérabilité et Intensité macrosismique

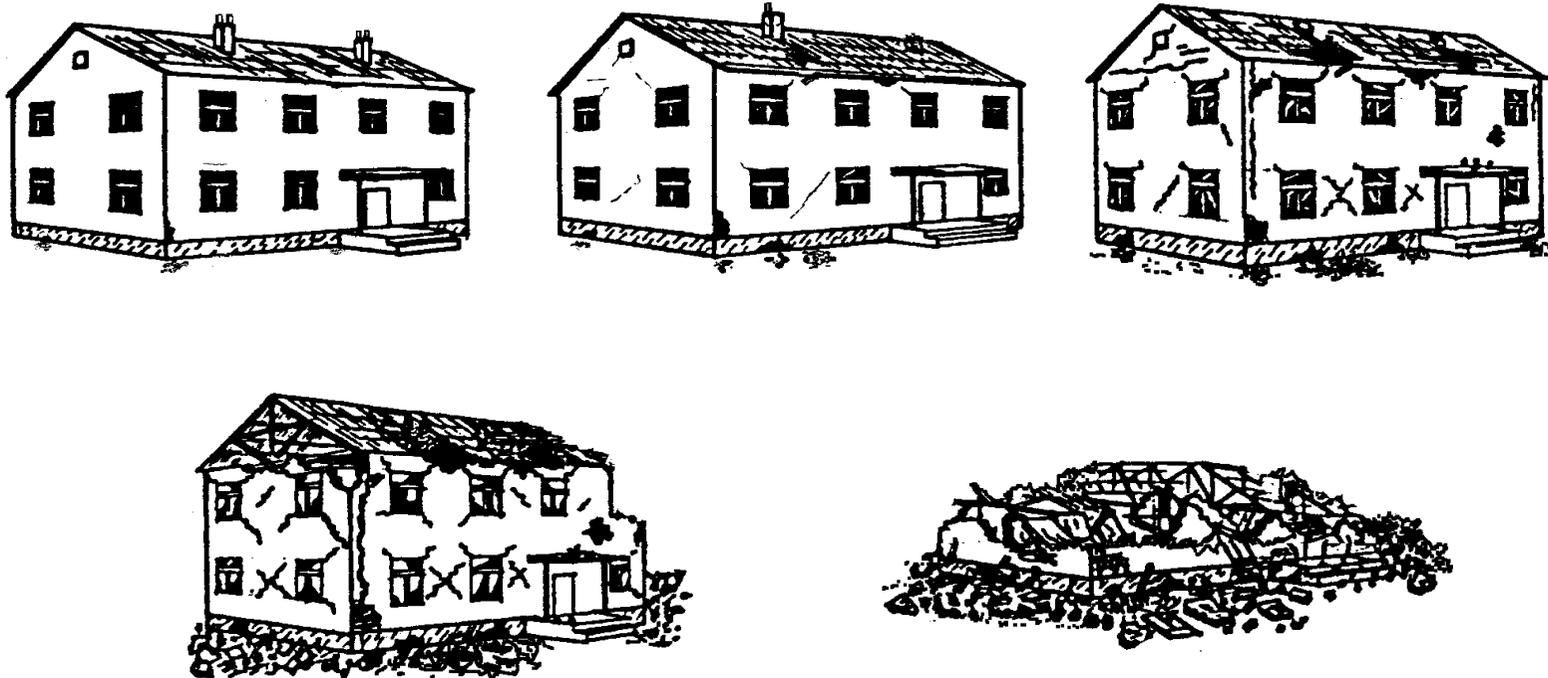
=> *courbes de vulnérabilité*



RISK-UE, 2004

Les scenarios de risque sismique :

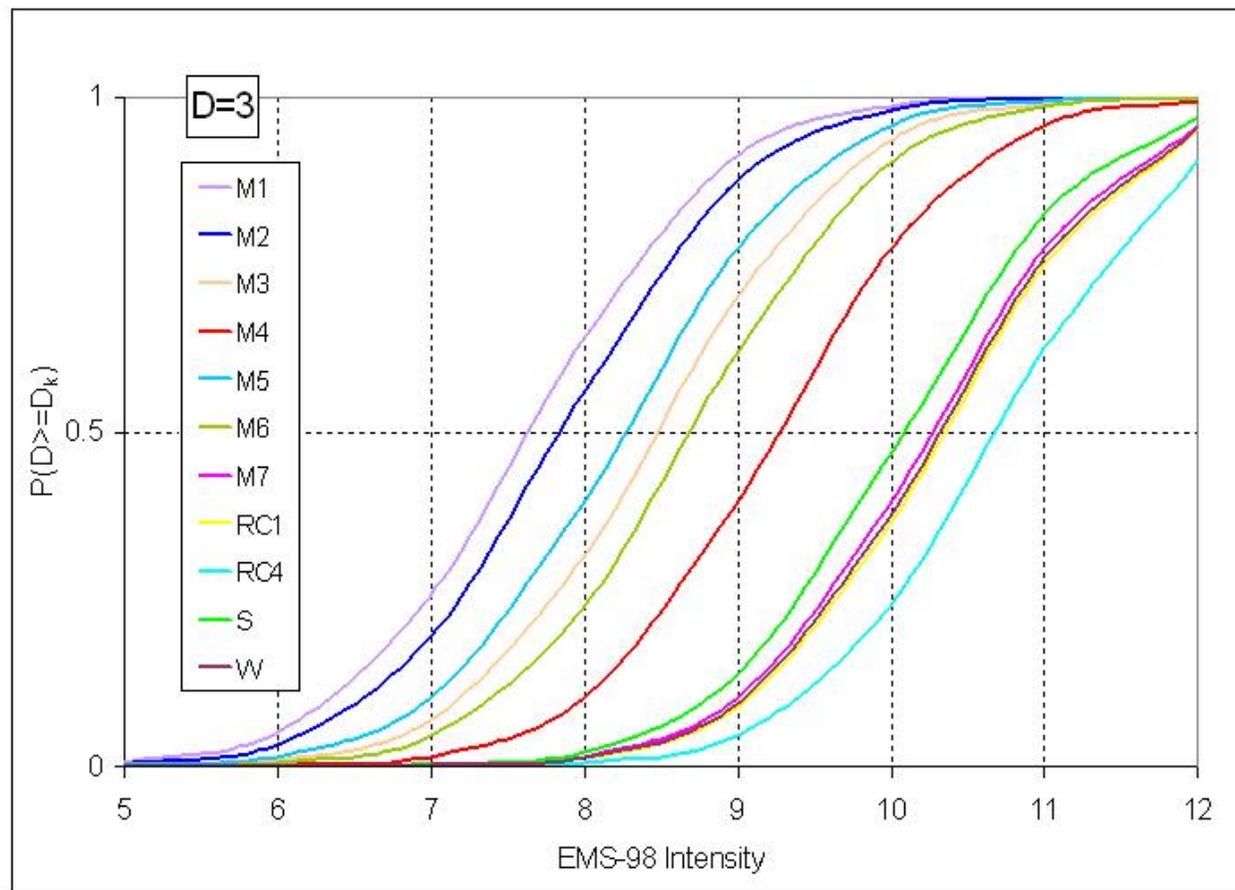
Définition de degrés de dommages



Les scénarios de risque sismique :

➤ **Courbes de fragilité**

- Probabilités de dommage $P(D > D_k)$

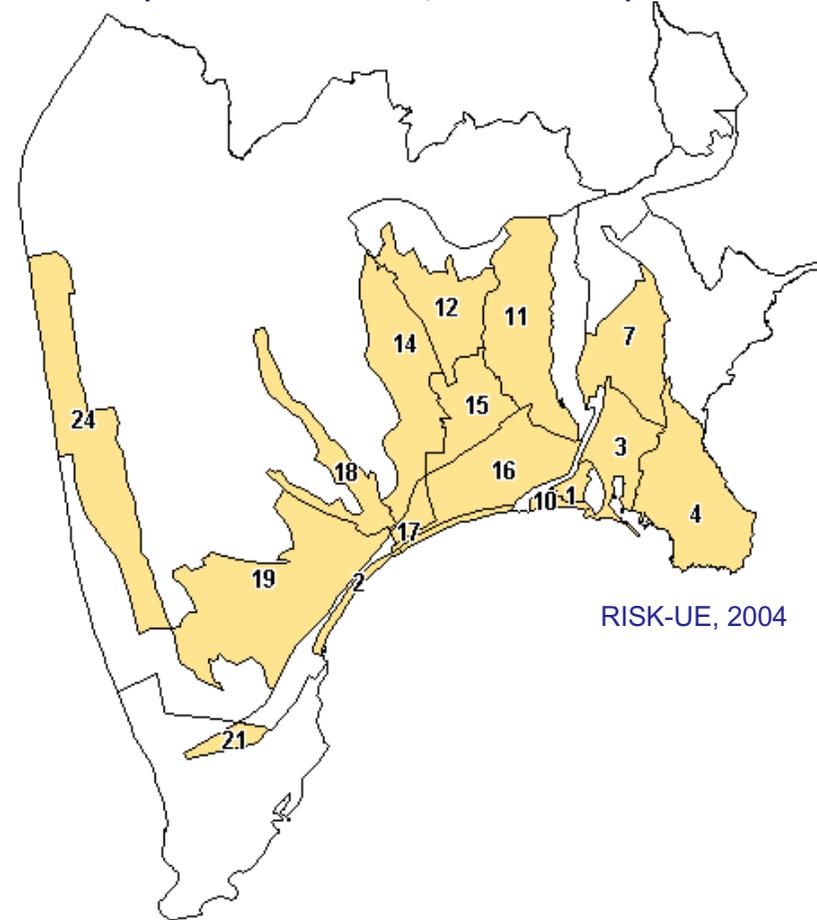


Les scénarios de risque sismique :

> **Unités urbaines homogènes** (*urbanisation, fonction*)

