



# CONCEPTION DES OUVRAGES EN ZONE SISMIQUE

---

L 'Art de construire  
s 'articule autour de 3  
pôles:

- Conception architect.
- Calcul
- Réalisation

M. CHOURAK



En zone sismique, l'Art  
de construire impose  
plus de rigueur dans la  
conception



$$F = m \times \gamma$$

**F** = forces sismiques

**m** = masse de l'ouvrage

**$\gamma$**  = accélération du sol

Minimiser **F** =====> minimiser **m** et  **$\gamma$**

Minimiser **m** =====> construire léger, simple, etc.

Minimiser  **$\gamma$**  =====> choisir un « bon » site

*Minimiser les effets sismiques*




*Conception Parasismique*



# La conception parasismique

---

Concevoir parasismique

 s'intéresser à tous les facteurs influençant le comportement du bâtiment.

La première étape (l'esquisse) est importante et influe sur le reste des étapes de la construction.



## **Les objectifs de la conception parasismique:**

**Pour la durée de vie d'une structure, une conception satisfaisante doit fournir des garanties acceptables contre:**

- **Dégâts excessifs dus à un séisme modéré**
- **Effondrement dû à un séisme important (sévère)**



# La conception parasismique repose sur 5 piliers:

- Conception 
  - **Choix du site**
  - **Conception architecturale**
- Calcul 
  - **Respect des règles parasismiques**
- Réalisation 
  - **Une exécution de qualité**
  - **Une maintenance régulière**



# Le choix du site

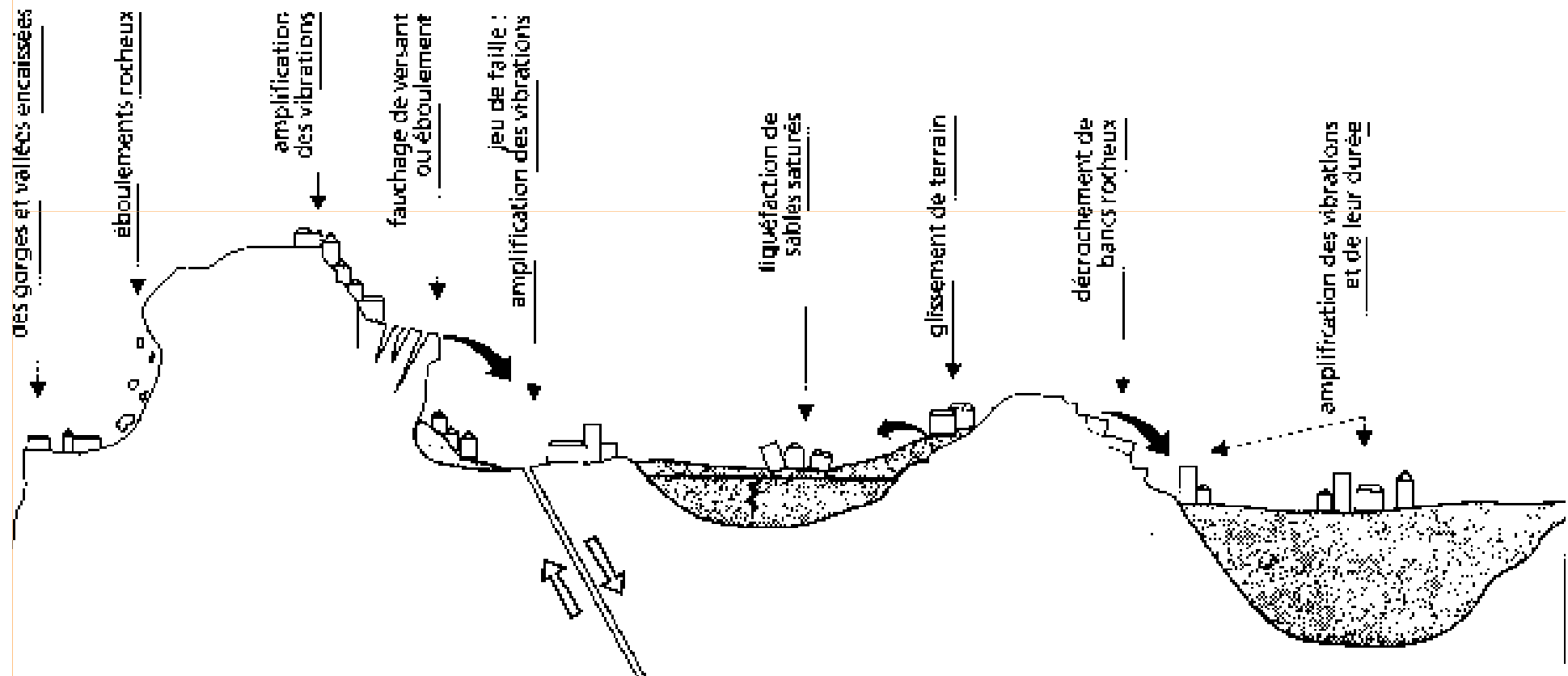
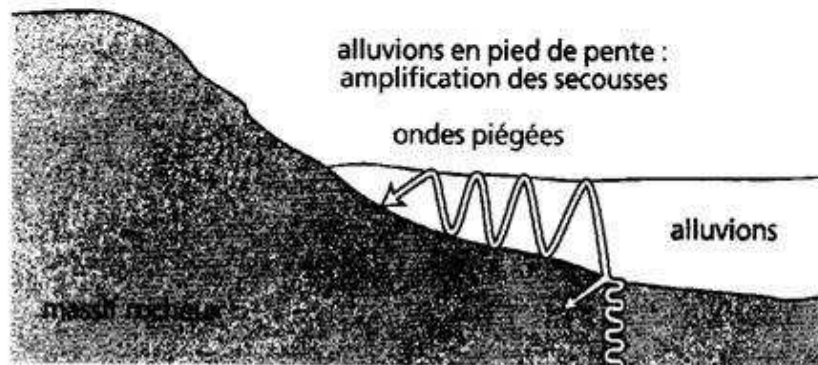
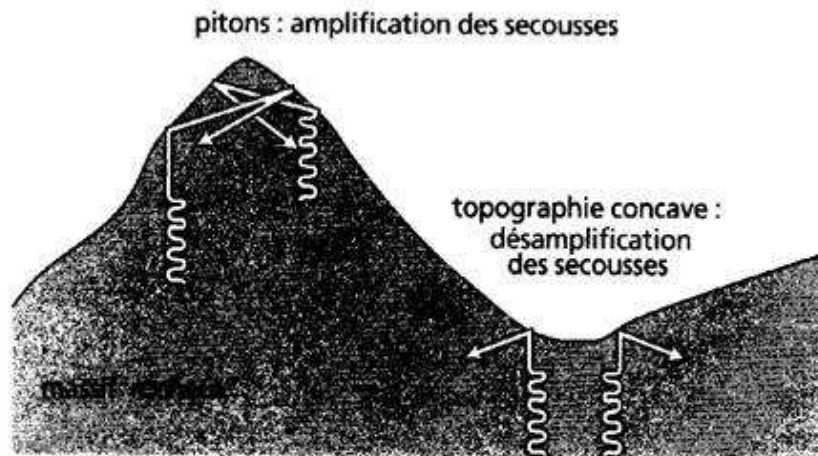


FIG. V | 3 Sites à effets directs amplifiés et sites menacés par les effets induits par les séismes : implantation de constructions déconseillée

# Effets de site (1)

## Amplification du mouvement



***Influence de la topographie sur l'intensité des secousses (représentation schématique).***

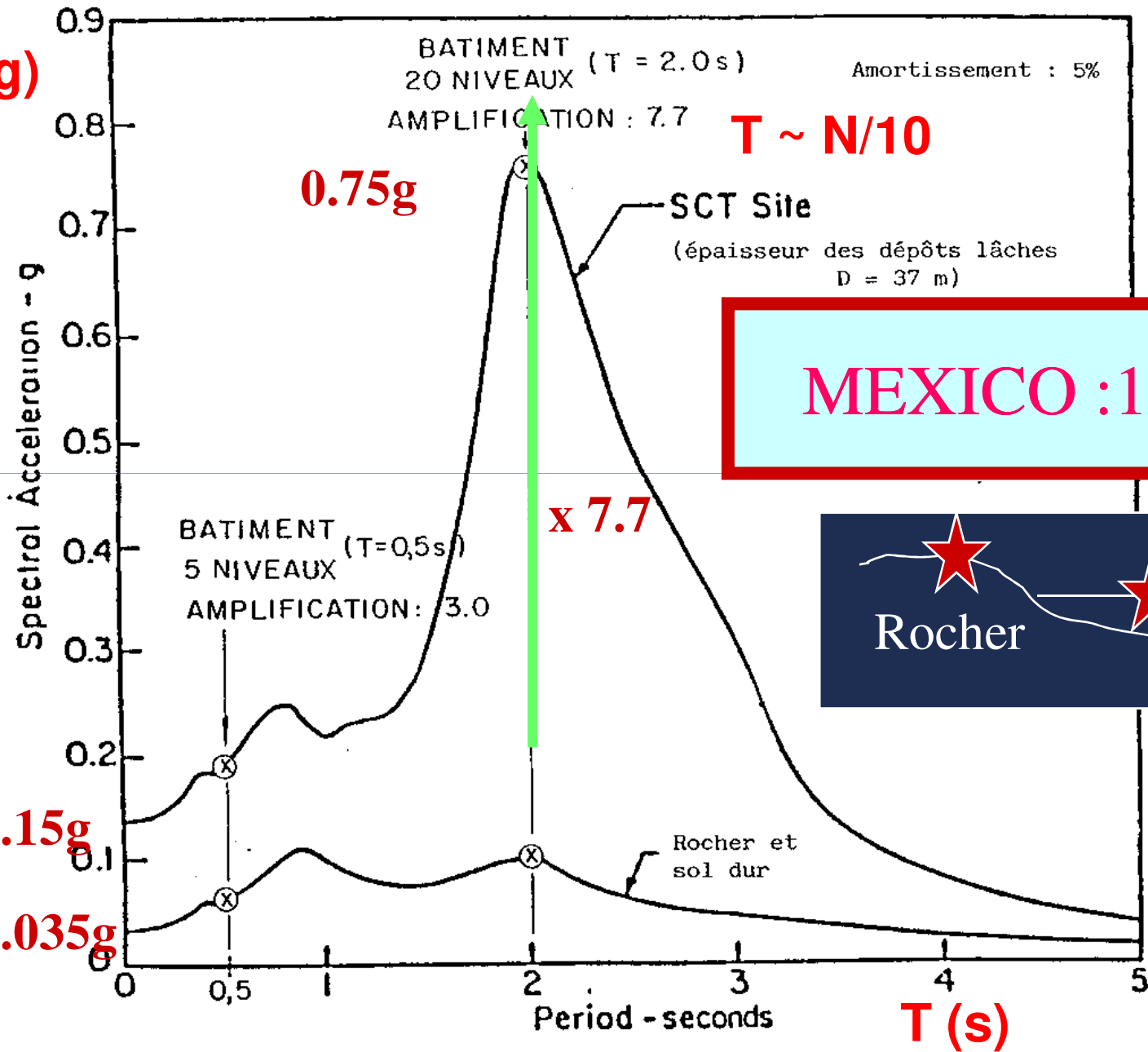


***Rognes après le séisme du 11 juin 1909 : les dommages les plus importants se sont produits au sommet de la colline.***





