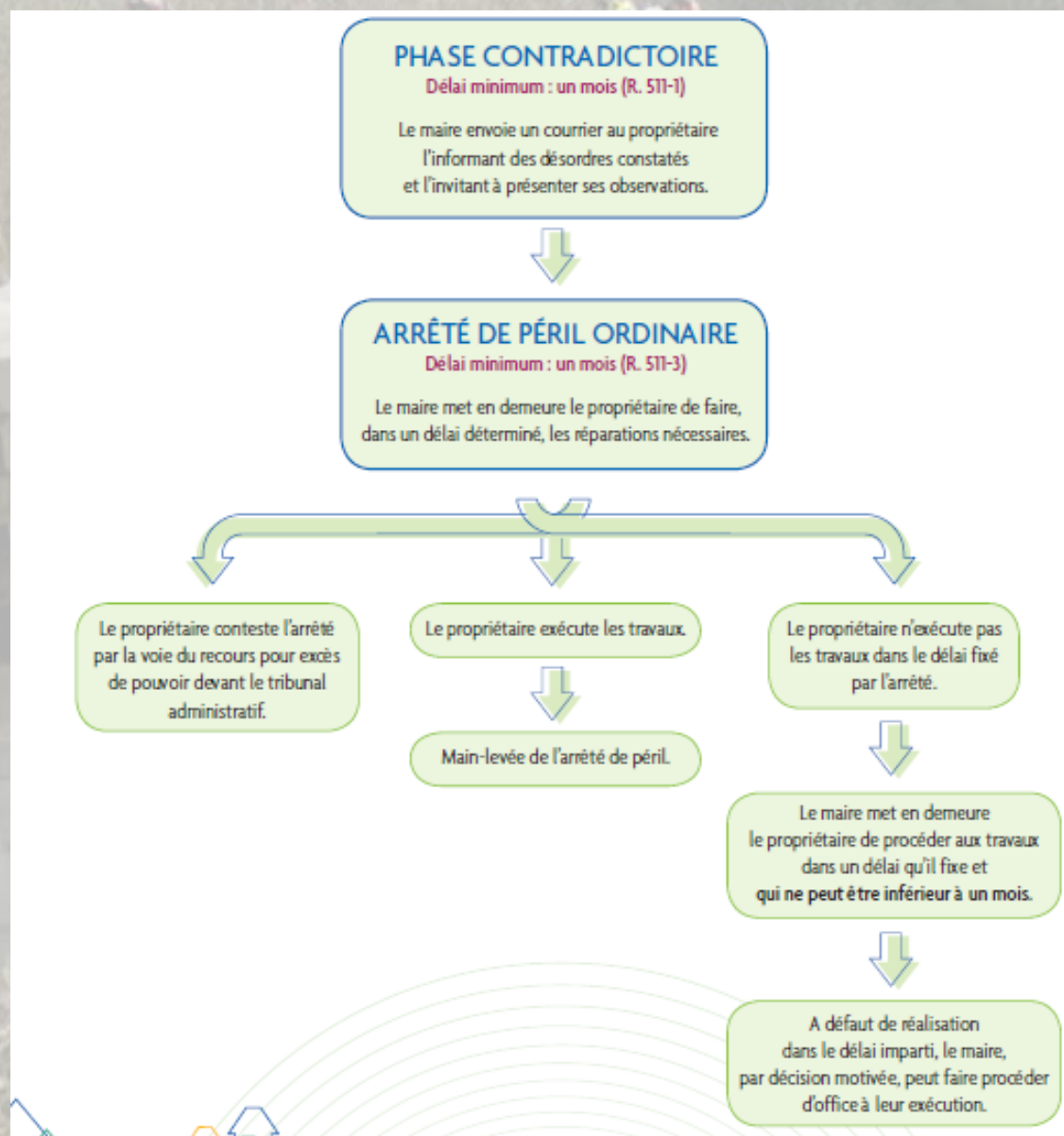


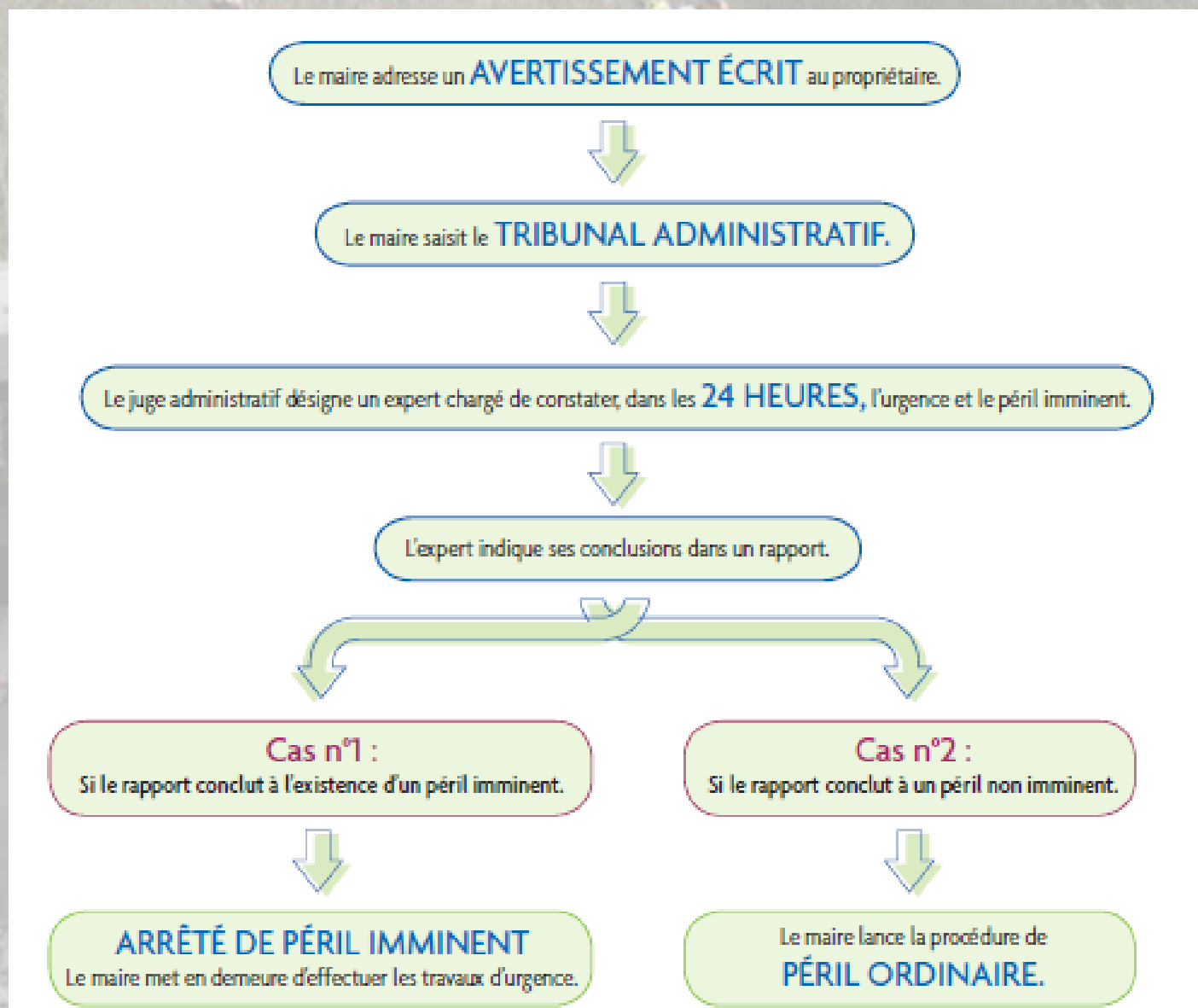


Mémento opérationnel : Risques bâtimentaires

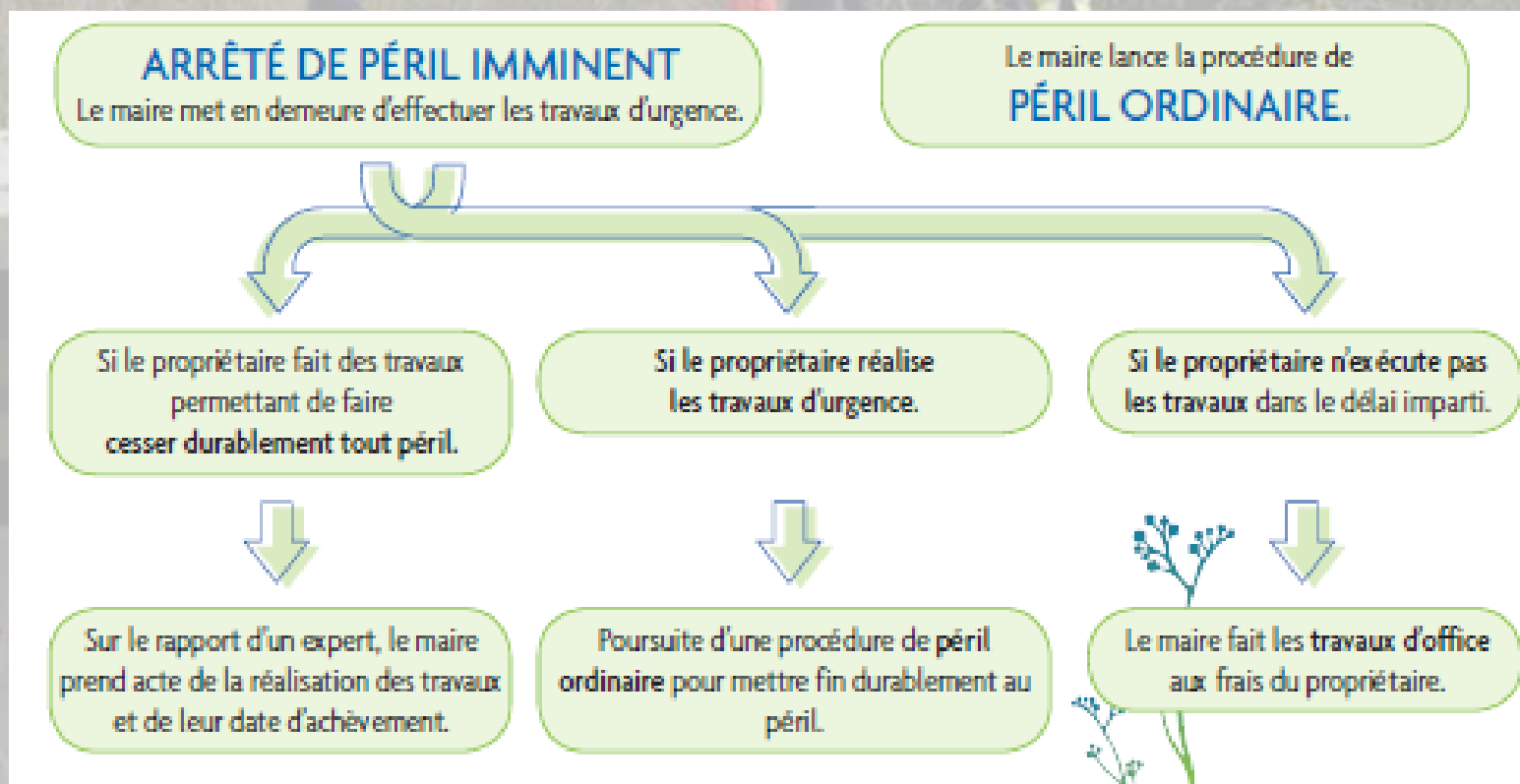
Procédure de péril ordinaire



Procédure de péril imminent