- 27 sur l'ensemble de Nice
- 16 étudiées pour l'instant

> **Analyse des bâtiments le long d'itinéraires aléatoires**



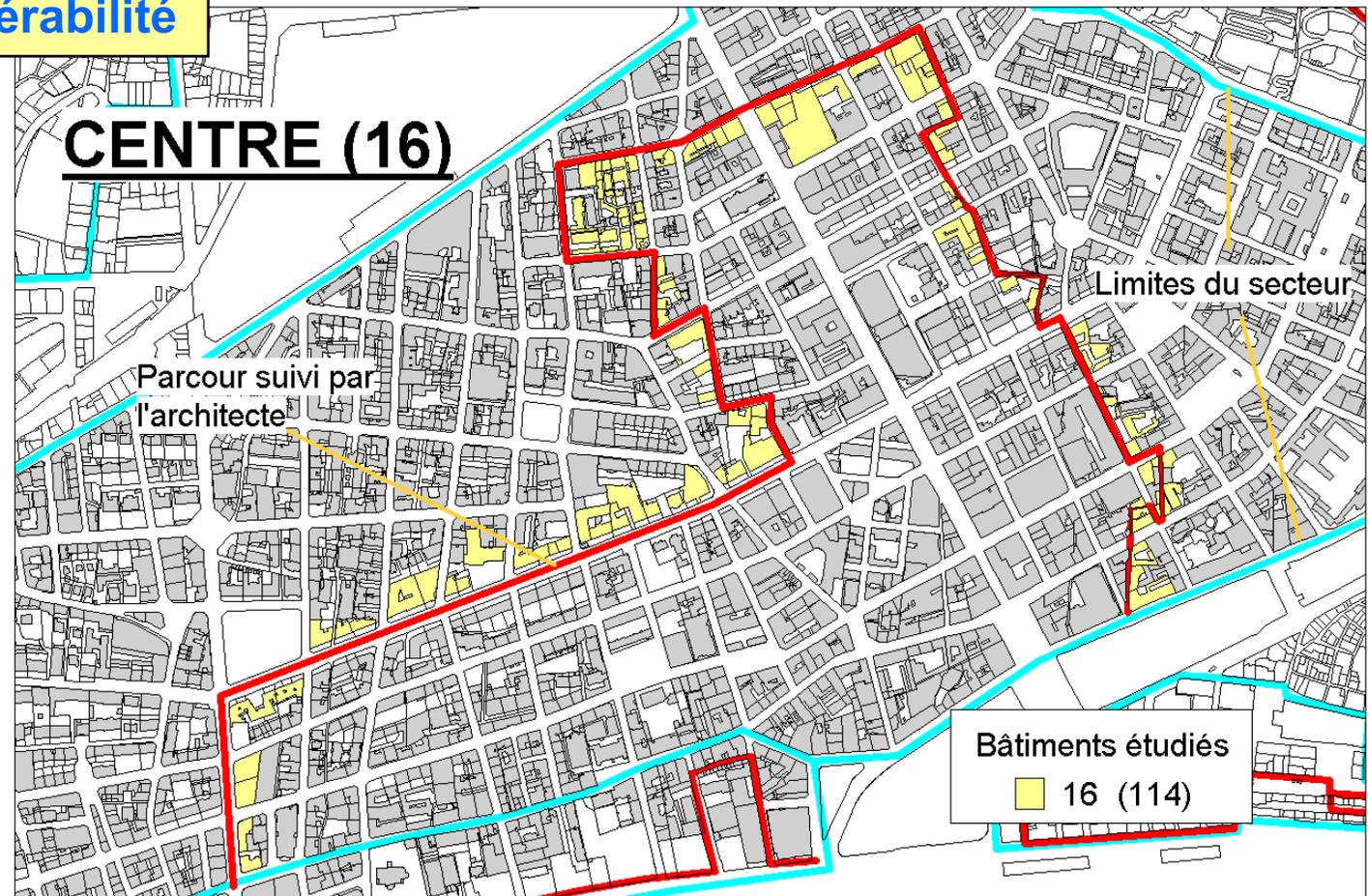
Etude du bâti : exple de Nice

Les scénarios de risque sismique :

>Un bâtiment

- Typologie
- Caractéristiques
- Facteurs de vulnérabilité

RISK-UE, 2004



résultats sur un itinéraire = résultats sur un secteur

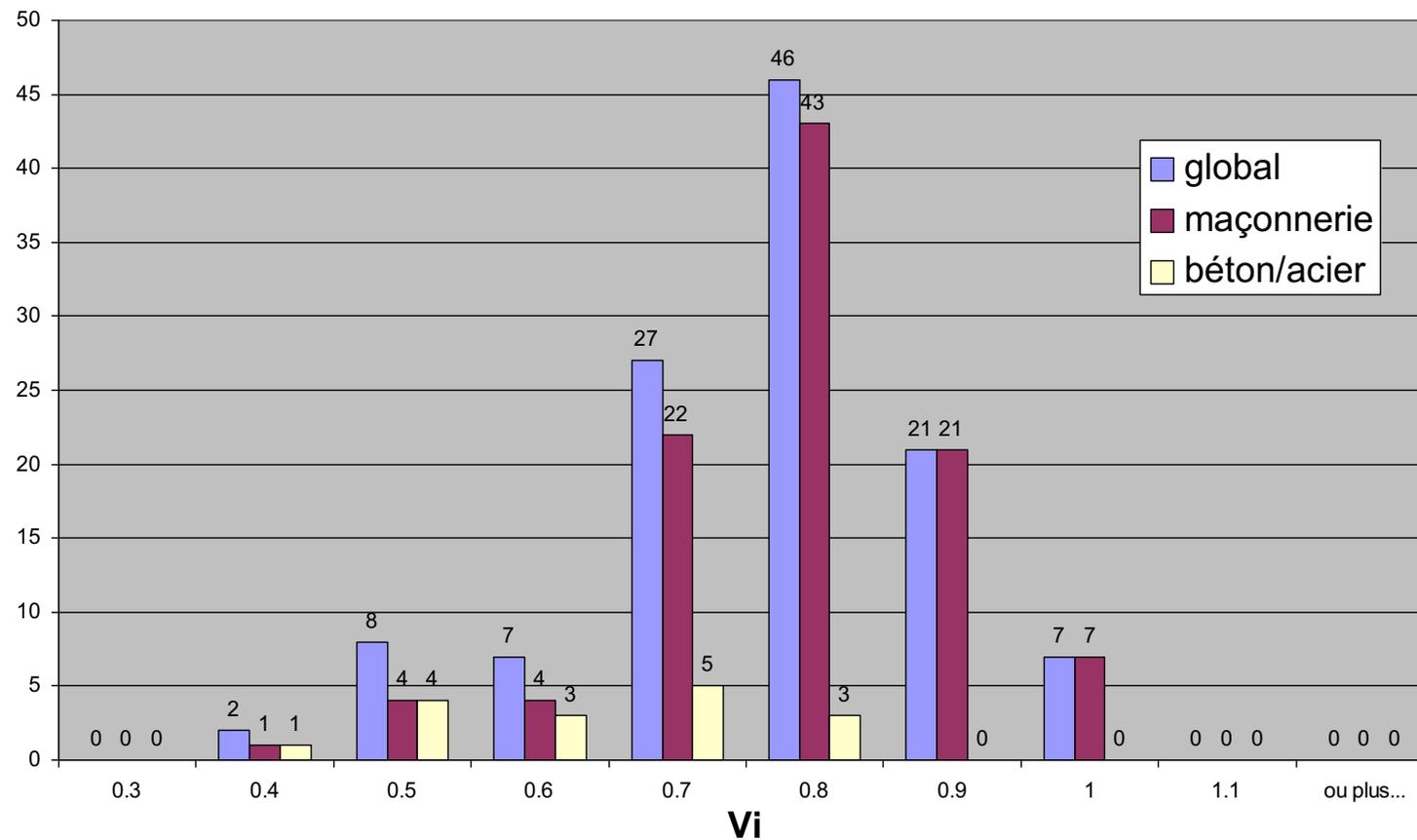
Les scenarios de risque sismique :

Calcul des V_i sur un itinéraire

Vulnérabilité globale d'un secteur par classes de V_i

RISK-UE, 2004

Secteur 16

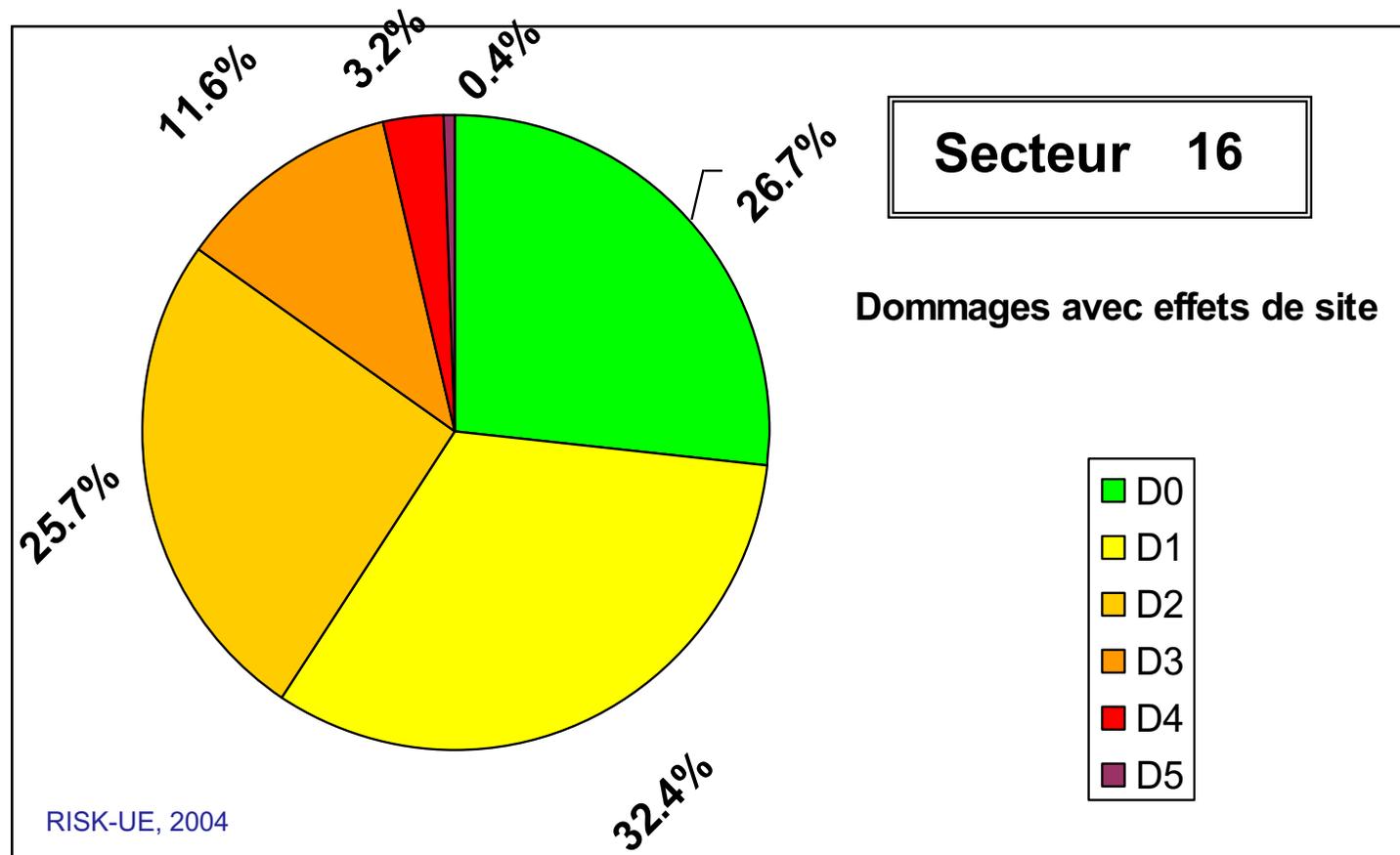


Les scénarios de risque sismique :