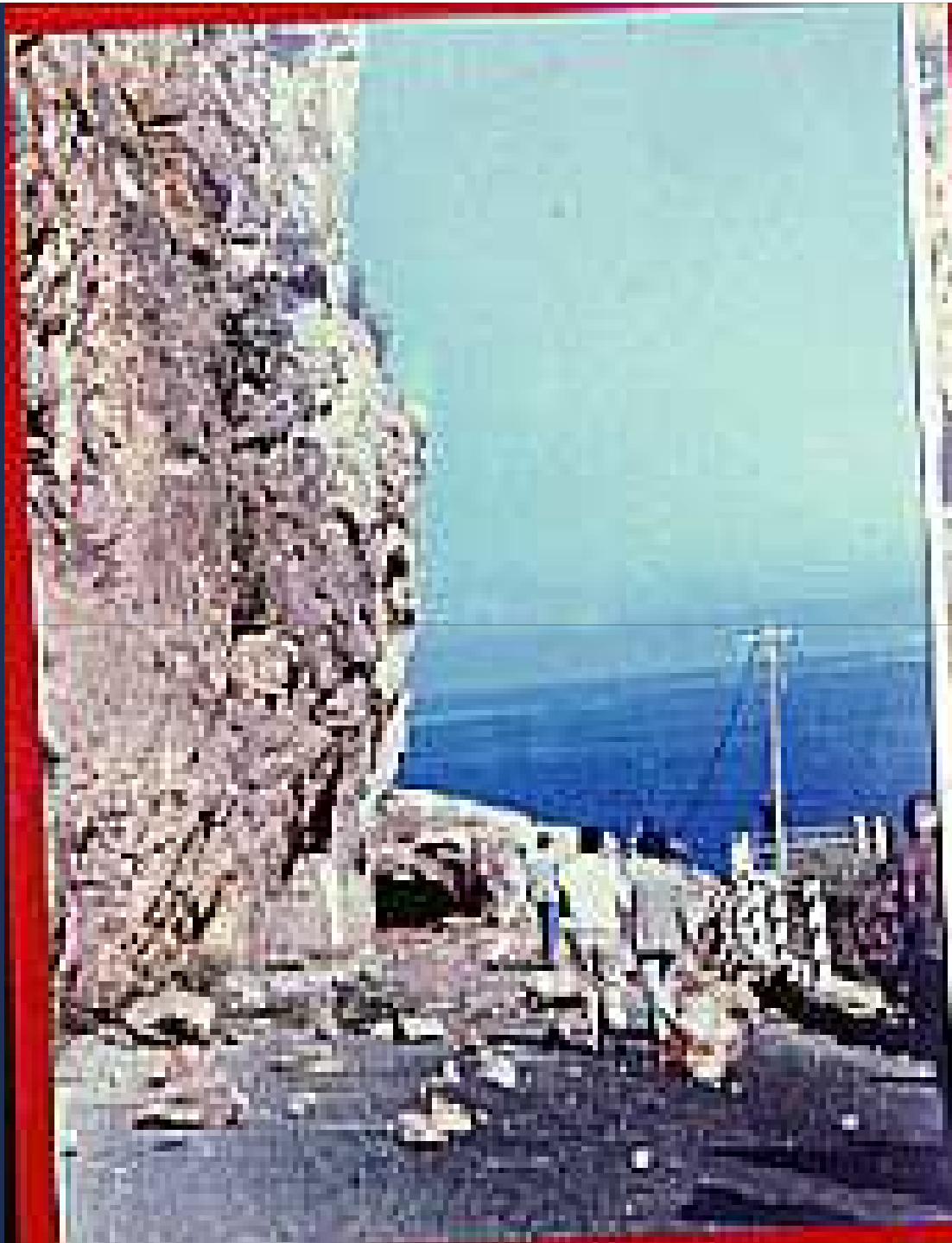
Sa (g)



## Effets de site (2)

Décrochement de  
bancs rocheux

(Tipaza 1989)



## Effets de site (3) - Glissement



Californie, janvier 2005

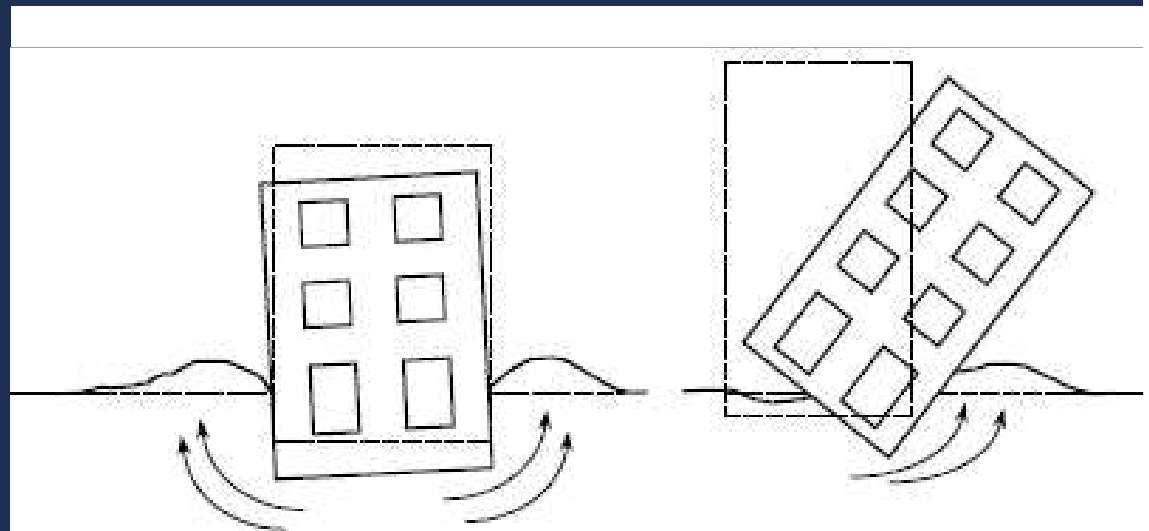


## Effets de site (3) - Liquéfaction

*En cas de sols sablonneux tenir compte d'une éventuelle liquéfaction du sol!*

**Certains sol sablonneux à teneur en eau élevée sont très stables et supportent bien les charges statiques, mais se comportent comme un liquide sous l'effet de vibrations. Les bâtiments peuvent s'affaisser ou s'incliner (liquéfaction inégale) , ce qui peut aboutir à un effondrement total.**

**Des mesures spéciales telles que renforcement par injections, fondation profonde (pieux), etc, peuvent éviter ce phénomène.**



En cas de sols sablonneux tenir compte d'une éventuelle liquéfaction du sol !



# Effets de site (4)

# Liquéfaction



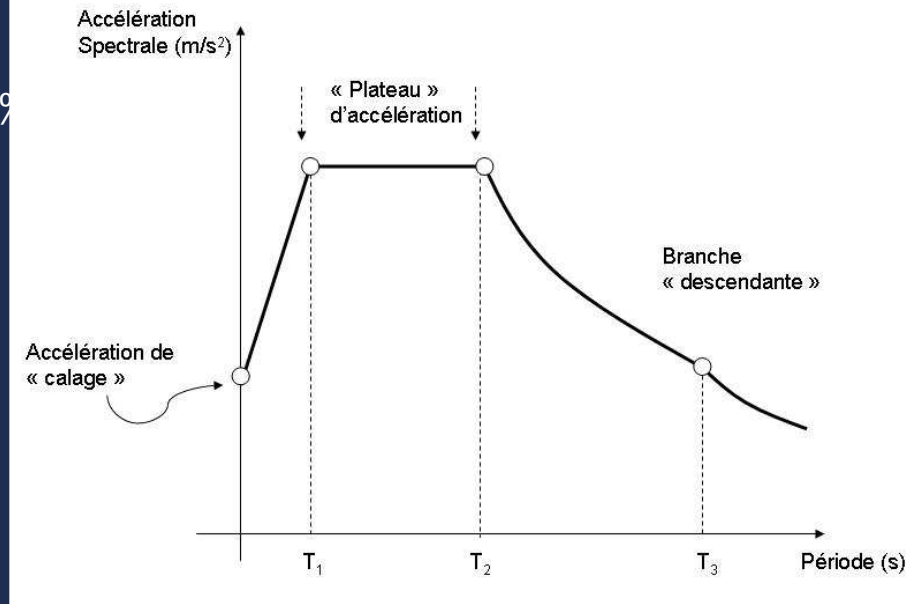
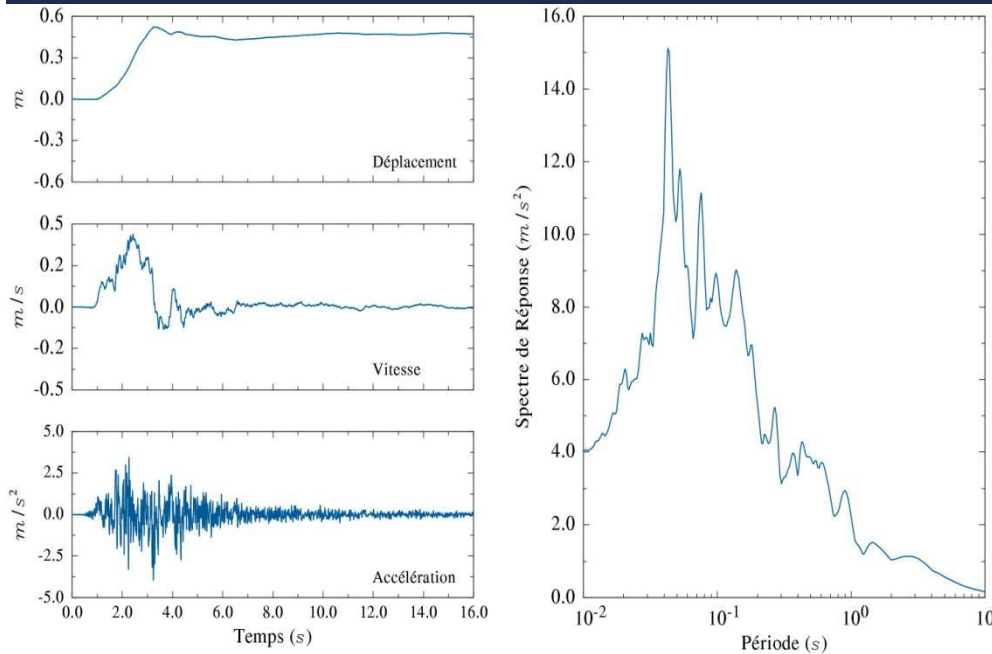
***Dans certains cas le développement d'un spectre de site est nécessaire!***

**Certaines conditions de sol peuvent amplifier le mouvement du sol et la réponse structurale.**

- Sols meubles (vitesse des ondes de cisaillement  $< 200$  m/s ou épaisseur importante)**
- Vallées avec des remplissages alluviaux ou glaciaires (profondeur / largeur  $> 0.2$ )**



# Mouvement sismique : le spectre de réponse élastique



Le domaine des fréquences d'intérêt des structures / équipements :