Procédure de péril imminent



Atténuer les risques des USAR

Les bonnes questions à se poser devant un effondrement

HAITI 2010
Maison de
l'ambassadeur de
France, 1900



- Type de construction
- Système constructif porteur
- Partie de la construction
- Facteur de vulnérabilité
- Site sol – environnement
- Avis sur capacité portante résiduelle
- Degré d'instabilité
- Poche de survie

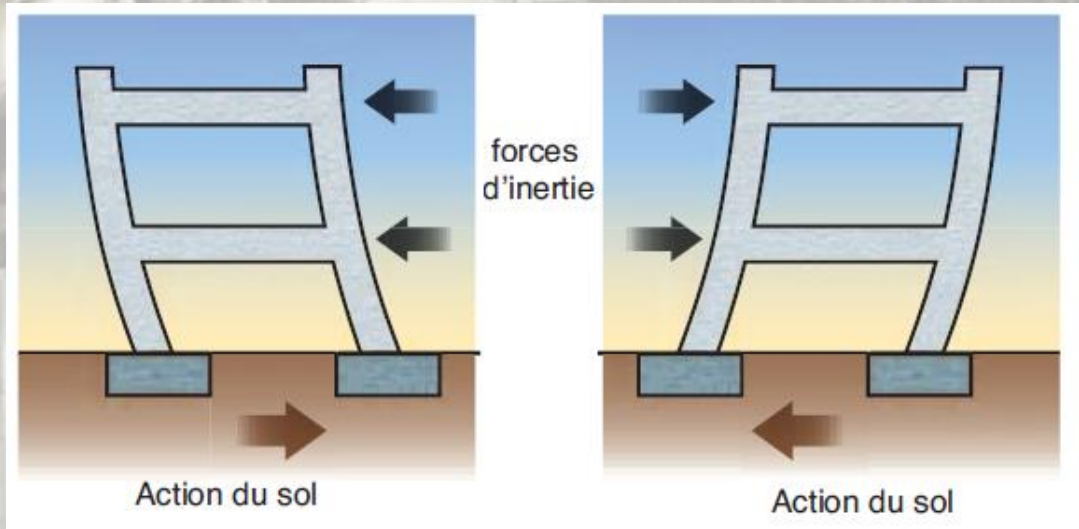
Effets des séismes sur les constructions