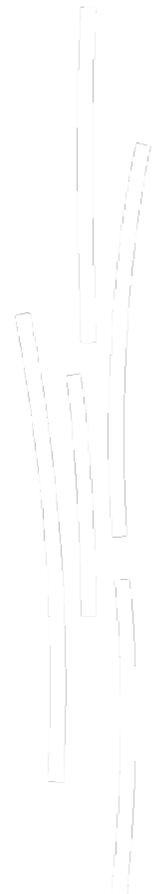
Calcul des dommages : Intensité macrosismique : VII-VIII

Croisement avec l'aléa sismique

Répartition des dommages sur le secteur

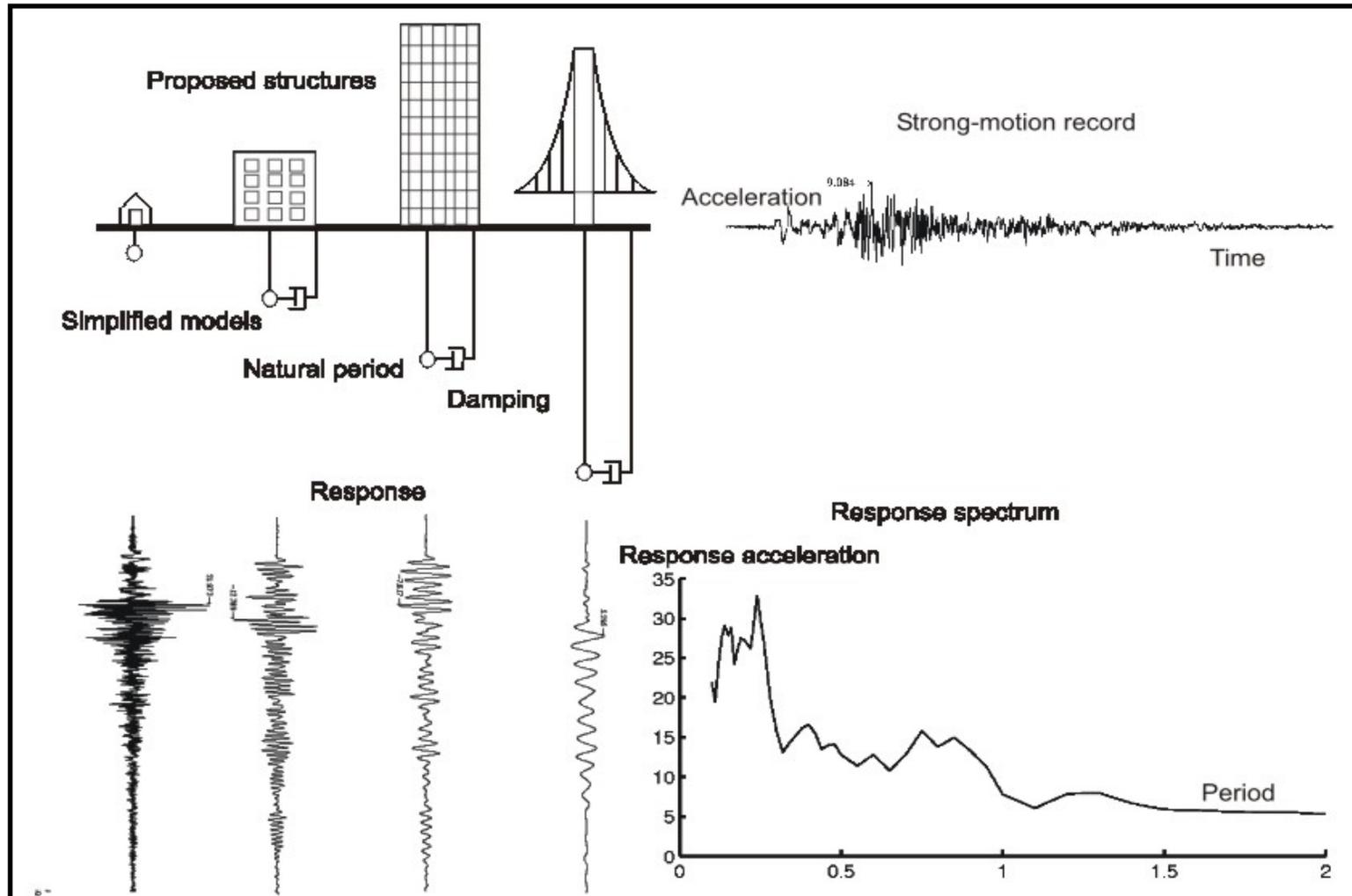


SPECTRES DE RÉPONSE ÉLASTIQUE



Le spectre de réponse élastique :

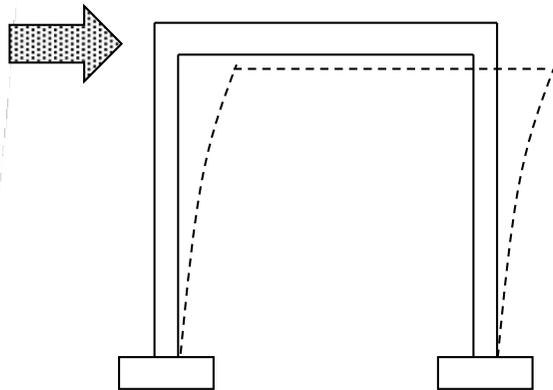
Un outil pour estimer la sollicitation sismique (la Demande)



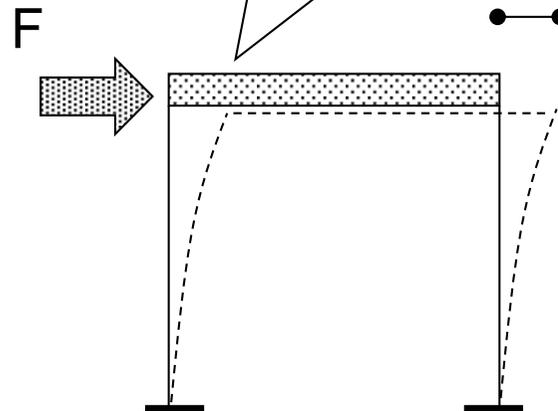
Le spectre de réponse élastique :

Hypothèse: Les bâtiments à un niveau simple peuvent être assimilés à des oscillateurs simples à un degrés de liberté.

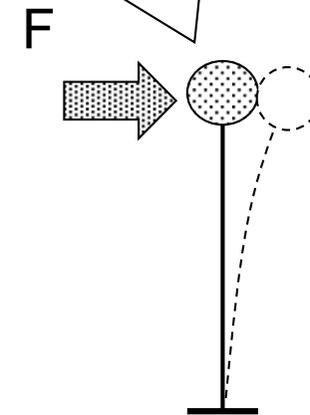
Modélisation



Les masses sont supposées concentrées dans la dalle

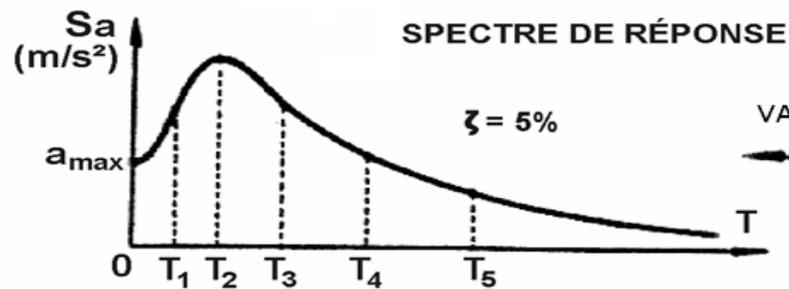
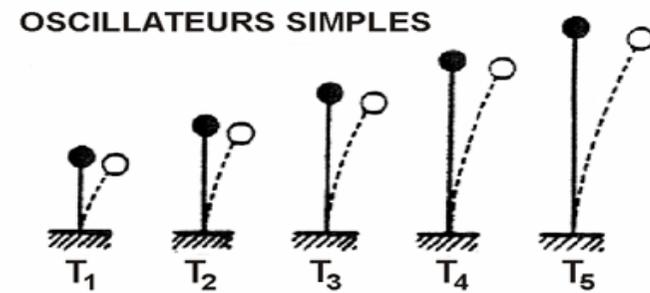
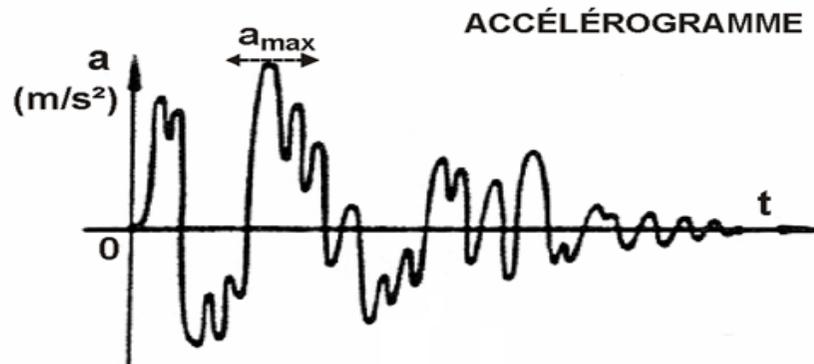


La dalle est supposée infiniment rigide vis à vis des efforts horizontaux

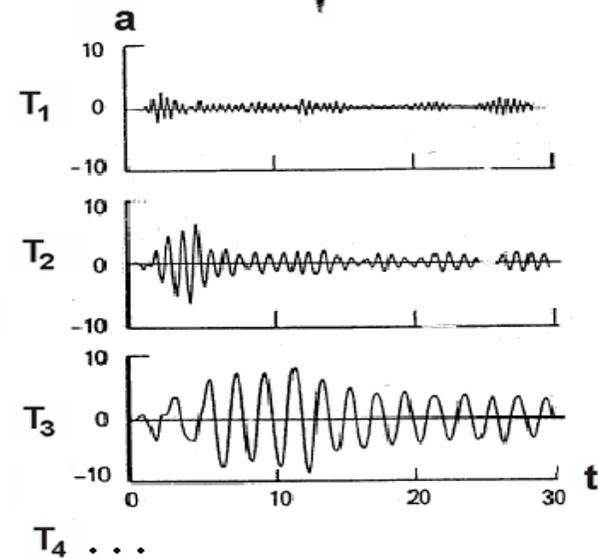


Le spectre de réponse élastique :