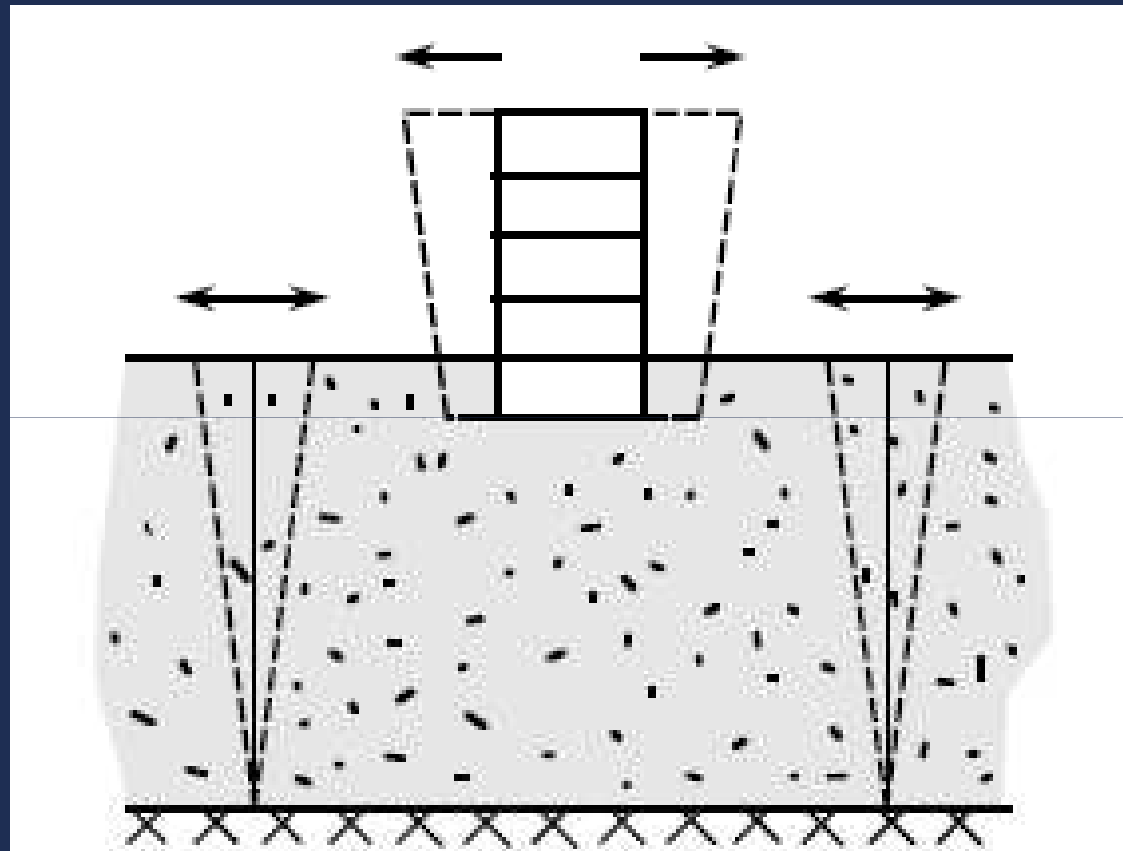
~ 0.1 Hz à ~ 50 Hz  
~ 10 s à ~ 0.02 s

Forme « simplifiée » du spectre de réponse (approche réglementaire)



- de façon générale, en cas de soupçon d'une résonance entre le sol et le bâtiment.

Dans ces cas, des études spéciales sont indispensables. et l'élaboration d'un spectre de réponse propre au site est nécessaire.

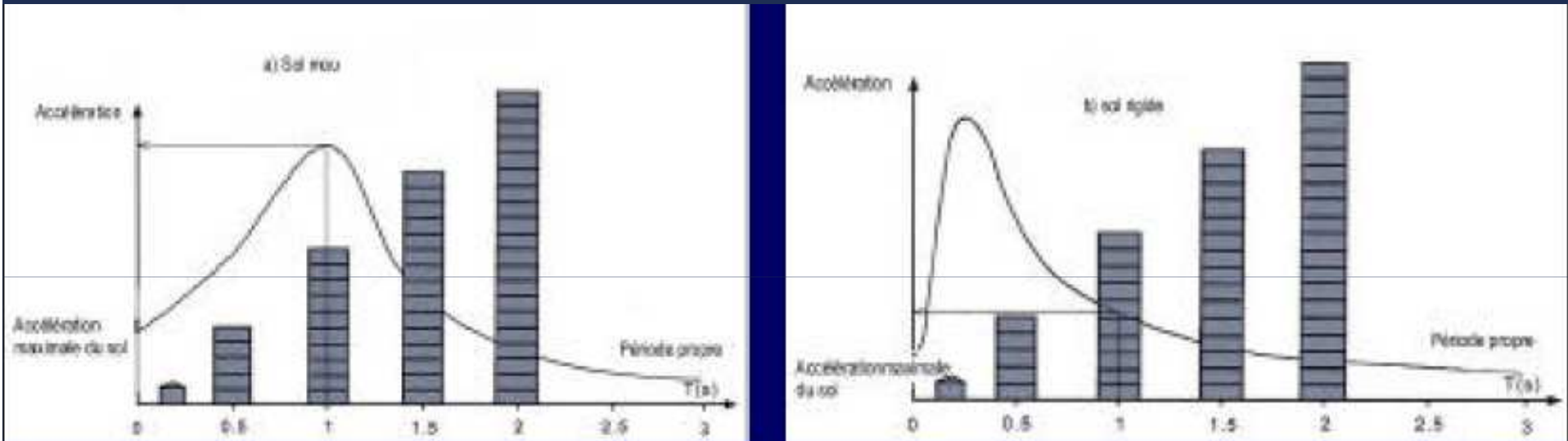


Dans certains cas le développement d'un spectre de site est nécessaire !





# Prévention de la résonance



Solutions:

Sol meuble : structure rigide

Sol ferme : structure souple



# La conception architecturale

Les principes du calcul et du dimensionnement concernent avant tout les domaines l'Ingénieur Génie Civil, mais sont également importants pour l'Architecte.

Le comportement d'un bâtiment est influencé par sa forme. Certaines configurations amplifient considérablement les sollicitations dues aux secousses et donc créent de mauvaises conditions de résistance.



### **3 options pour une conception architecturale parasismique:**

- **Symétrie selon deux axes en plan ; les plans carrés ou proches du carré conviennent très bien.**
- **Le centre de rigidité du bâtiment doit être confondu avec son centre de gravité (la torsion d'ensemble est un facteur aggravant, quand les éléments de contreventement sont décentrés).**
- **Pour chaque bloc, veiller à ce qu'il existe un système de contreventement pour chacune des deux directions principales horizontales.**



## D'une manière plus simple, s'intéresser à:

- Symétrie en plan
- Simplicité du plan
- Dimensions horizontales
- Symétrie et simplicité en élévation
- Hauteur et position du centre de gravité
- Présence de niveaux ouverts
- Hauteur d'étage