Sollicitations horizontales



Doc.NISE USA, Arrachement des têtes de poteaux sous la poussée horizontale

N-B : dommage accentué par une erreur de conception « poutre forte-poteau faible »

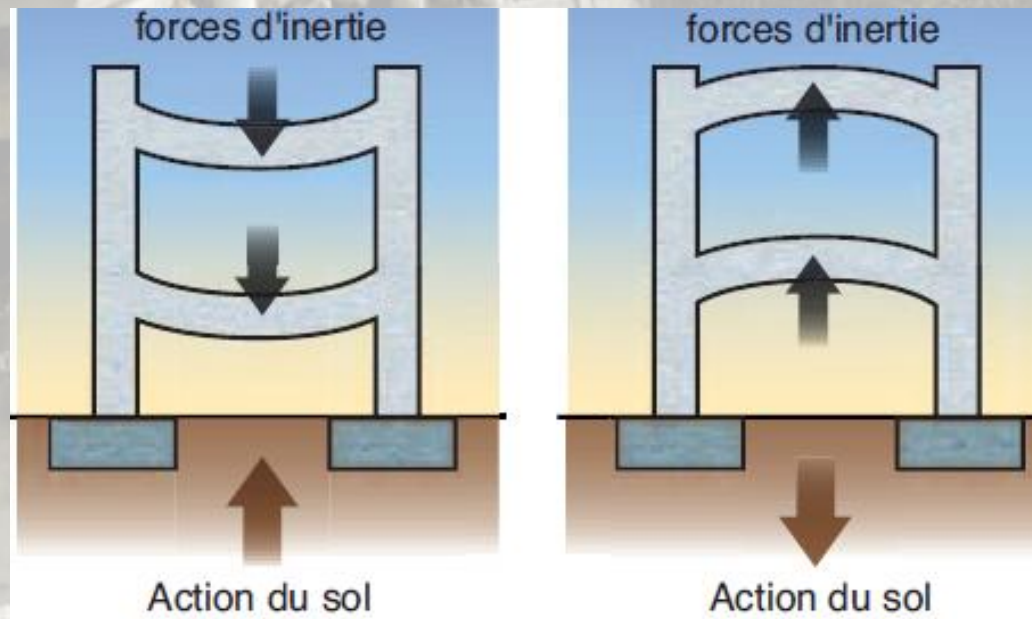


Effets des séismes sur les constructions

Sollicitations verticales

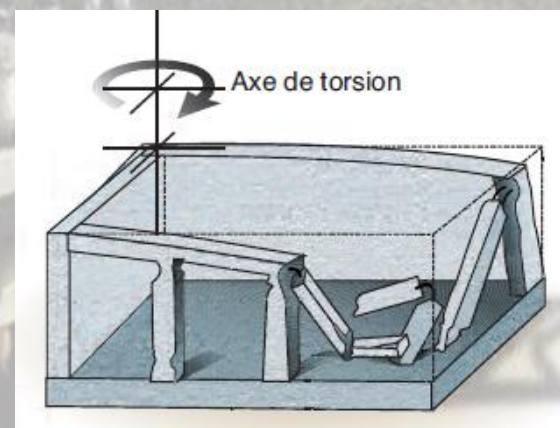
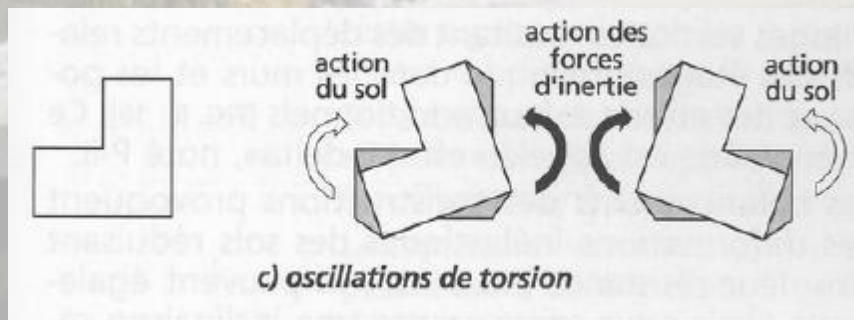