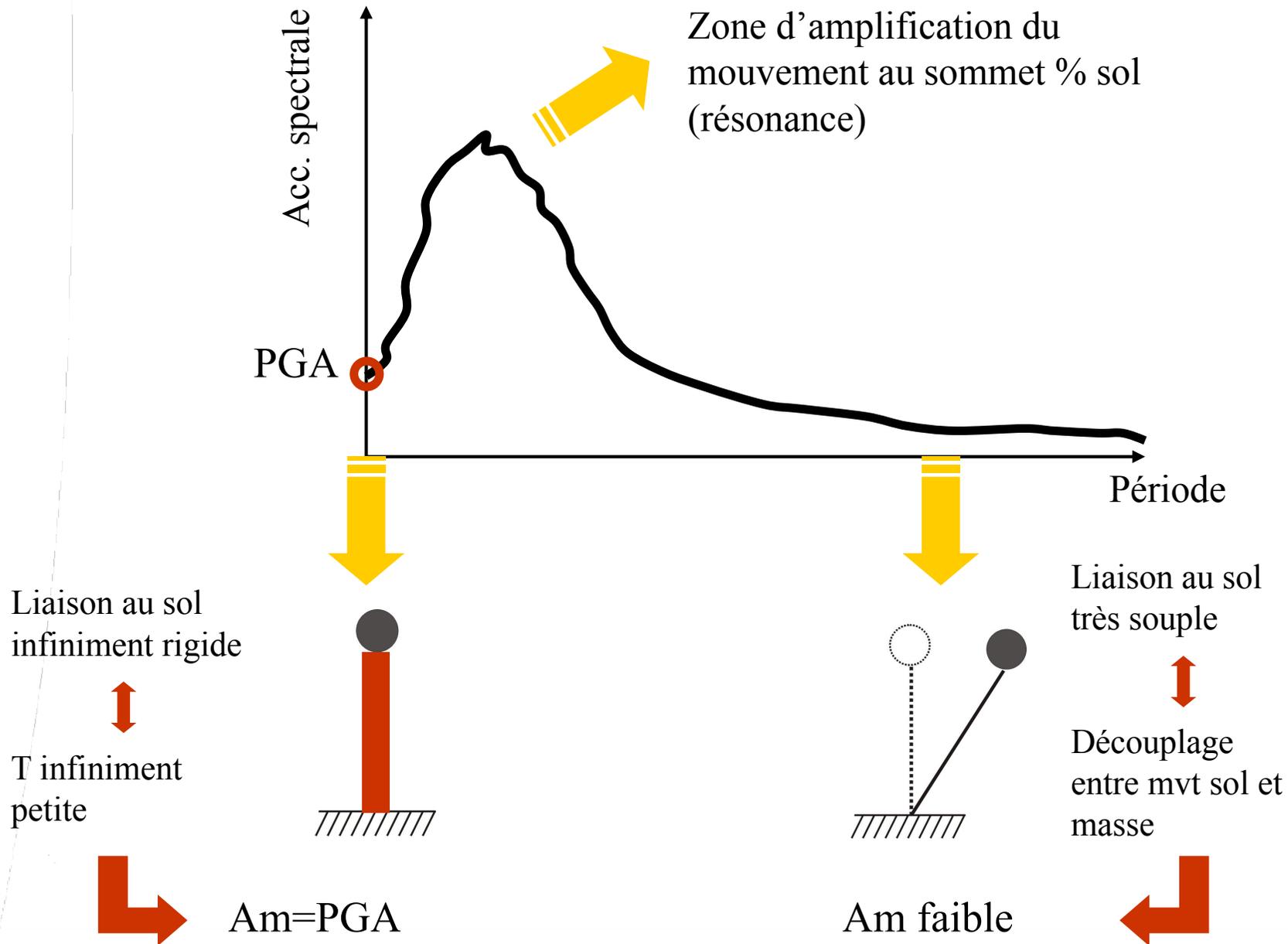
Oscillateurs à un degrés de liberté :



VALEURS MAXIMALES

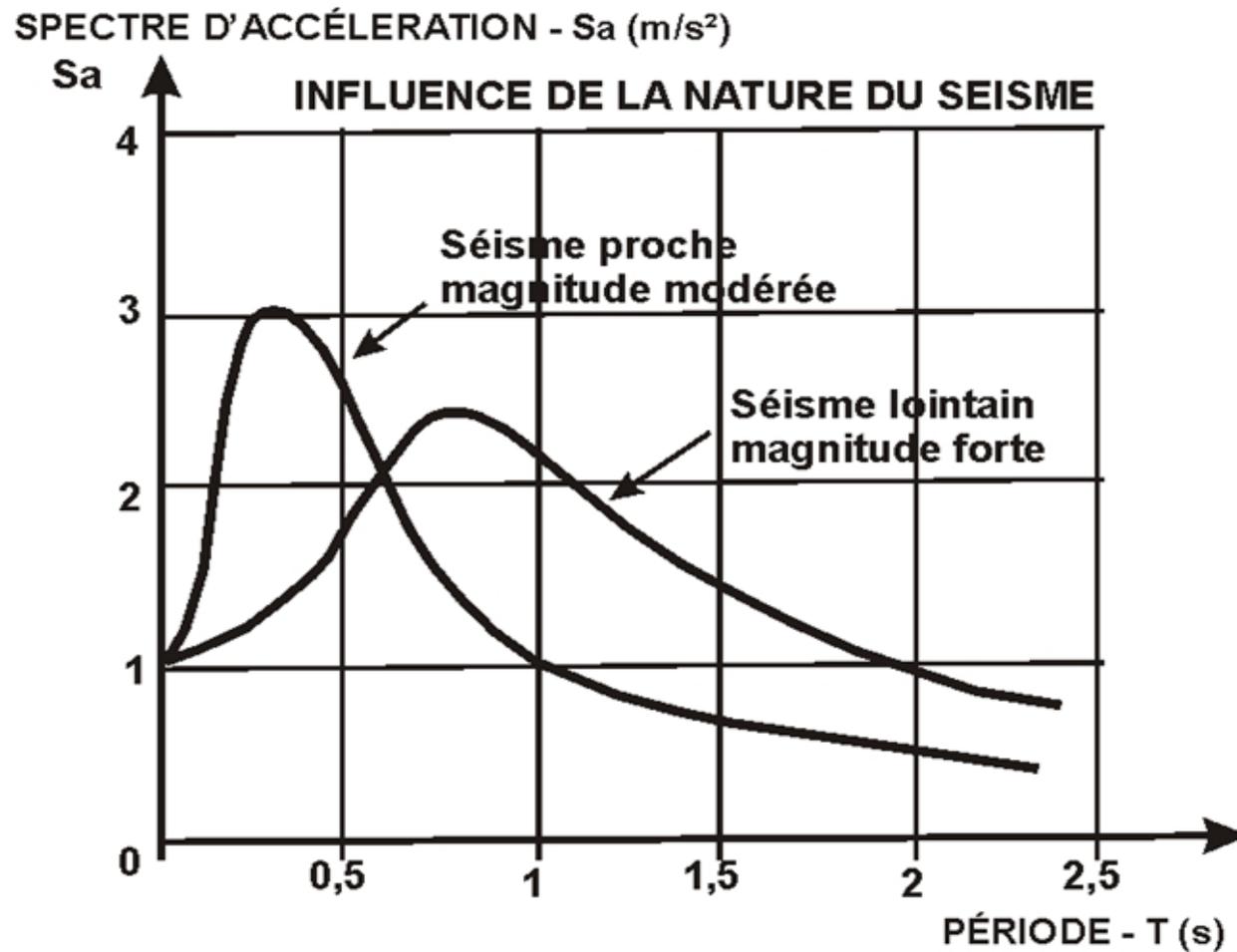


Le spectre de réponse élastique :



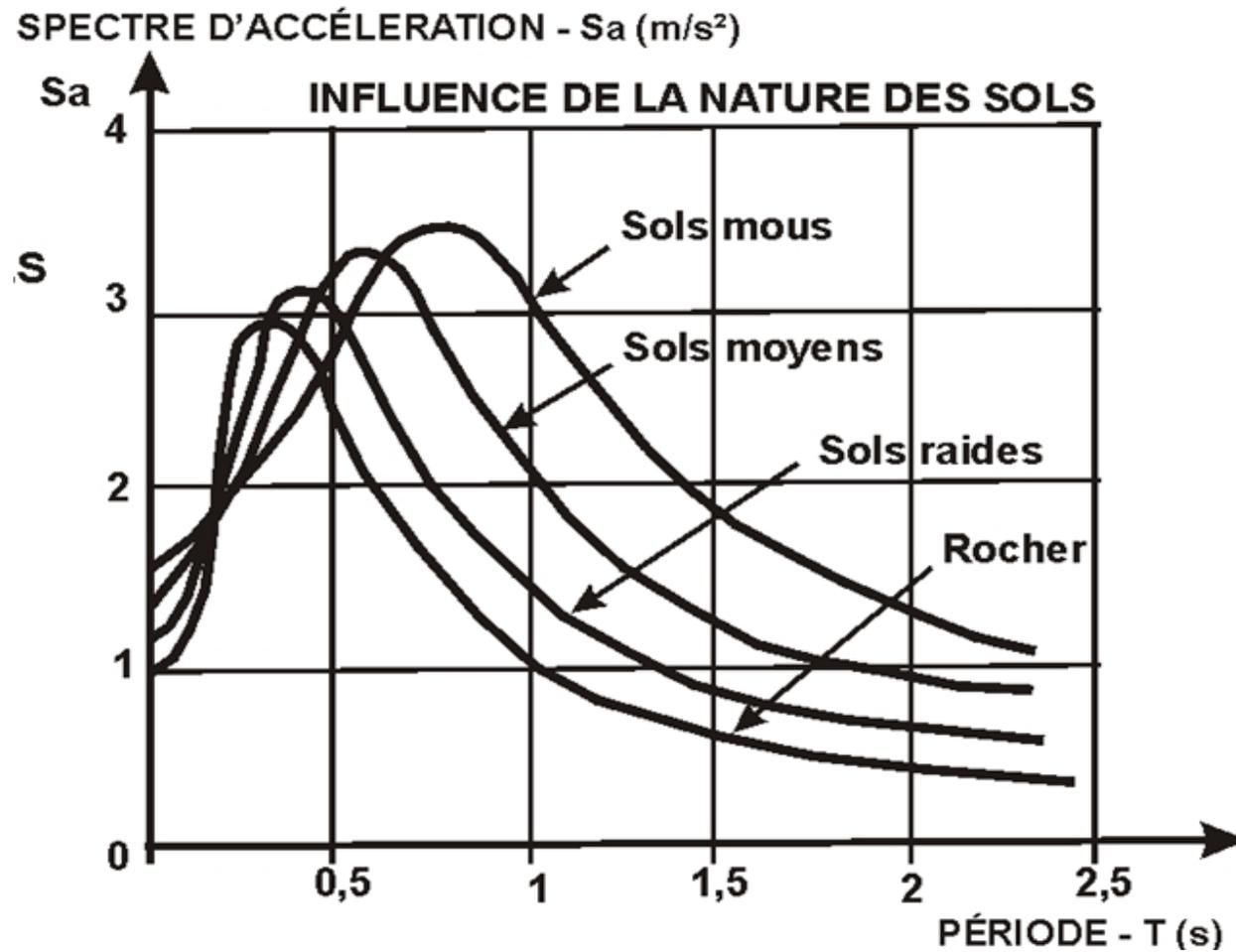
Le spectre de réponse élastique :

Dépendance avec le type de source sismique



Le spectre de réponse élastique :

Dépendance avec la nature du sol



RÉGLEMENTATION PARASISMIQUE



Réglementation parasismique:

Comment réduire le risque sismique ?