haut.d ' étage                      % dommag

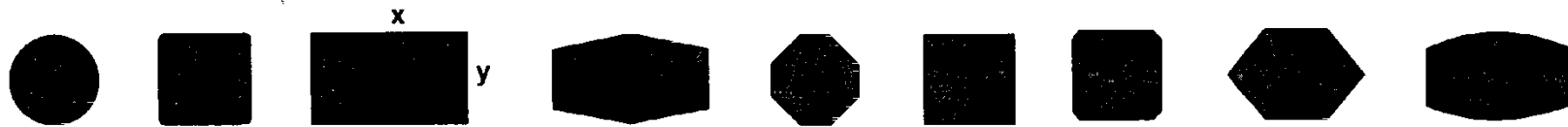
h<3.60m    1.8

3.60<h<4.80    3.3

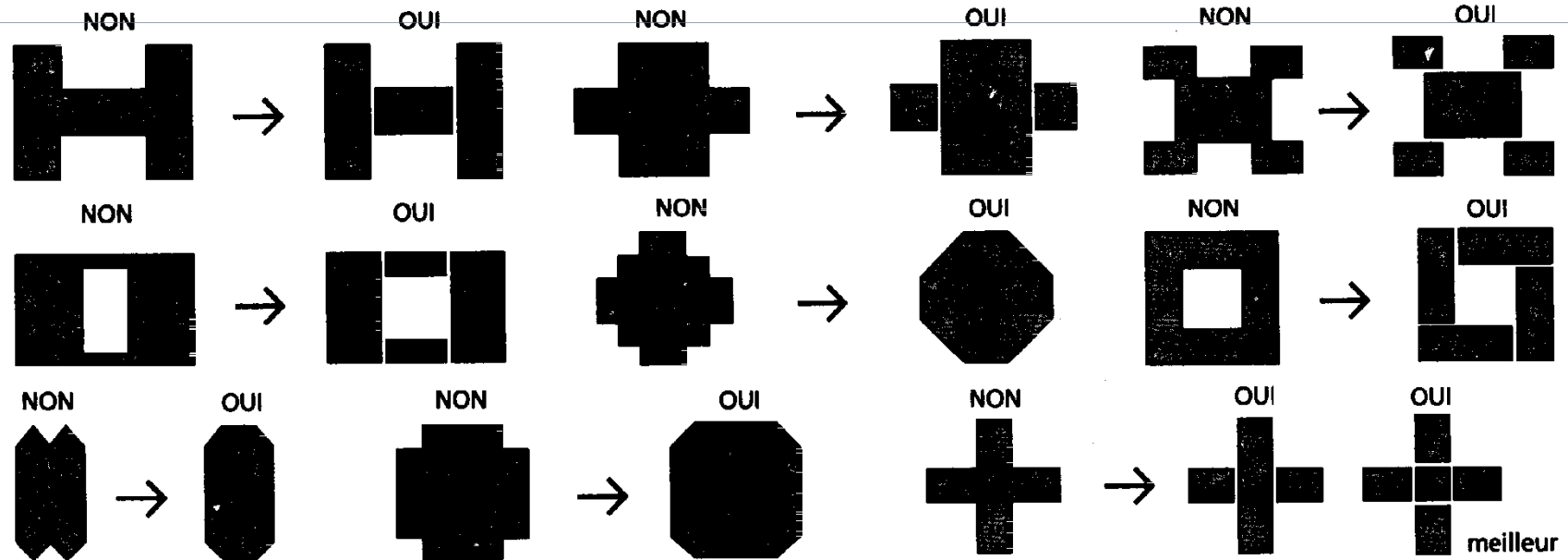
h>4.80    7.0



# Forme du bâtiment (1)

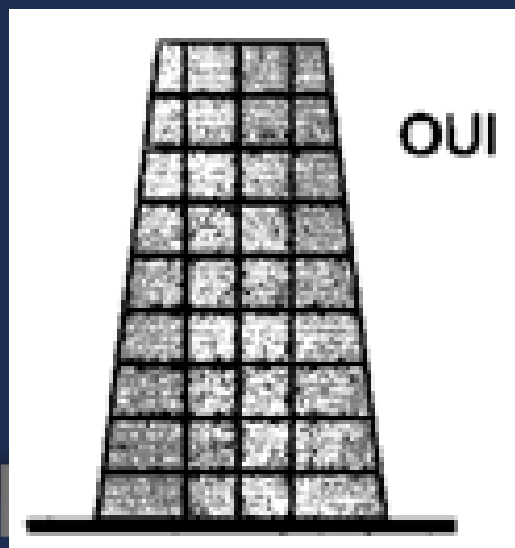
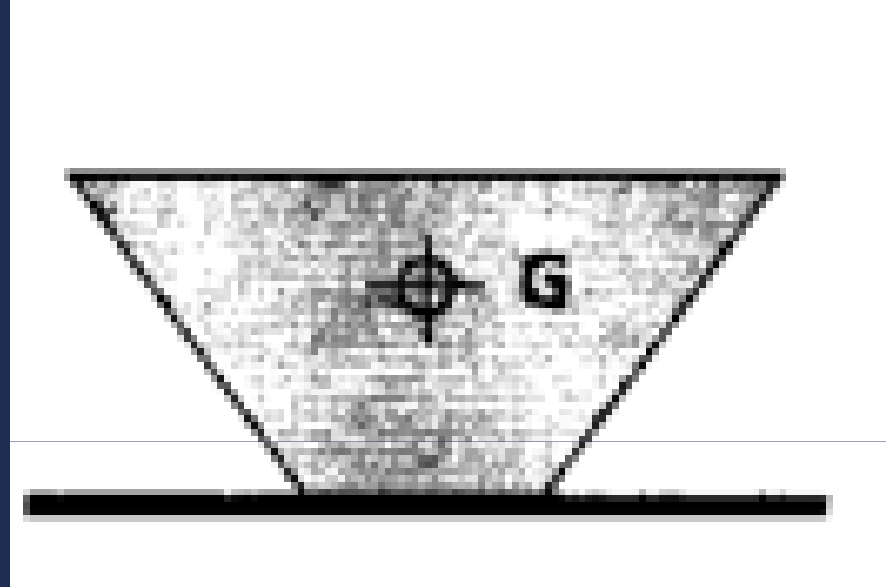
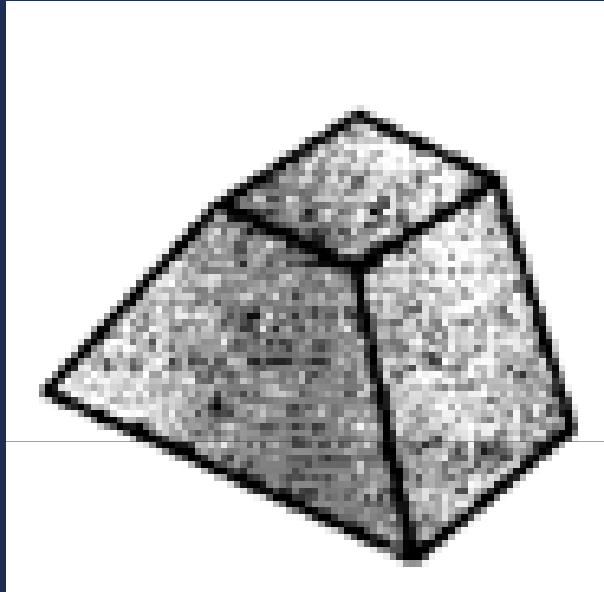


a) configurations favorables : plans simples et compacts à 2 axes de symétrie

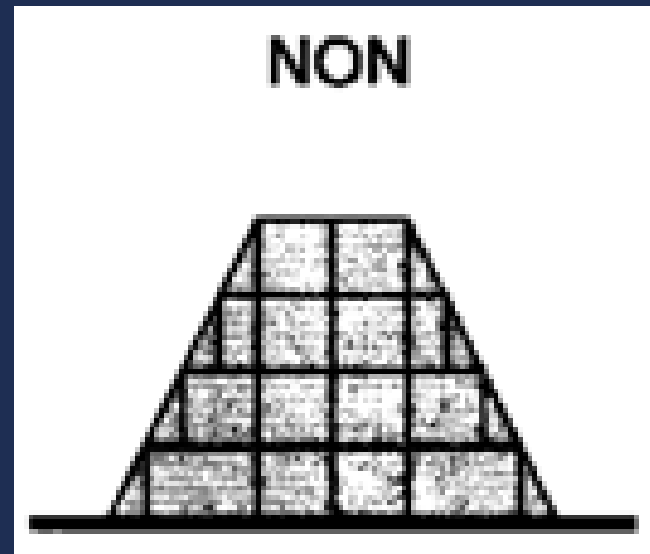


plan complexe à 2 axes de symétrie

## Forme du bâtiment (2)



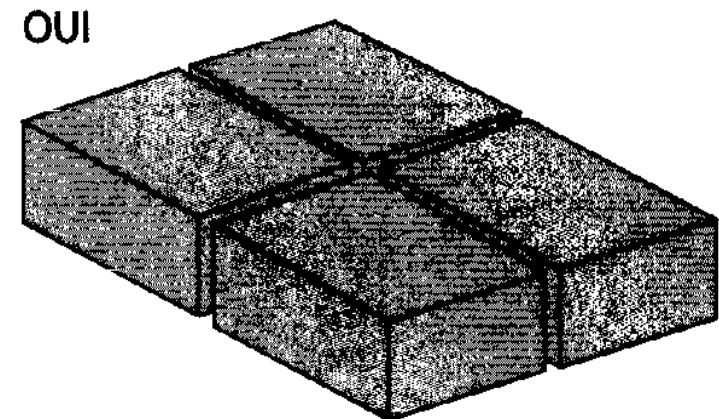
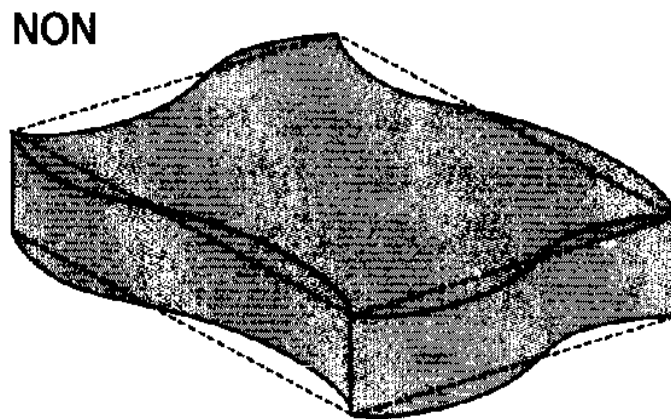
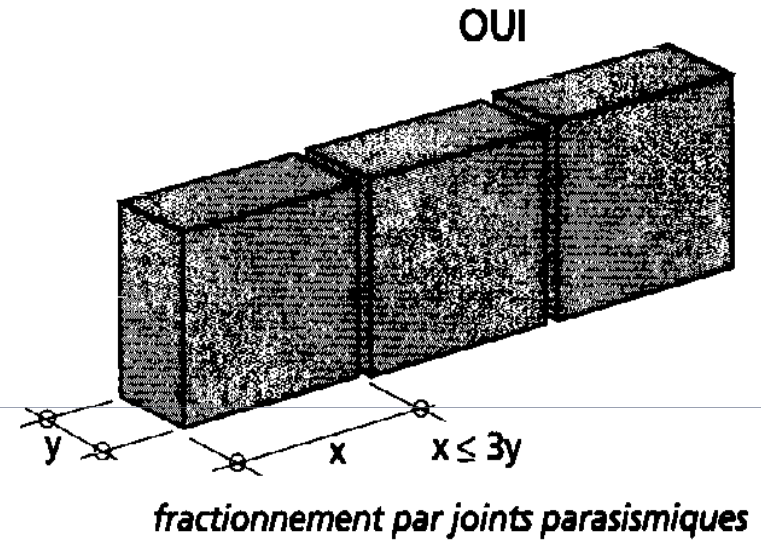
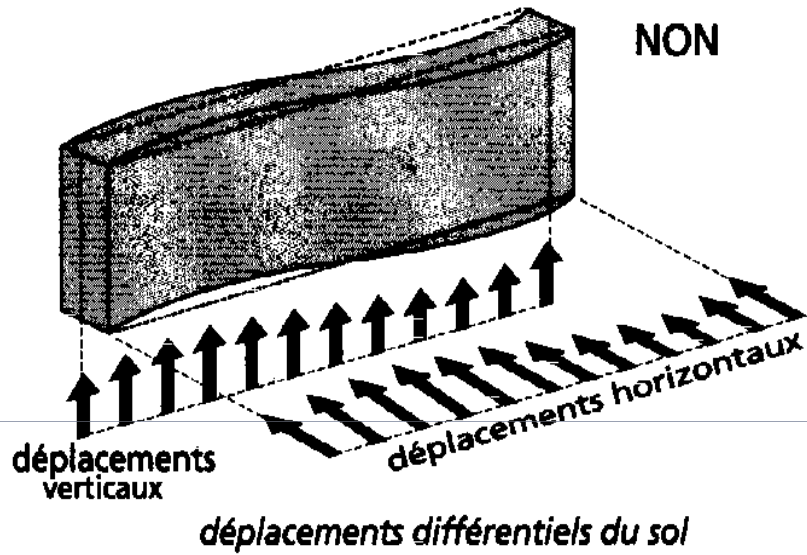
OUI



NON

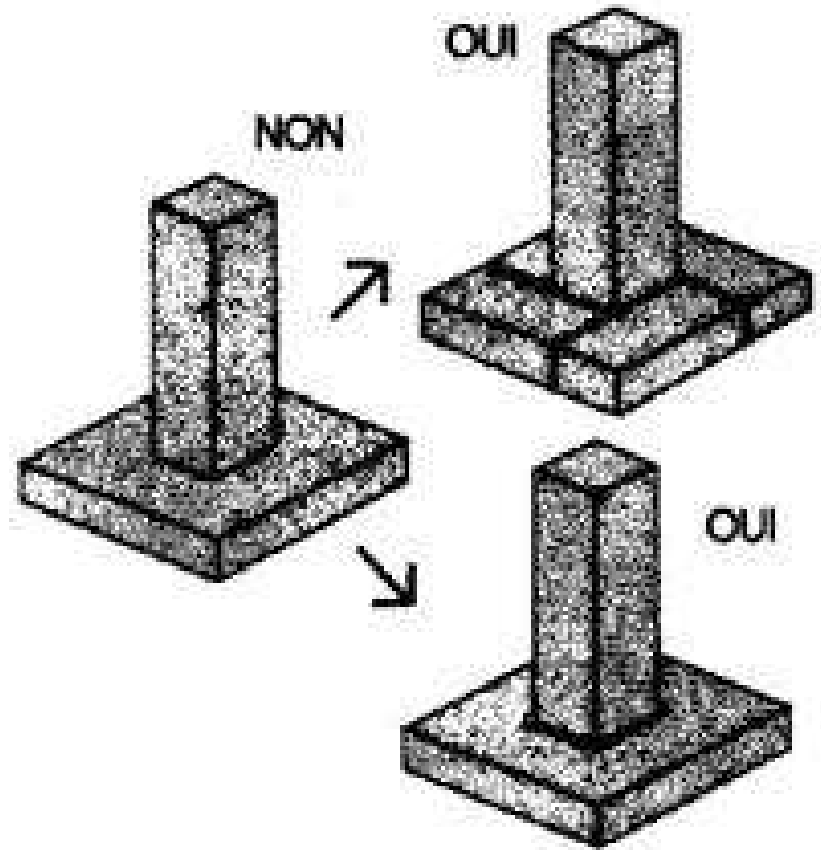
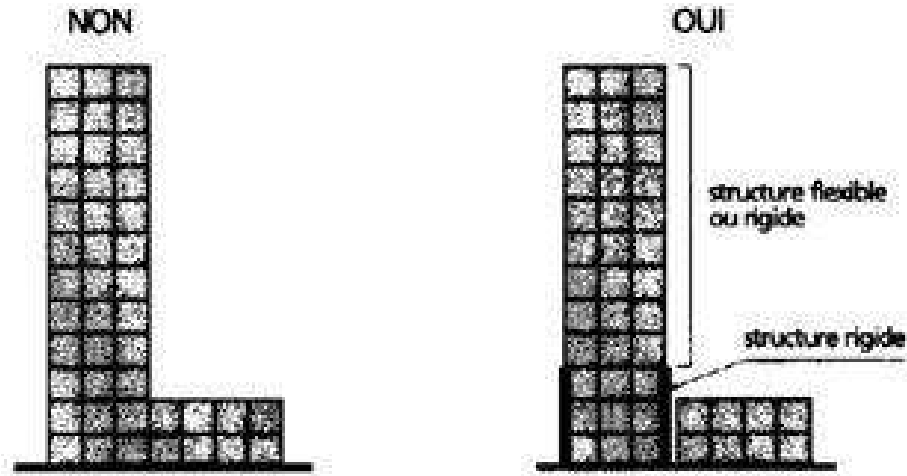