**Ruptures des surfaces
en porte à faux avec
délestage des liaisons
supérieures des
poteaux**



Effets des séismes sur les constructions

Torsion d'ensemble



**Effondrement par torsion
globale du bâtiment**

Fissurations des murs porteurs

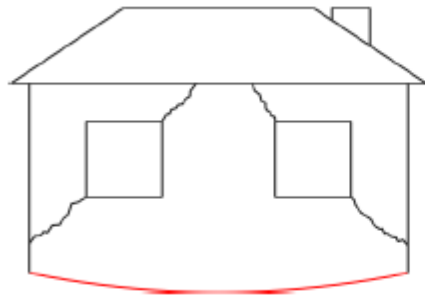
Tassement - Affaissement

RISQUE D'AFFAISSEMENT DES TERRAINS

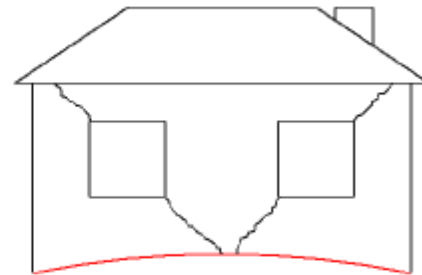


Fissurations des murs porteurs

Tassement différentiel des fondations



**Gonflements
latéraux
(Tassement central)**



**Gonflement central
(Tassements latéraux)**



Fissurations des murs porteurs

Tassement : Retrait – Gonflement des argiles

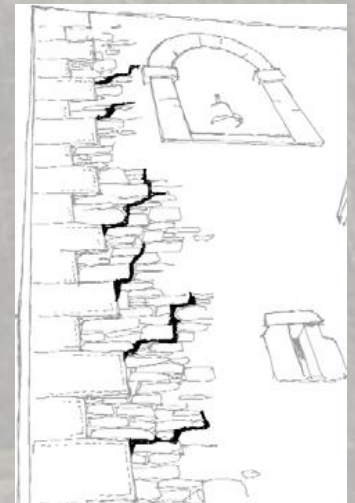
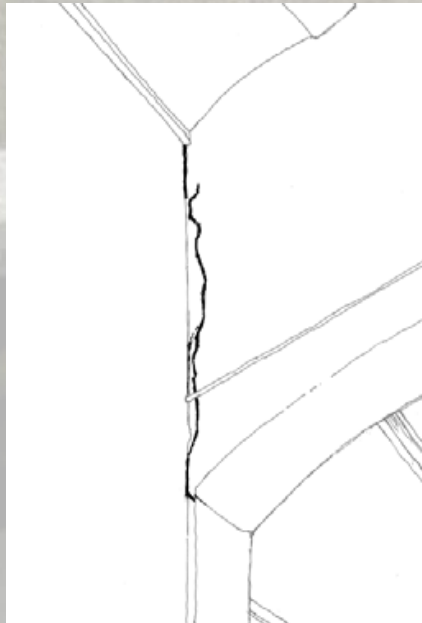


Ceci se traduit par des fissurations en façade, passant par les points de faiblesse que constituent les ouvertures



Fissurations des murs porteurs

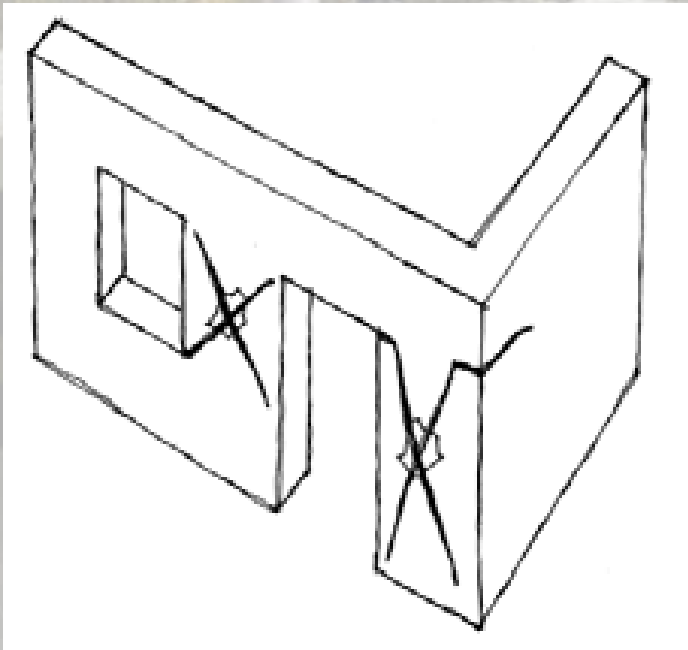
Hétérogénéité des murs ou dans les murs



Pathologie due à des différences de rigidité entre les matériaux composant les murs mixtes (ici le pilastre étant plus rigide que le mur)