- Impossibilité d'agir sur l'aléa sismique

• Action sur les enjeux exposés
(réseaux, bâtiments, infrastructures,...)



Règles de
construction
parasismique

- Action sur l'aménagement du territoire
- Action sur la connaissance du risque
- Préparation à la gestion de crise



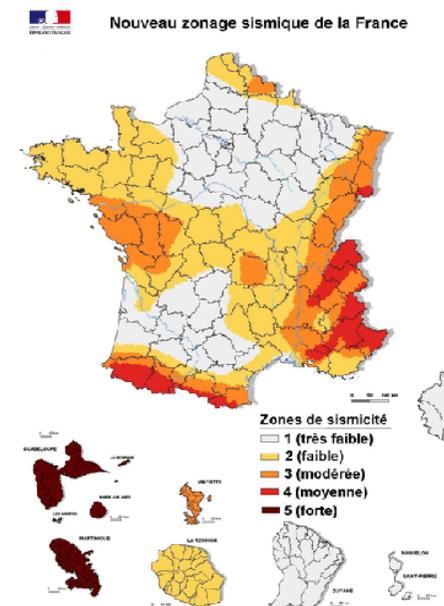
Réglementation parasismique:

Stratégies de prévention

➔ Une obligation de protection des personnes

Proportionnée :

- à l'aléa sismique (*exposition*)
 - Un zonage sismique national pour la construction des ouvrages courants



Nouveau zonage / EC8

- Des études spécifiques pour caractériser l'aléa sismique pour les ouvrages à "caractère sensible" ex : installations nucléaires

Réglementation parasismique:

Stratégies de prévention

➔ Une obligation de protection des personnes

Proportionnée :

- à l'aléa sismique (*exposition*)
- à la nature des enjeux

- **Ouvrage à risque normal (ORN)**

- **4 catégories I,II,III et IV** / risque pour les personnes et fonction primordiale en cas de crise sismique

- un niveau de contraintes croissant en terme de dimensionnement de la classe I à la classe IV

- obligation de construction parasismique selon les **règles nationales**



Réglementation parasismique:

Stratégies de prévention

Une obligation de protection proportionnée à :

- l'aléa sismique (*exposition*)
- à la nature des enjeux



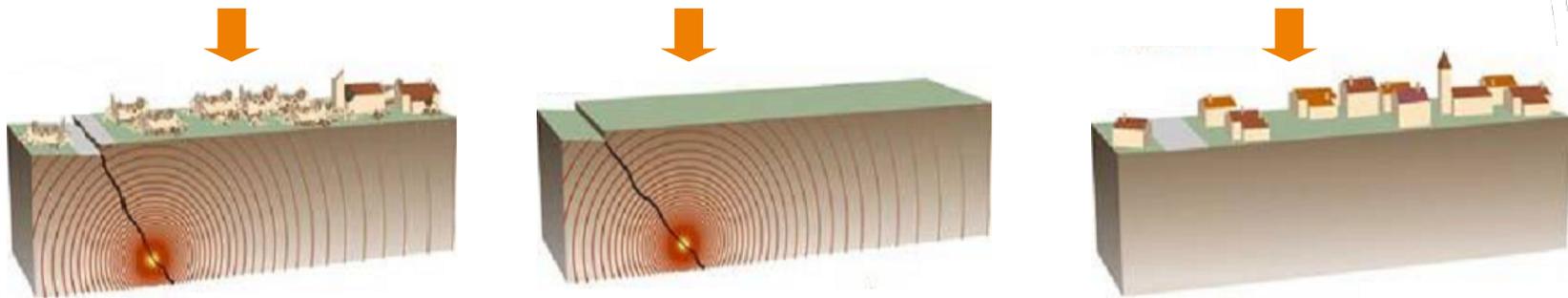
- **Ouvrage à risque spécial (ORS)**
 - installations nucléaires de base (INB)
 - installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)
 - grands barrages



Réglementation parasismique:

Les principes de la réglementation

Risque = Aléa ⊗ Vulnérabilité des enjeux



Réduire le risque

Caractériser l'aléa

Hierarchiser les enjeux

Diminuer la vulnérabilité

Organisation réglementaire

Décret n° 2010-1255

Décret n° 2010-1254

Arrêté «bâtiments»
22 octobre 2010

Adopter des règles de construction selon l'aléa et l'enjeu

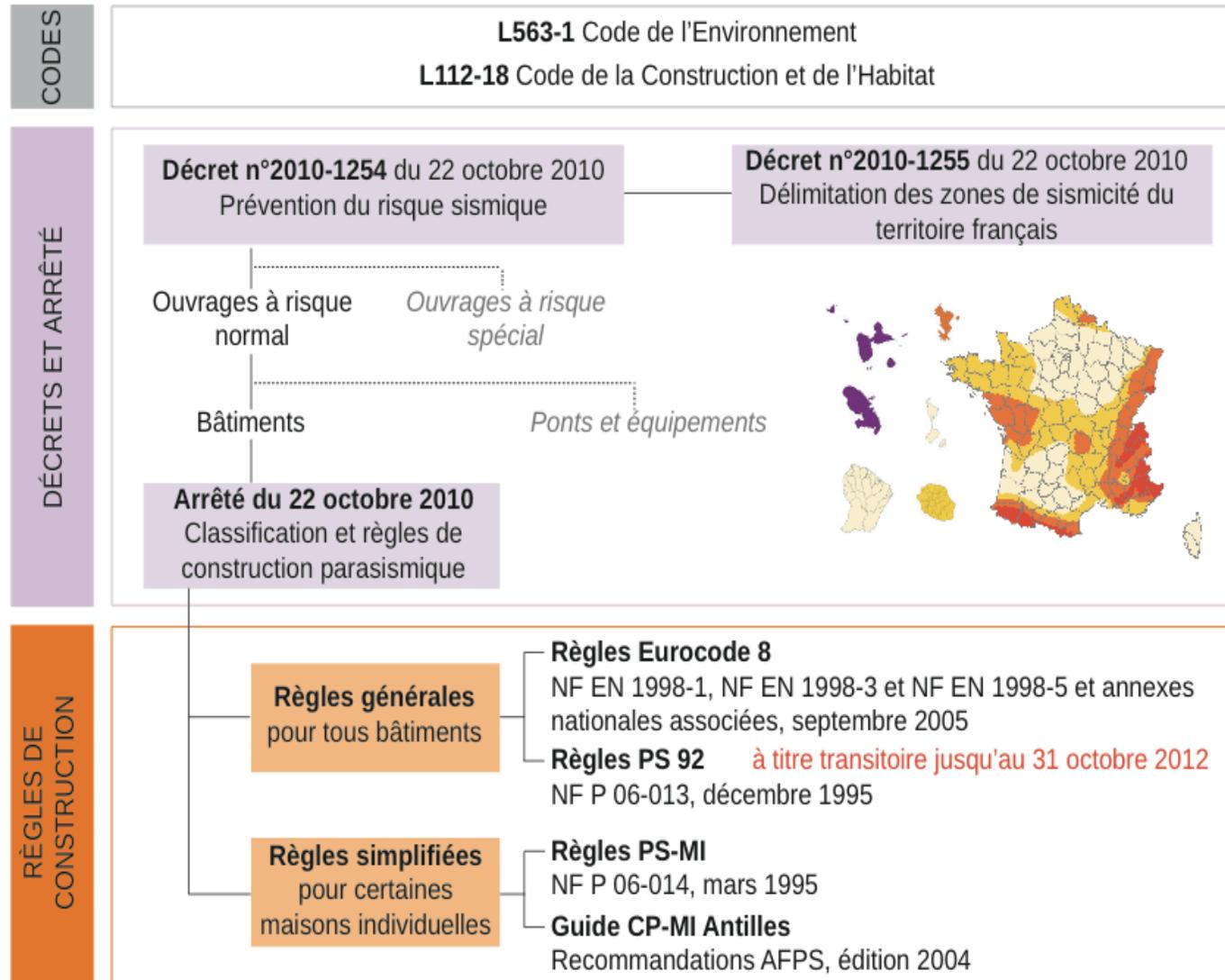
Règles de construction selon l'aléa et selon l'enjeu

1 arrêté par type d'ouvrage ORN / ORS

ICPE, barrages, ponts et équipements

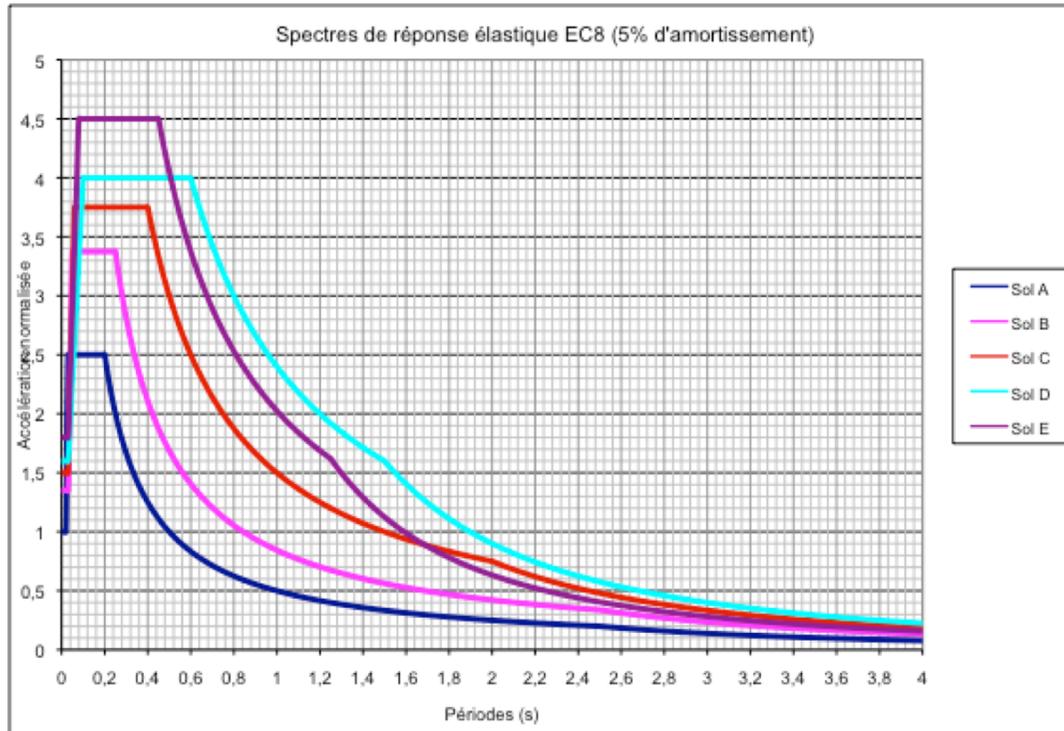
Réglementation parasismique:

■ Organisation réglementaire



Réglementation parasismique:

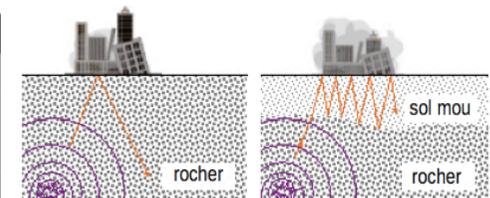
The **local hazard** linked to the lithological site effects is taken into account by considering 5 different soil classes. For each soil class a specific elastic response spectrum is given.