# Forme du bâtiment (3)



**âtiments de grandes dimensions horizontales.**

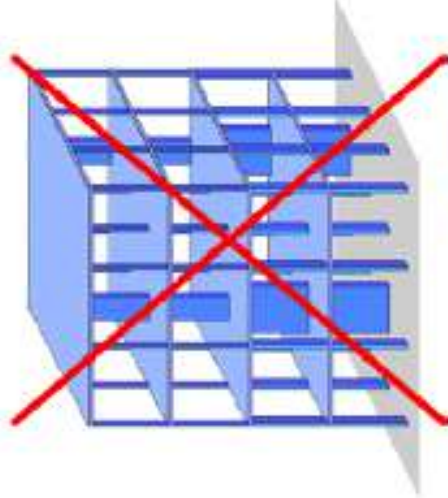
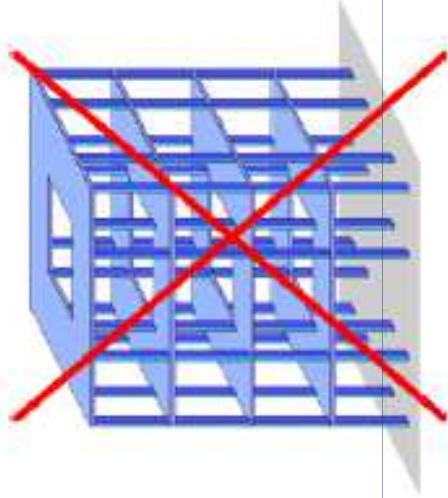
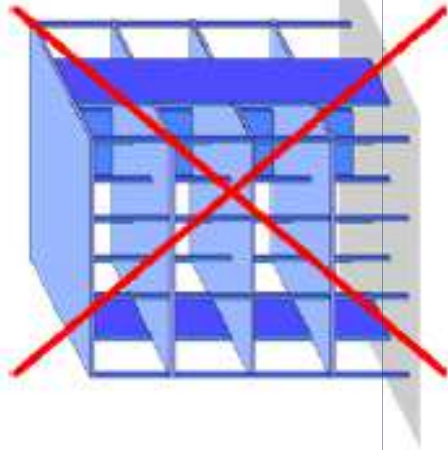
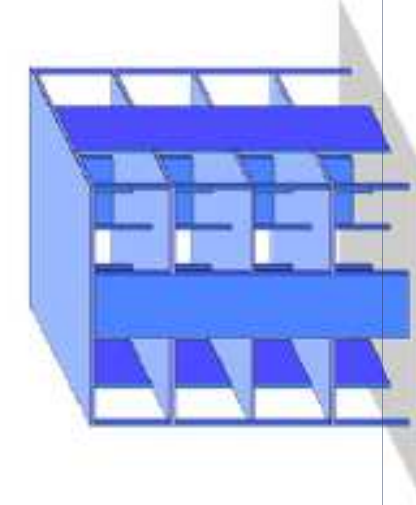
# Forme du bâtiment (4)

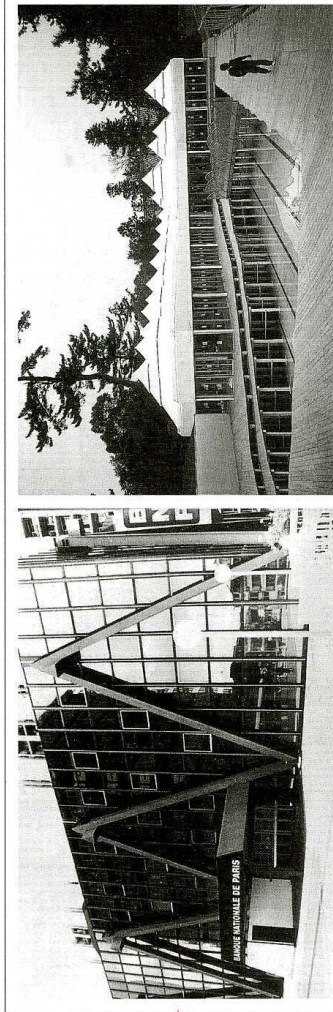




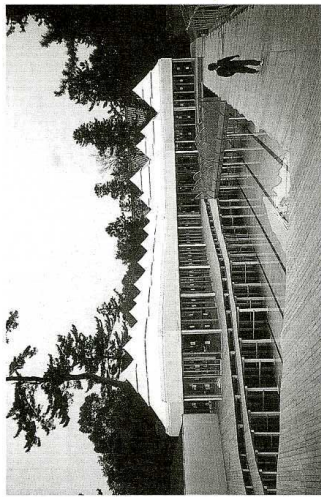
# Conception: règle d'or

- Régularité

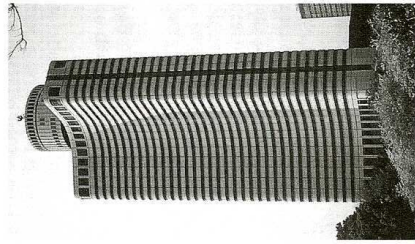




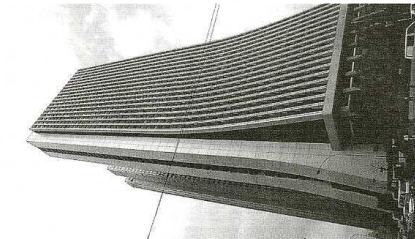
1



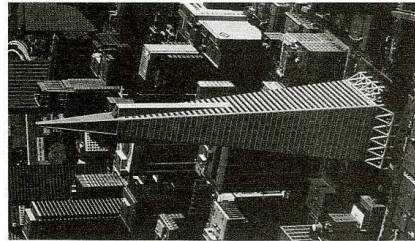
2



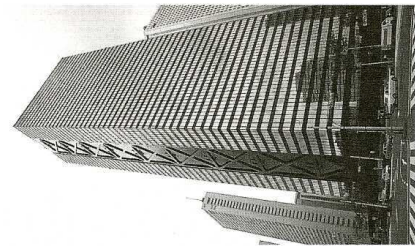
3



4

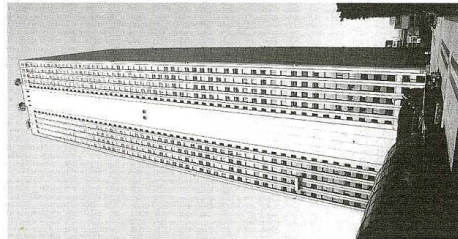


5

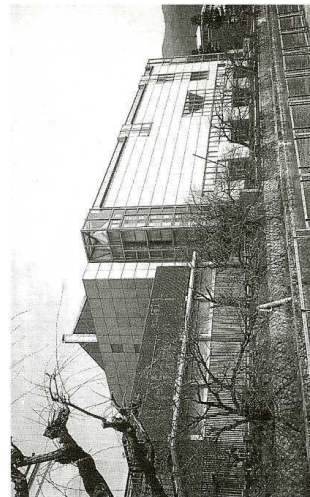


6

- 1 *BNP à Pointe-à-Pitre, Guadeloupe.*
- 2 *Pavillon d'exposition à Nara, Japon.*
- 3 *Hôtel à Tokyo.*
- 4 *Immeuble à Tokyo.*
- 5 *Tour Transamerica, San Francisco.*
- 6 *Immeuble Mitsui à Tokyo.*
- 7 *Immeuble Sunshine 60 à Tokyo.*
- 8 *Musée d'art moderne à Kyoto.*



7

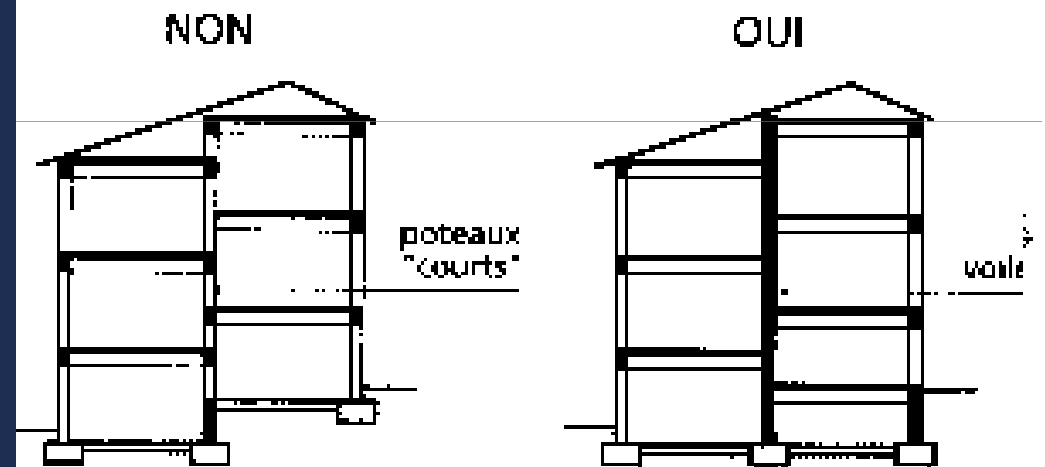
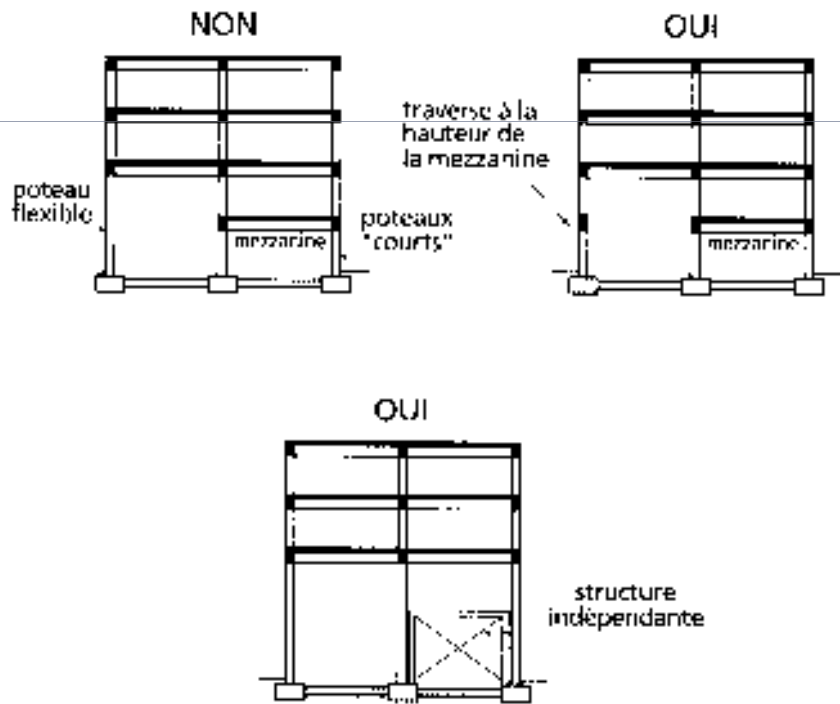


8

FIG. VI | 1 Architecture parasismique.