Fissurations des murs porteurs

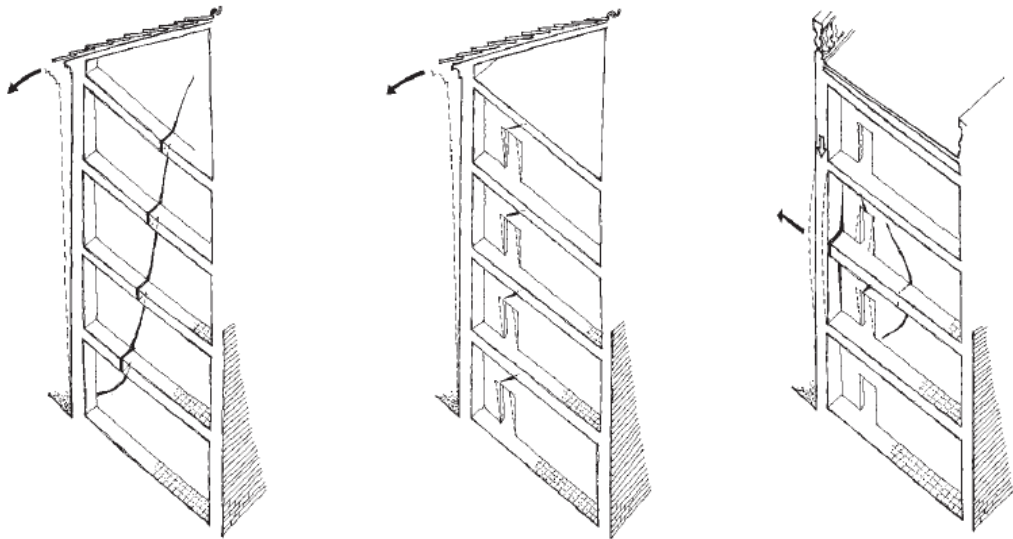
Pathologie due aux charges sismiques



Charges bidirectionnelles induisant des fissurations en croix (bielles de compressions)

Fissurations des murs porteurs

Ecrasement et bombement des façades



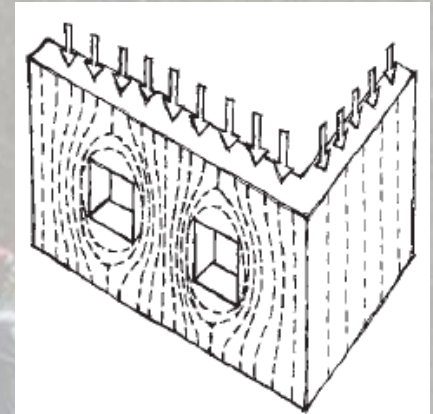
- Les écrasements de façades sont dus aux poussées des couvertures, aux déplacements des fondations ou aux effets de l'humidité et de la température.
- Les bombements de façades sont causés par les effets des charges centrées ou décentrées des toitures et des planchers. C'est un processus rhéologique plus lent que l'écrasement.

Fissurations des murs porteurs

Fissuration due à une charge répartie



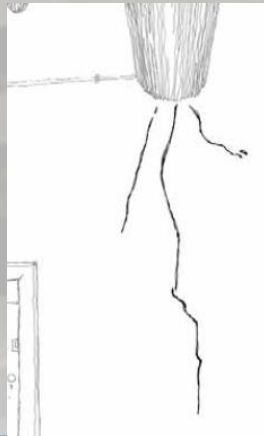
- Fissure en angle de façade (Immeuble vétuste)
- Unique et linéaire car pas de possibilité de distribution
- Localisée au droit de la charge