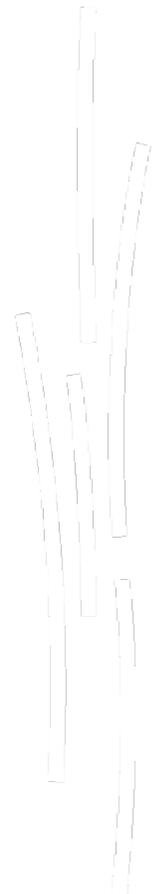
Soil classes are defined according to their geotechnical properties. Particularly by the V_{s30} parameter.

| Classes de sol | S (zones 1 à 4) | S (zone 5) |
|----------------|-----------------|------------|
| A | 1 | 1 |
| B | 1,35 | 1,2 |
| C | 1,5 | 1,15 |
| D | 1,6 | 1,35 |
| E | 1,8 | 1,4 |

Soil factor S



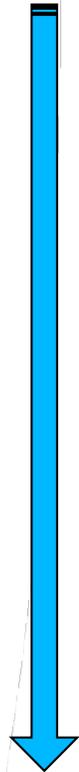
Amplification du signal sismique suivant la nature du sol



Réglementation parasismique:

Définition des classes d'ORN :

Faible enjeu



Enjeux important

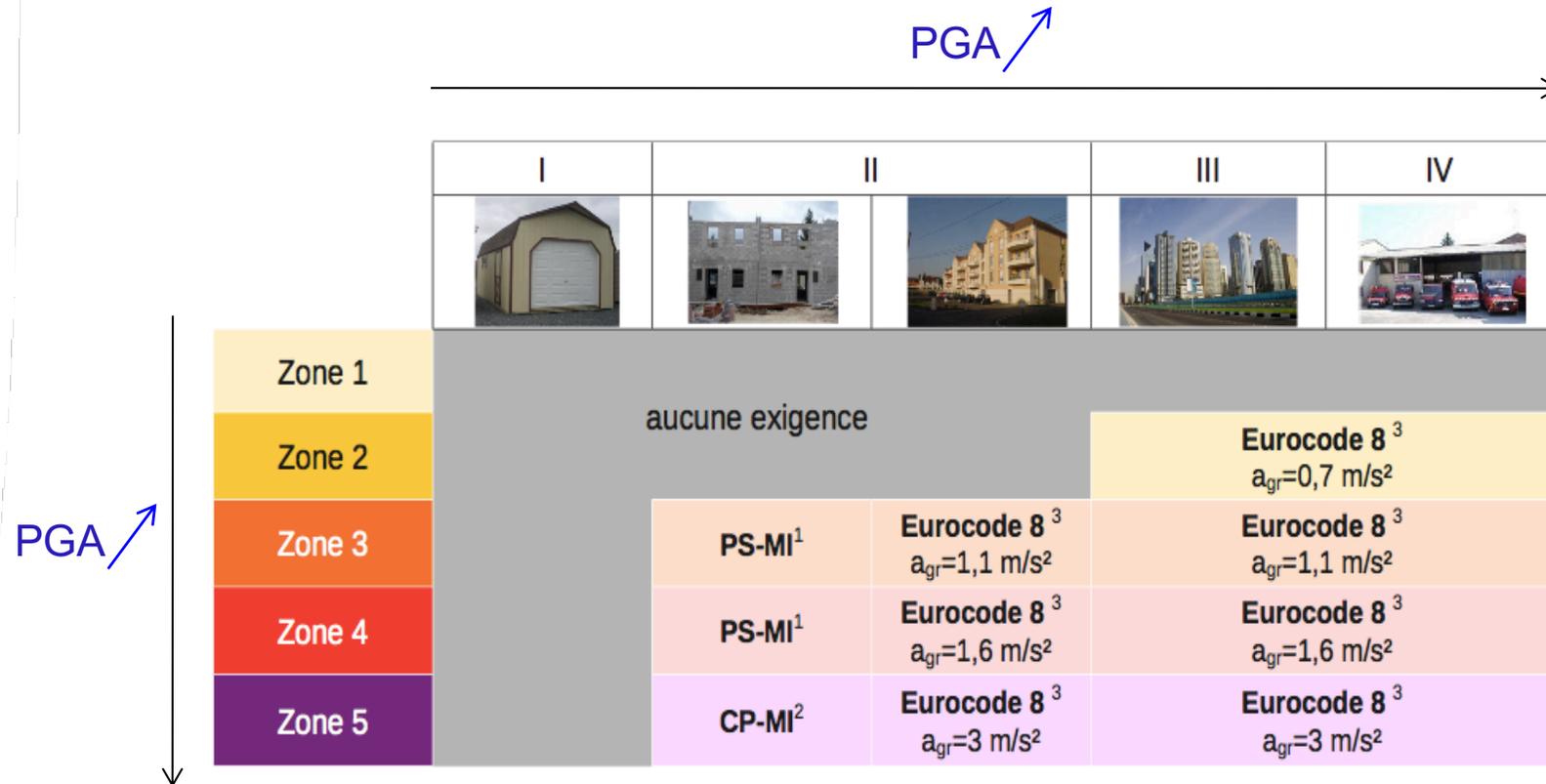
| | | | |
|-----|---|---|-----|
| I |  | <ul style="list-style-type: none"> ■ Bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée. | 0.8 |
| II |  | <ul style="list-style-type: none"> ■ Habitations individuelles. ■ Établissements recevant du public (ERP) de catégories 4 et 5. ■ Habitations collectives de hauteur inférieure à 28 m. ■ Bureaux ou établissements commerciaux non ERP, h ≤ 28 m, max. 300 pers. ■ Bâtiments industriels pouvant accueillir au plus 300 personnes. ■ Parcs de stationnement ouverts au public. | 1.0 |
| III |  | <ul style="list-style-type: none"> ■ ERP de catégories 1, 2 et 3. ■ Habitations collectives et bureaux, h > 28 m. ■ Bâtiments pouvant accueillir plus de 300 personnes. ■ Établissements sanitaires et sociaux. ■ Centres de production collective d'énergie. ■ Établissements scolaires. | 1.2 |
| IV |  | <ul style="list-style-type: none"> ■ Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre public. ■ Bâtiments assurant le maintien des communications, la production et le stockage d'eau potable, la distribution publique de l'énergie. ■ Bâtiments assurant le contrôle de la sécurité aérienne. ■ Établissements de santé nécessaires à la gestion de crise. ■ Centres météorologiques. | 1.4 |

γ_i



Réglementation parasismique:

La sollicitation sismique à prendre en compte dépend du lieu de construction et de l'importance du bâtiment.



Peak ground acceleration (PGA) : $A_{max} = \gamma_i \times a_{gr} \times S$



Réglementation parasismique:

Calcul de la charge sismique

$$\text{EUROCODE 8 : } F_b = \Upsilon_I a_{gr} S a_s \frac{1}{q} m \lambda S_T = S_d(T_1) m \lambda S_T$$

où :

F_b = effort tranchant à la base de la structure

a_g = accélération de calcul au rocher ($a_g = \Upsilon_I a_{gr}$)

Υ_I = coefficient d'importance du bâtiment

a_{gr} = accélération de référence au rocher

S = paramètre du sol

a_s = valeur lue sur le spectre de calcul

q = coefficient de comportement

m = masse sismique du bâtiment au-dessus des fondations ou du sommet d'un soubassement rigide

λ = coefficient de correction (en raison des modes négligés)

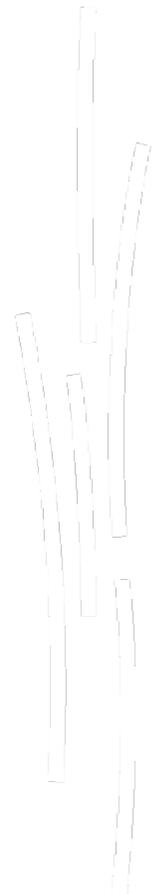
$\lambda = 0,85$ pour les bâtiments R+2 et plus si $T \leq 2T_c$

$\lambda = 1$ dans les autres cas

S_T = coefficient d'amplification topographique, applicable si $\Upsilon_I > 1$

(catégories d'importance des bâtiments III et IV)

Méthode applicable si $T \leq 4T_c$ et ≤ 2 s et si le bâtiment est régulier



LE POINT DE VUE ARCHITECTURAL



Architectural vulnerability

Appropriate architecture can prevent important building damage.

Earthquake resistant buildings avoid vulnerability factors from inadapted architecture.

A building's design will be more or less difficult to achieve depending on its architecture.