## Espaces intérieurs



# Respect des règles parasismiques

- Dispositions constructives : spécifiques à chaque type de contreventement
- Dimensionnement au séisme : respect des règles de calculs. Le choix de la méthode de modélisation ou de calcul est primordial.

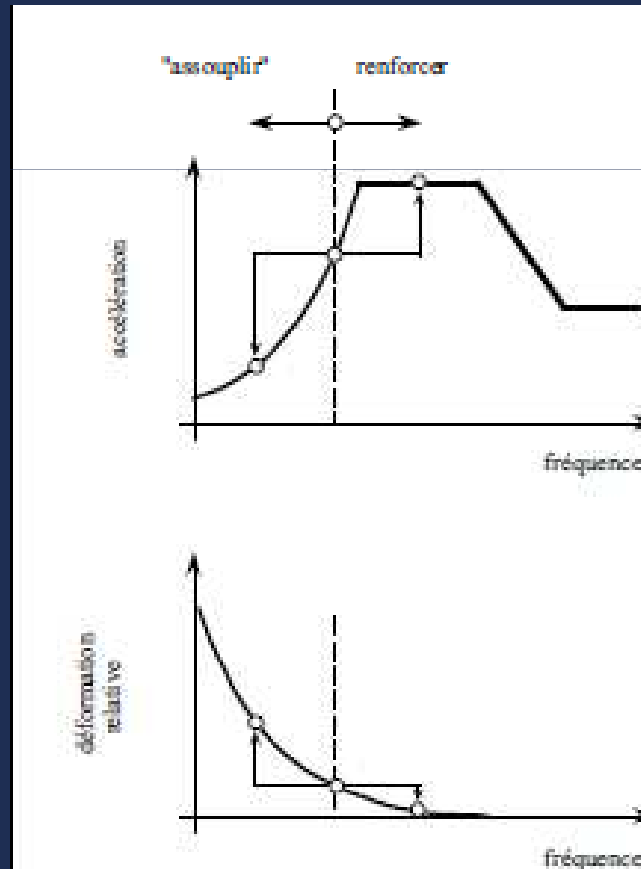
Les règles parasismiques n'imposent pas une garantie de résistance aux tremblements de terre. Elles visent à réduire le plus possible la probabilité de pertes de vies humaines.



**"Assouplir" peut être plus efficace que renforcer!**

Un « assouplissement » (affaiblissement) de la structure porteuse (appuis sismiques) peut provoquer un déplacement de la fréquence propre dans le domaine favorable du spectre de dimensionnement. Contrairement à un renforcement (raidissement) –augmentation de l'amortissement – les forces sismiques résultantes peuvent être réduites de façon notable.

Les déplacements relatifs augmentent par contre très fortement.



"Assouplir"  
peut être plus efficace  
que renforcer !

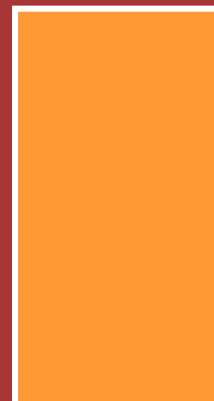


# Choix du contreventement

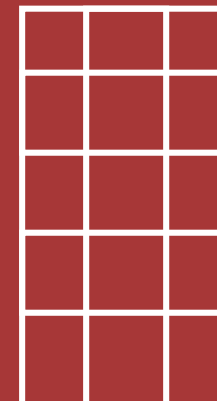
Se fait en fonction:

- De la nature de l'ouvrage
- De la forme architecturale
- Du site sismique
- De la nature du sol

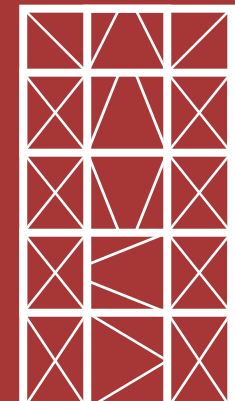
Mur



Portique

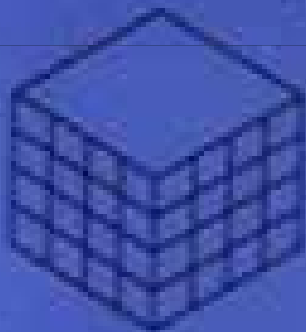


Palée

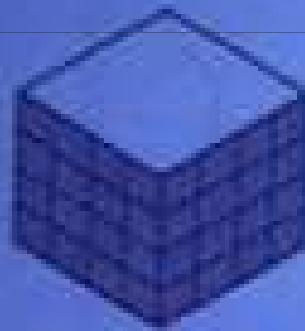


# Choix du contreventement

## BASIC STRUCTURAL/LATERAL SYSTEMS



frame



shear walls



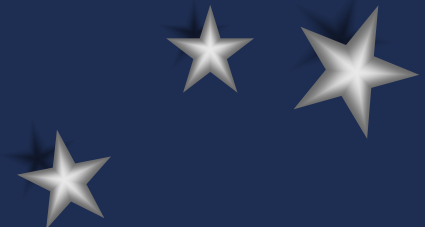
braced frame

# Rôle du contreventement

Une structure conçue pour résister aux charges verticales, nécessite des éléments verticaux supplémentaires pour résister aux charges horizontales.

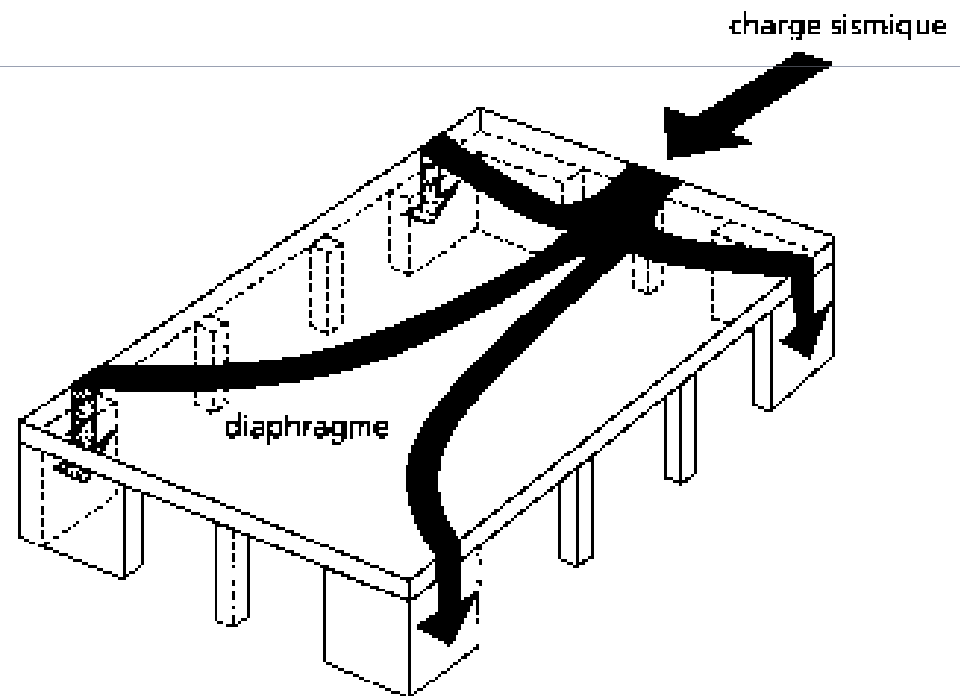
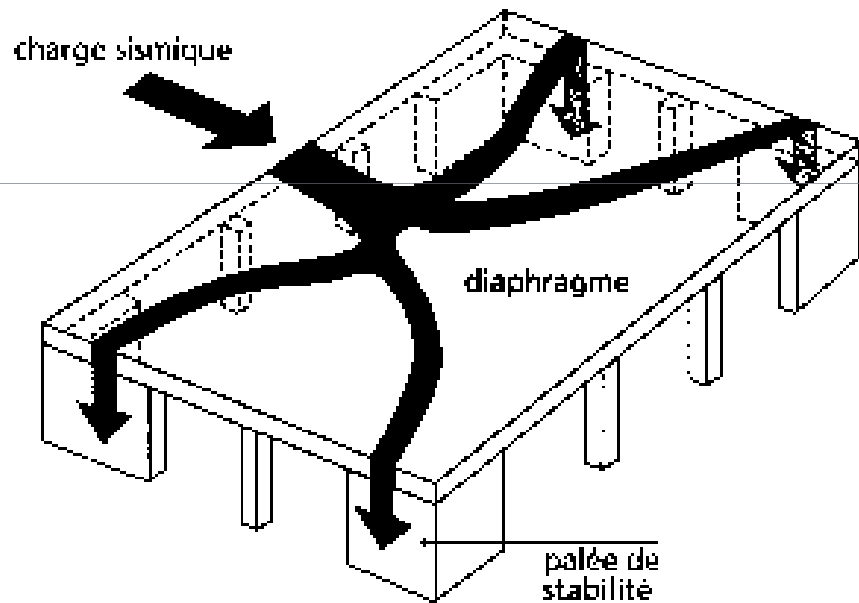
→ **contreventement**

Assurer la stabilité de l'ouvrage vis-à-vis des charges horizontales.