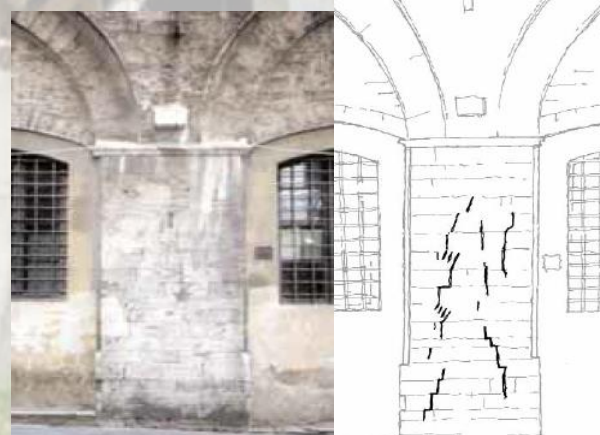
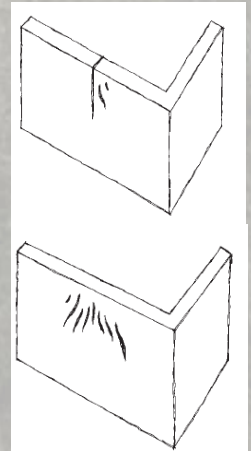
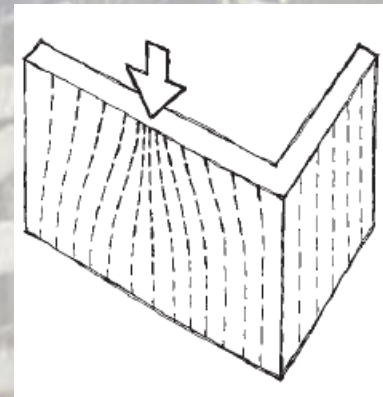
- Fissures sur mur de refend
- Positionnées en réseau car possibilité de redistribution et d'adaptation au droit des autres poutres

Fissurations des murs porteurs

Fissuration due à une charge localisée



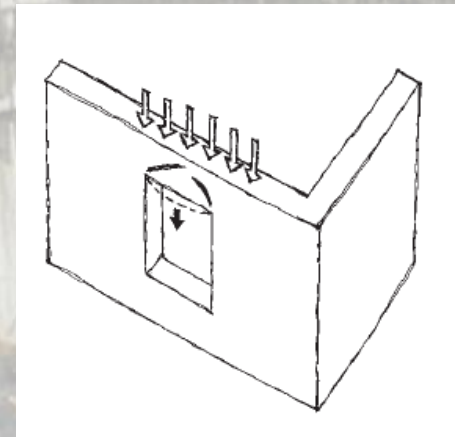
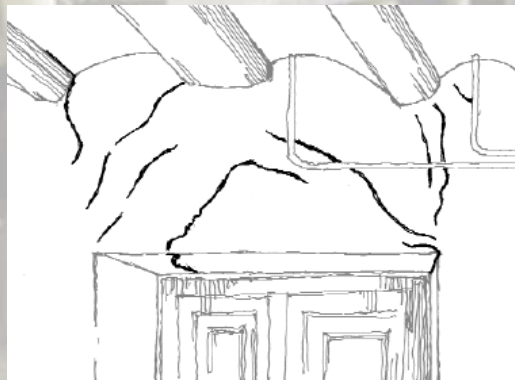
Fissuration au droit de la poutre



Fissures distribuées sur la surface du pilier

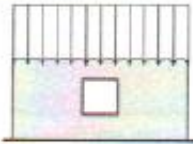
Fissurations des murs porteurs

Fissuration due par manque de rigidité d'élément collaborant – Cas du linteau

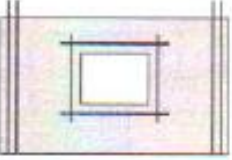
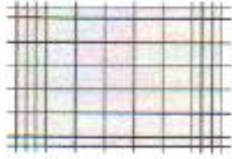