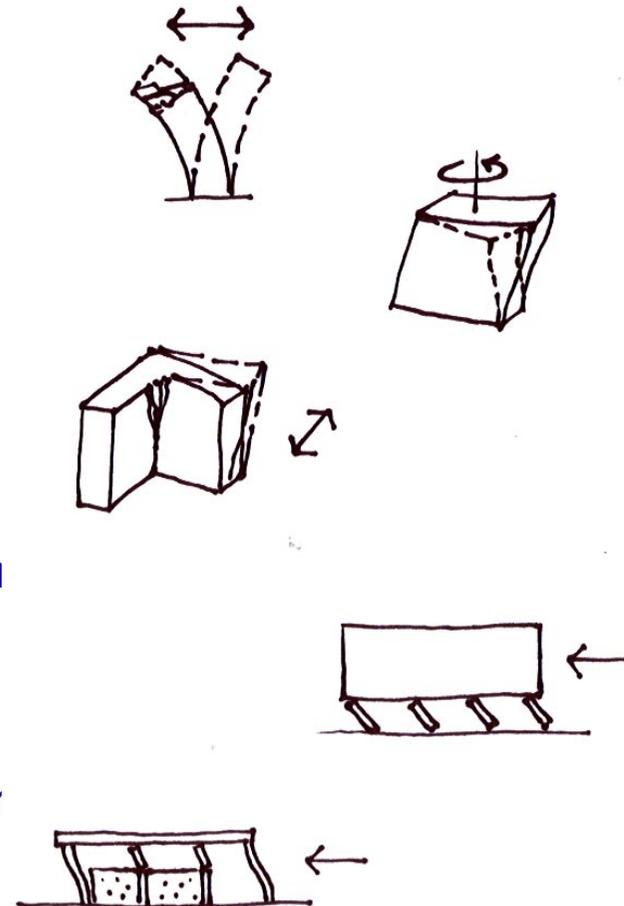
Earthquake resistant architecture



Architectural vulnerability

Main consequences of inappropriate architecture :

- Large oscillations
- Torsion
- Variation of oscillations
- Weakening of some specific building parts
- Focusing of the deformation on pair of columns



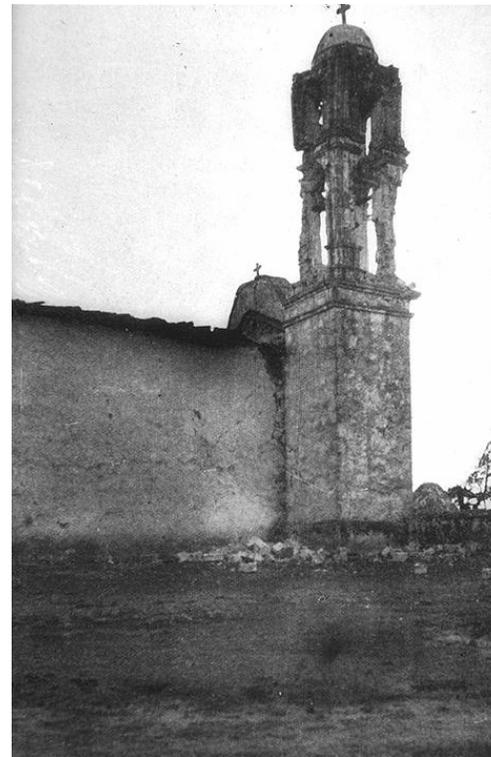
Architectural vulnerability

Large oscillation: when the building enters into resonance with the soil vibration

$$T_{\text{building}} = T_{\text{soil}} \text{ (eigen periods)}$$



Rocks



Soft Soil

To avoid it: modification of the eigen period of the building (stiffness/weight/earthquake isolation)



Architectural vulnerability

Example of building collapse due to resonance phenomenon



Mexico 1985



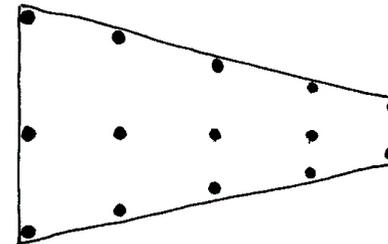
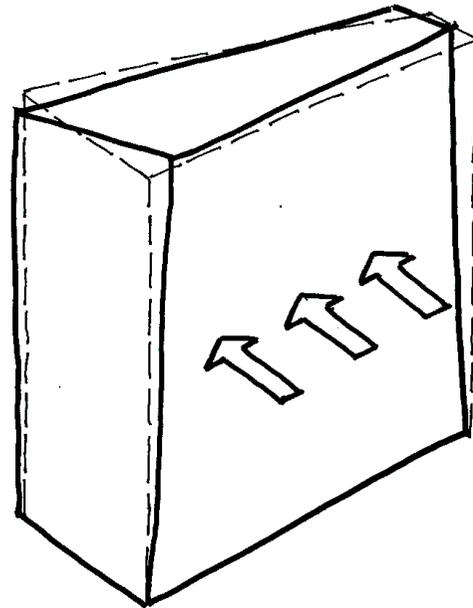
Architectural vulnerability

TORSION:

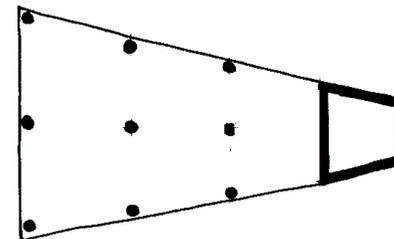
A variation in stiffness in a building creates a deformation in the torsion of the whole building during shaking.

In order to avoid it, all parts of a building should have the same stiffness.

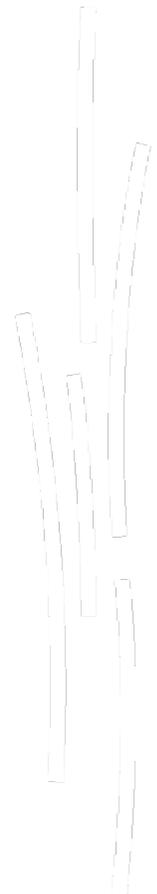
Example : stiffness variation due to an irregular shape



DIFFERENCE DE RIGIDITE DE FORME
NON COMPENSEE



DIFFERENCE DE RIGIDITE DE FORME
COMPENSEE

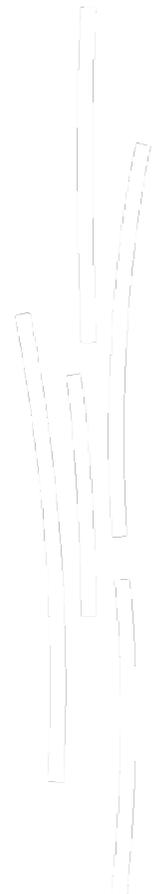


Architectural vulnerability

Damage example due to torsion :



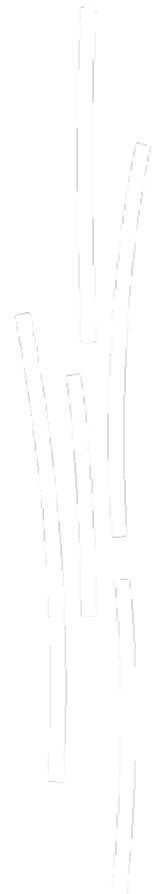
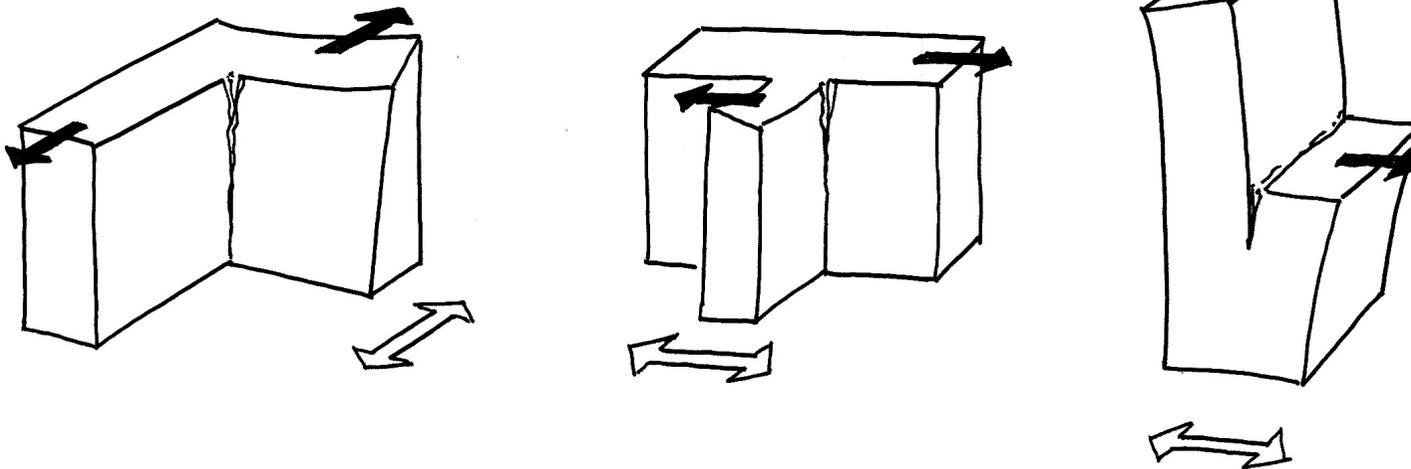
Chris Arnold



Architectural vulnerability

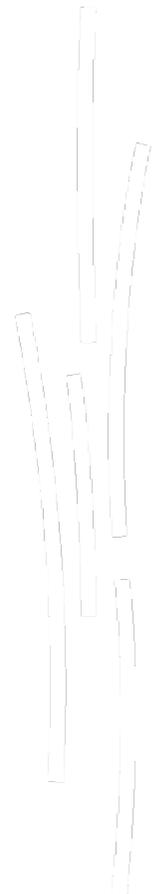
VARIATION OF OSCILLATIONS :

- Leads to strong damage in the angles of the building
- Is due to geometrical irregularities in plan or elevation (rapid variation of the stiffness)



Architectural vulnerability

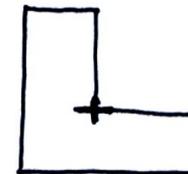
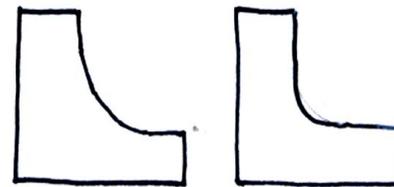
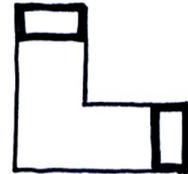
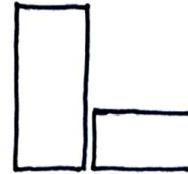
Examples of damage due to irregularities in shape :



Architectural vulnerability

PREVENTION: In order to prevent damage due to these irregularities one can:

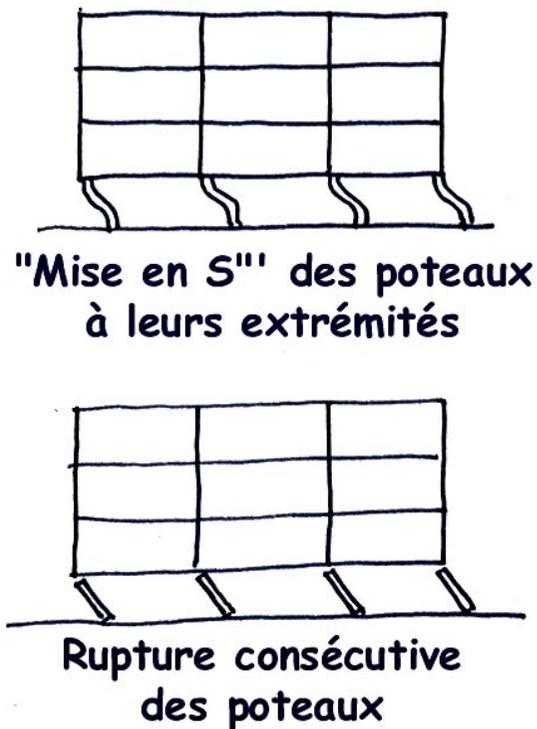
- a) Use a joint to separate the two parts of the building
- b) Increase the stiffness of the extremities
- c) Change the shape of the building, avoiding sharp angles
- d) Reinforce the angle
- e) Isolate the building from the shaking