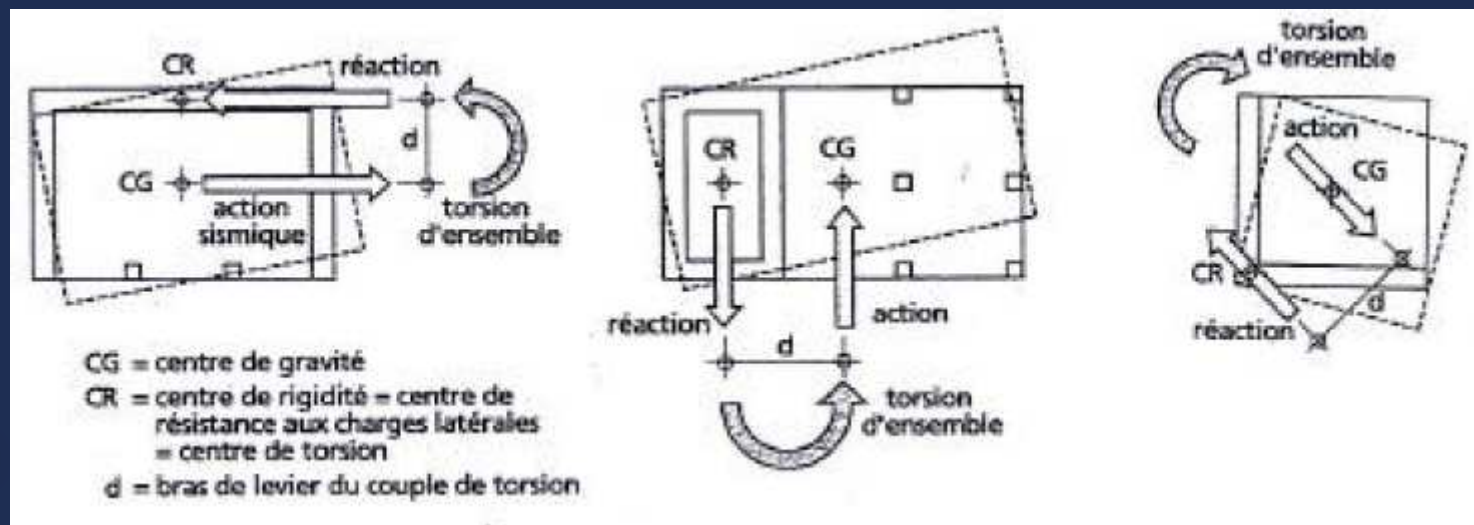


Le contreventement doit être dans 2 sens: il doit être à la fois dans le sens horizontal et dans le sens vertical si l'on veut assurer la stabilité à l'ouvrage.



Les éléments verticaux de contreventement doivent être au minimum au nombre de 2 dans chaque direction et disposés symétriquement par rapport au centre de gravité du plancher.

Le non respect de cette disposition engendre une torsion d'ensemble qui peut être fatale pour l'ouvrage.

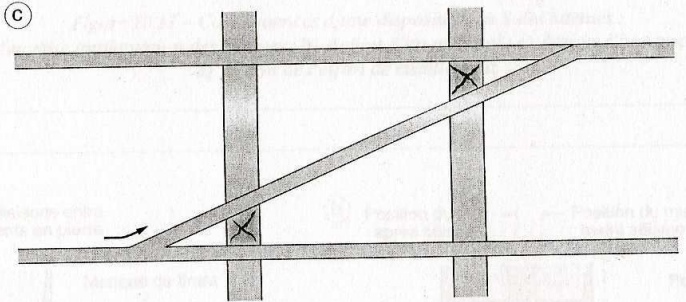
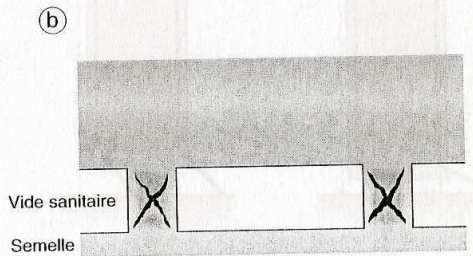
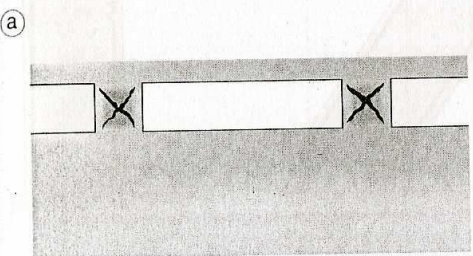
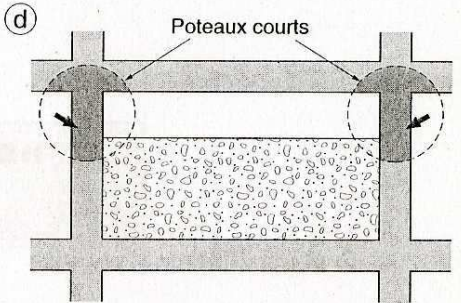
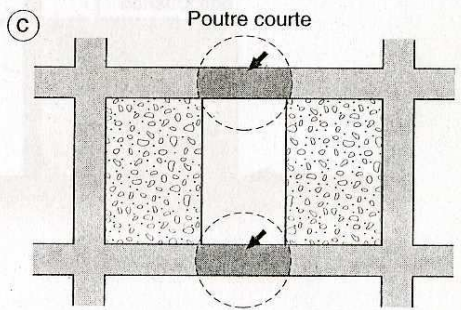


# Torsion d'ensemble





# Poteaux courts



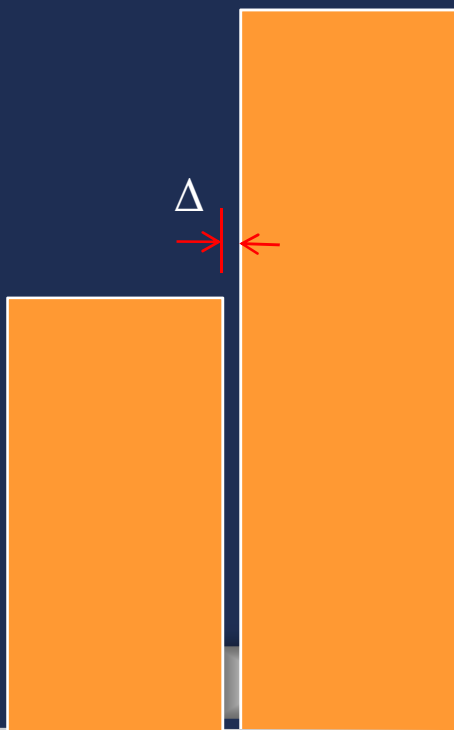
## ***Concevoir les joints entre deux bâtiments de façon appropriée!***

**Cela signifie:**

- 1) Les joints doivent avoir une largeur minimale (normes);**
- 2) Les joints doivent être vides et ne doivent pas présenter des points de contact.**

**Les joints doivent éviter que les bâtiments voisins s'entrechoquent et se martèlent.**

**Ces phénomènes sont particulièrement dangereux lorsque les dalles des bâtiments voisins se trouvent à des niveaux différents et heurtent les colonnes de l'autre bâtiment.**



$$\Delta_{\min} = 15\text{mm} + (\delta_1 + \delta_2) \text{ mm} \geq 40 \text{ mm}$$



# Martèlement entre blocs



Séisme de Wenchuan (Chine)  
12 mai 2008



# Une exécution de qualité (1)

## Matériaux de bonne qualité

assurant une bonne résistance des éléments de structure qui sont appelés à dissiper l'énergie introduite par les secousses.





# Une exécution de qualité (2)

## Travaux exécutés dans les règles de l'art

avec un soin tout particulier apporté aux assemblages et aux liaisons entre les divers éléments, principaux points faibles des structures. La dégradation de leur résistance et de leur rigidité conduit rapidement à la ruine de la construction.



# Une exécution de qualité (3)

## Éléments non structuraux :

conçus et réalisés pour résister lors des déformations de la structure à laquelle ils sont fixés.

Leur destruction peut être la cause de blessures de personnes et entraîne des coûts de réparation ou de remplacement non négligeables.



# Une exécution de qualité (4)

## Modifications ultérieures :

les transformations de l'ouvrage, même non structurales, ou les changements d'affectation et d'utilisation ne peuvent être autorisés que si les conséquences en ont été étudiées et les inconvénients éventuels dûment palliés .



# Une maintenance régulière :

Afin de conserver l'intégralité de ses propriétés parasismiques, un bâtiment doit être inspecté et entretenu régulièrement.

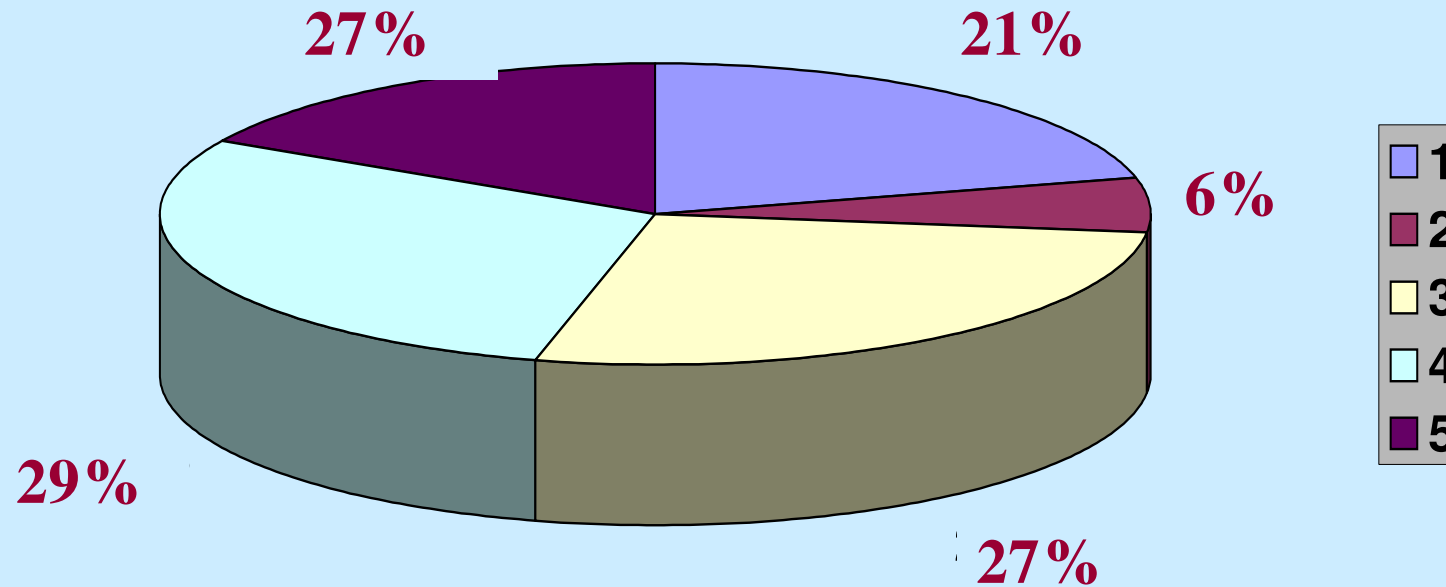
Des inspections visuelles et/ou instrumentales:



Fiche de « santé »



## Causes des dommages dans les constructions



- 1- Etudes déficientes ou inexistantes
- 2- Erreurs de calcul
- 3- Eléments mal dimensionnés
- 4- Absence d'études de sol et/ou fondations mal adaptées
- 5- Absence de systèmes d'évacuation des eaux