Architectural vulnerability

Transparency (soft story) :

Due to soft story: the contrast of rigidity between the transparent story and the others leads to the building's collapse



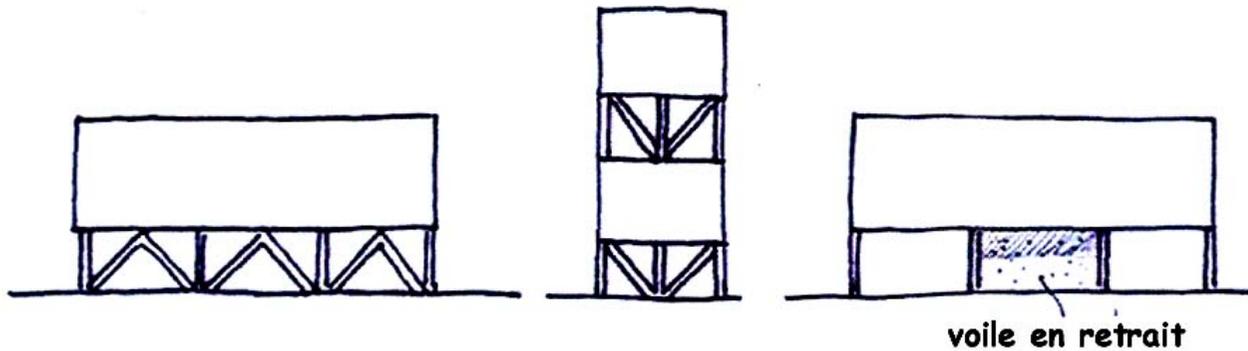
Ceyhan-Misis, Turquie 1998



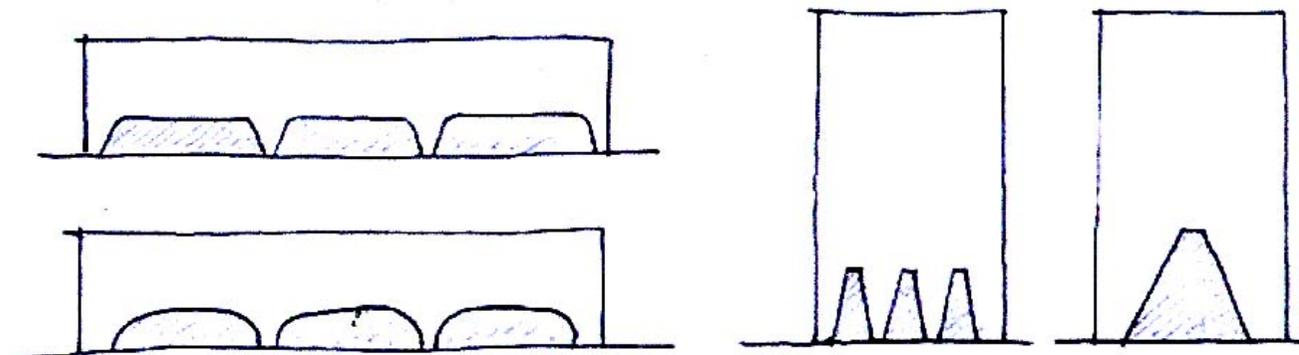
Architectural vulnerability

PREVENTION: In order to prevent damage due to soft story one can:

- Add shear walls



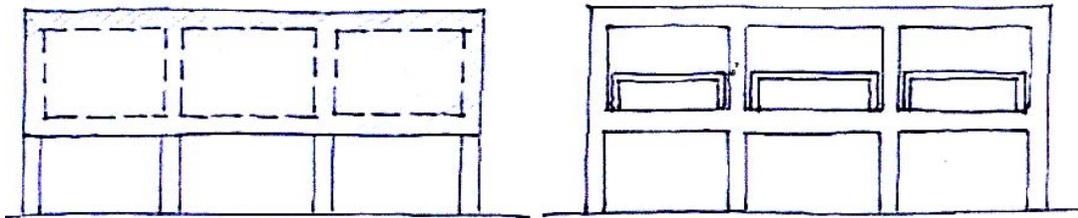
- Make the rigidity of the column to vary with heights



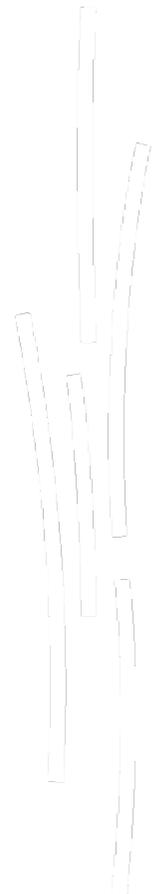
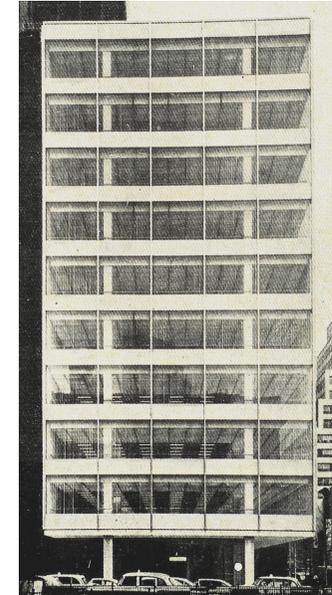
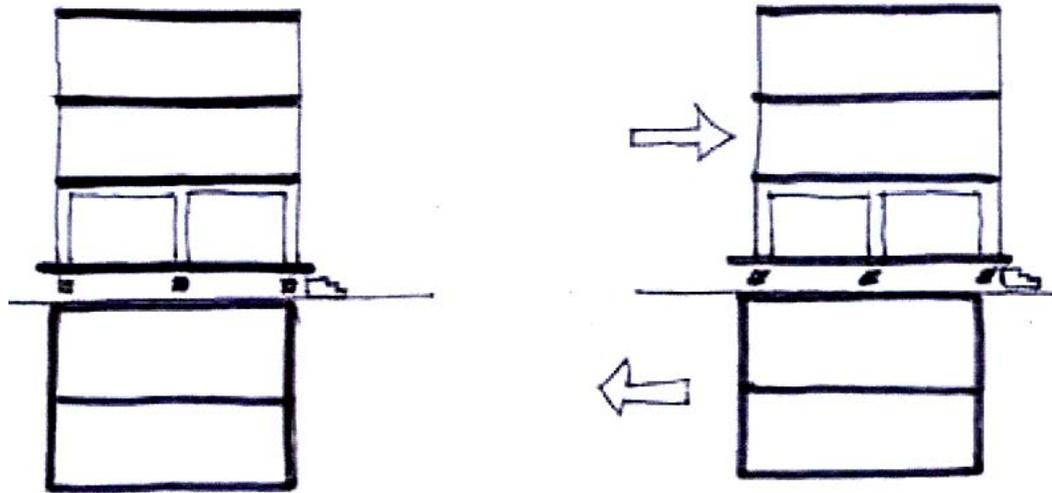
Architectural vulnerability

PREVENTION: In order to prevent damage due to soft story one can:

- Reduce the rigidity of the upper storey



- Use seismic isolation systems



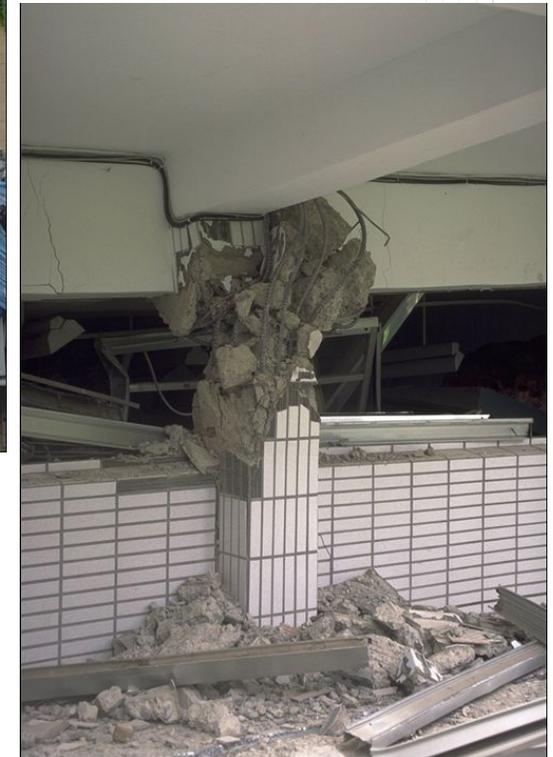
Architectural vulnerability

Force concentration on part of a column



Chi-Chi earthquake, Taiwan 1999

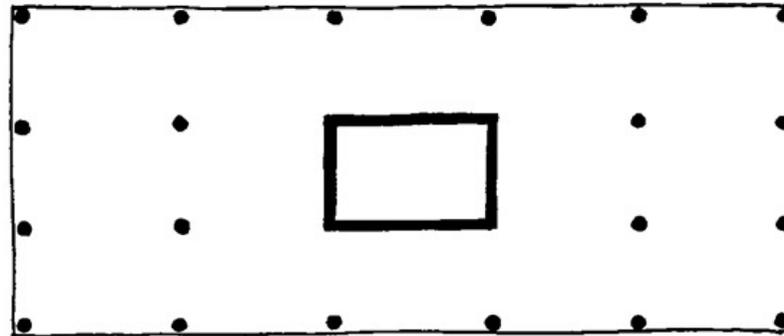
Because the columns are designed to handle a deformation on their entire height, they broke if they are partially blocked by masonry infill.



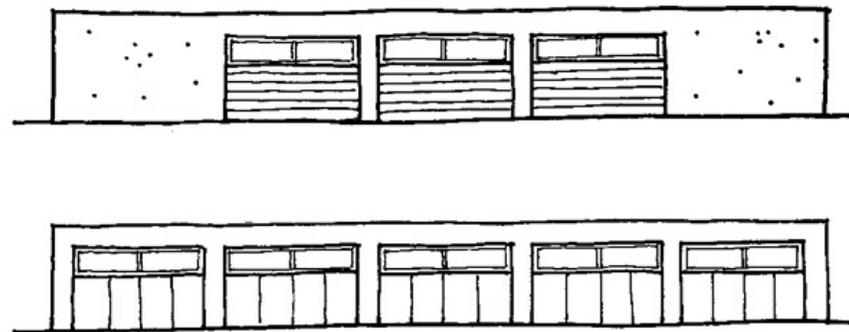
Architectural vulnerability

PREVENTION: In order to prevent damage due to these short columns one can:

- Add shear walls



- Suppress the rigid blocs between columns



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