D'après A. Berroubi; CTC-Centre

## Conception parasismique

Mal maîtrisée par les Architectes

## Calcul

De plus en plus sophistiqué grâce à l'outil informatique

## Réalisation

Très mal maîtrisée

## Usage

Changement de fonction dans beaucoup de cas

## Entretien

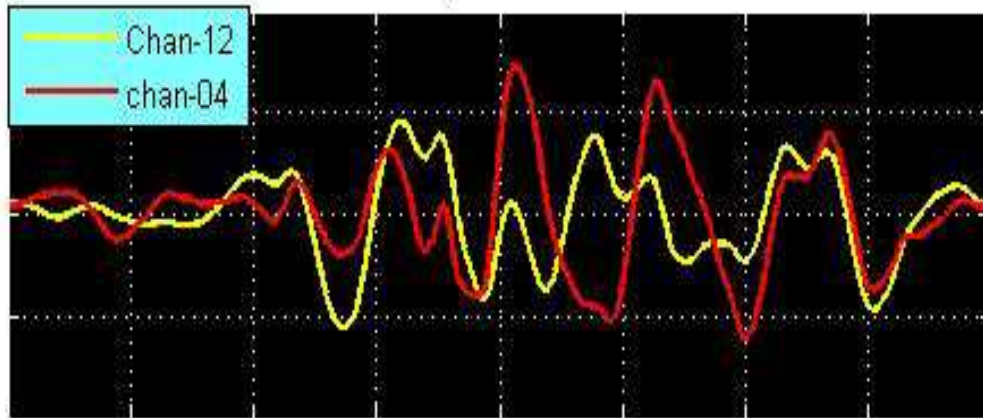
Pratiquement absent

## Modifications

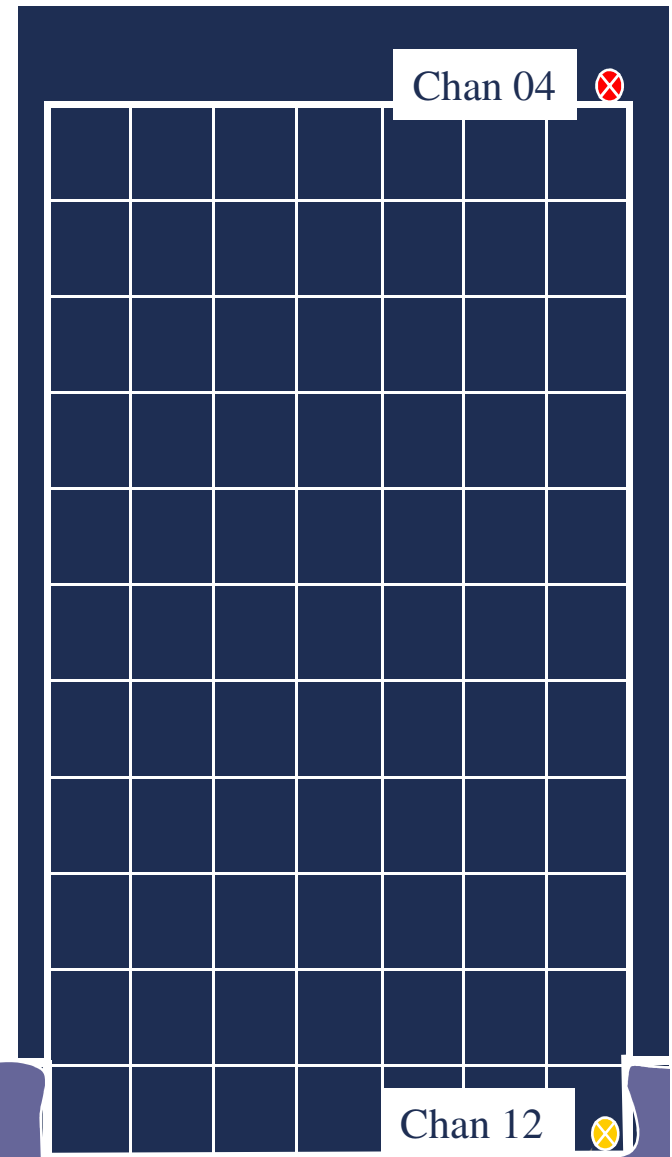
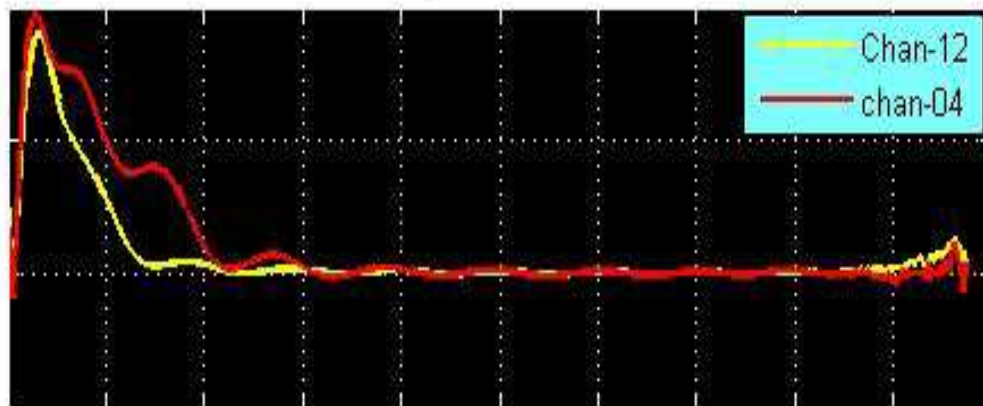
Faites souvent sans consulter les spécialistes



displacement

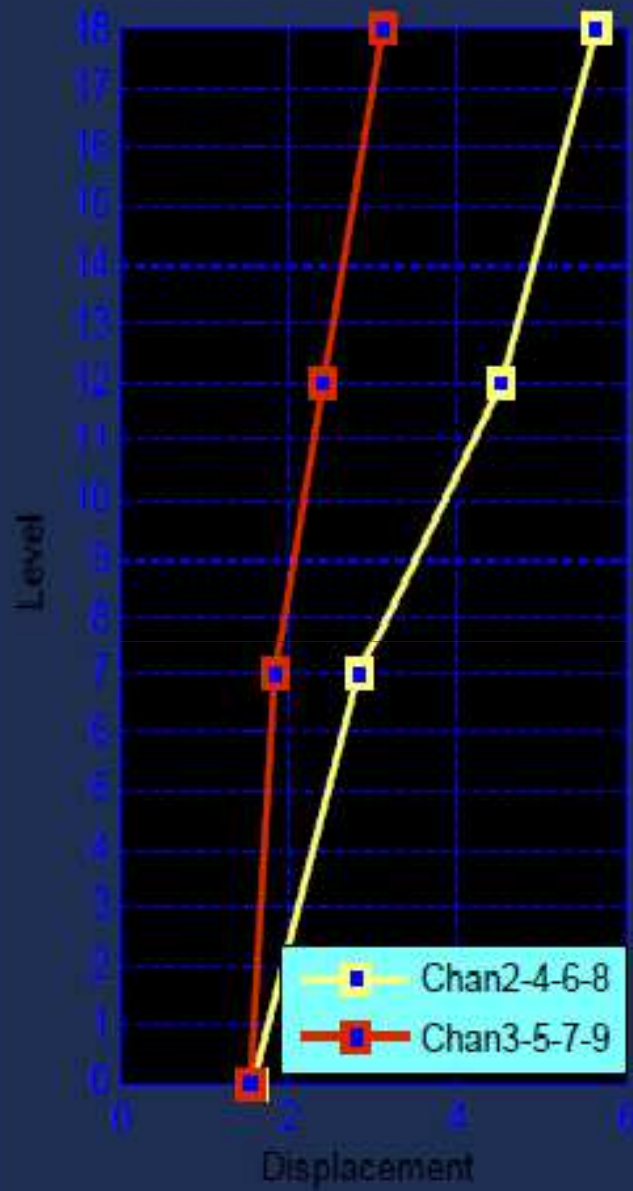


spectre accel

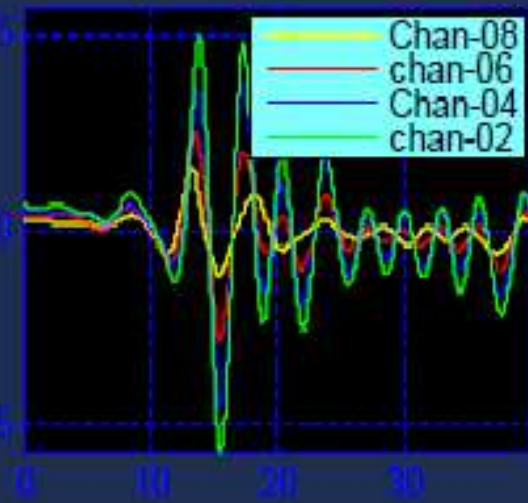


San Jose- 10 story commercial building.

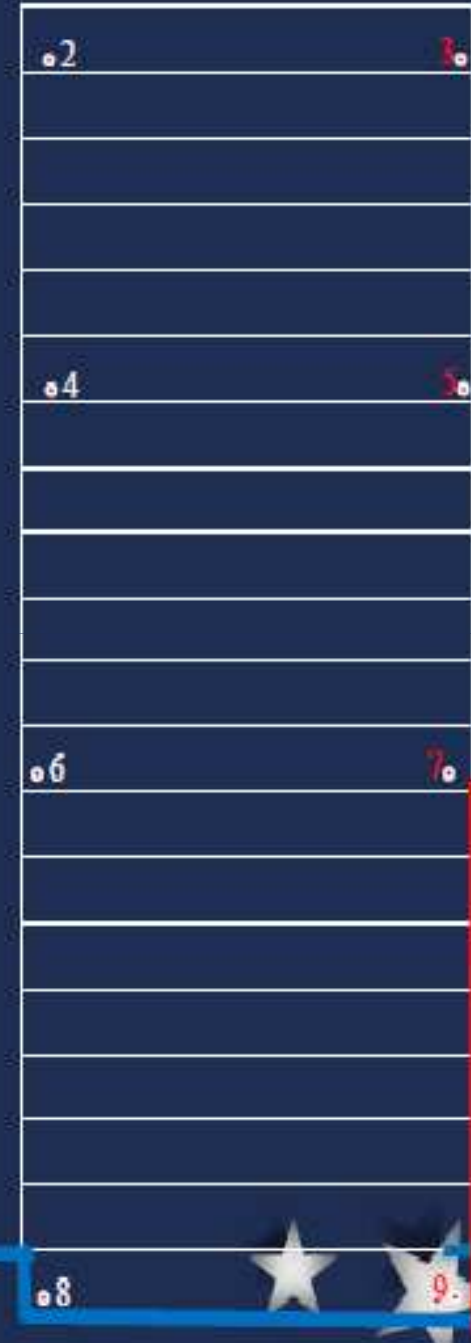
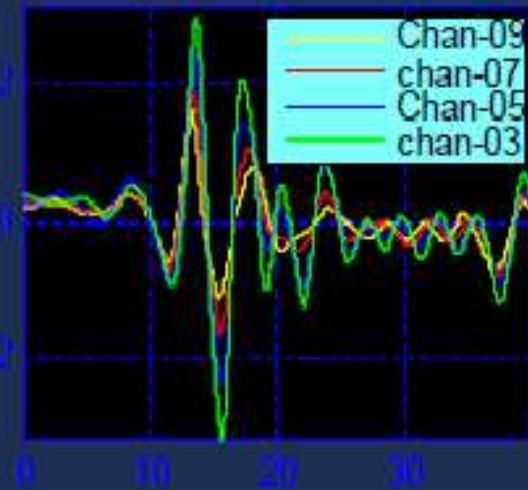




displacement



displacement



San Francisco- 18 story Commercial Building