**Linteau déformable
(fissuration par manque de rigidité)**

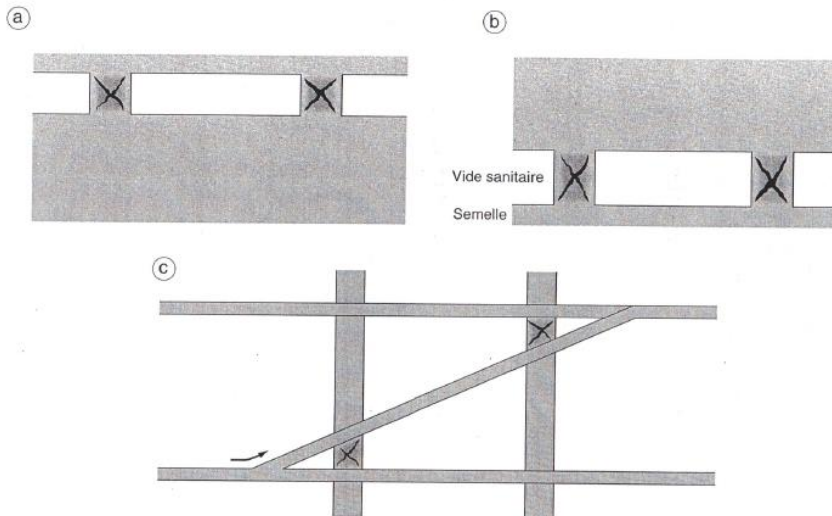
Les différents systèmes constructifs

SYSTÈME PORTEUR		COMMENTAIRE
murs porteurs en maçonnerie non chaînée et non armée		à proscrire.
murs porteurs en maçonnerie armée ou convenablement chaînée (y compris l'encadrement des ouvertures)		- la maçonnerie en terre crue est à éviter dans la mesure du possible ; se limiter à un seul niveau. - les maçonneries en briques ou blocs de béton sont acceptables pour toutes les zones ; éviter de dépasser 2 niveaux dans les zones de forte sismicité et 3 niveaux dans les autres zones.
portiques en béton armé avec murs de remplissage en maçonnerie		- présente un comportement médiocre sous action sismique violente. - convient pour les zones de sismicité faible ou moyenne.
portiques autostables en béton armé sans remplissages rigides		- convient sur sol ferme en toute zone ; toutefois, la mise en place correcte des armatures requises pour la ductilité du béton est très difficile à obtenir sur le chantier. - limiter la hauteur à 10 niveaux environ pour les portiques coulés en place et à 7 niveaux environ pour les portiques préfabriqués.
ossature en béton armé contreventée par des voiles		- convient en toute zone. - peut être utilisé pour les immeubles de grande hauteur

Les différents systèmes constructifs

ossature métallique		• convient très bien en toute zone. • peut être utilisé pour les immeubles de grande hauteur.
ossature en acier enrobée de béton armé		• convient très bien en toute zone. • peut être utilisé pour les immeubles de grande hauteur.
systèmes poteaux-dalle		• à éviter.
voiles en béton non armé, convenablement chaînés (y compris l'encadrement des ouvertures)		• même commentaire que pour le système en murs de maçonnerie chaînée ; le comportement des voiles en béton est cependant meilleur.
voiles en béton armé coulé en place		• convient en toute zone. • efficace sur sols meubles.

Effet poteau court



On définit un effet poteau court si la condition:

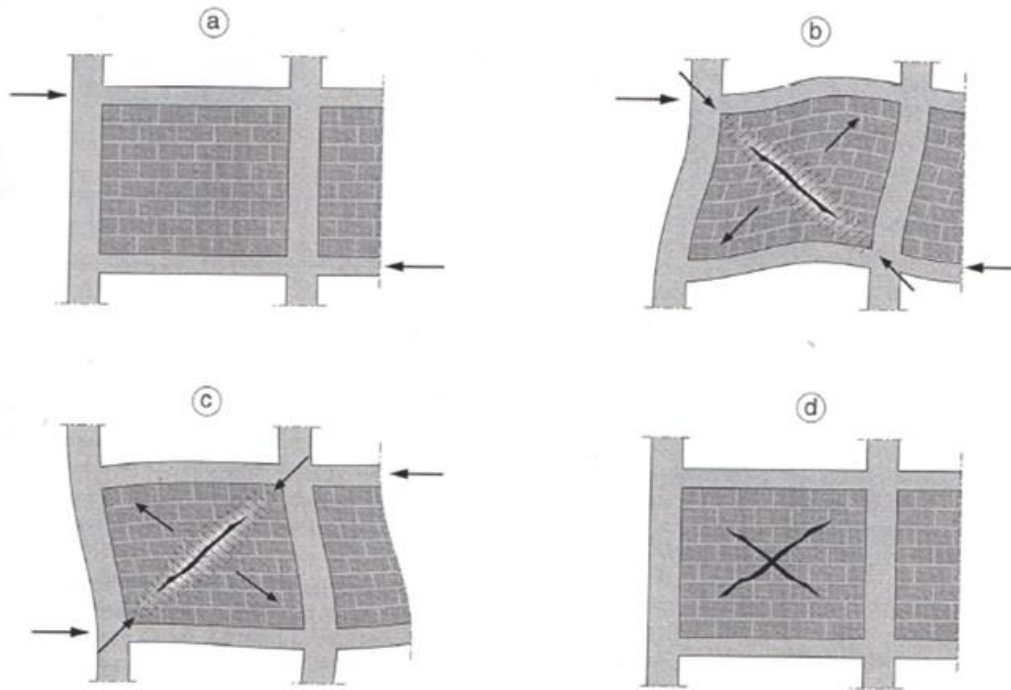
- $\text{Longueur libre}^* / \text{dimension transversale} < 4$ est remplie

* Attention la Longueur libre n'est pas la Longueur totale du poteau mais la Longueur bridée.



Elancement trop faible de ce poteau par rapport à sa section: c'est donc un poteau court
Izmit, 1999 doc. NISEE, USA

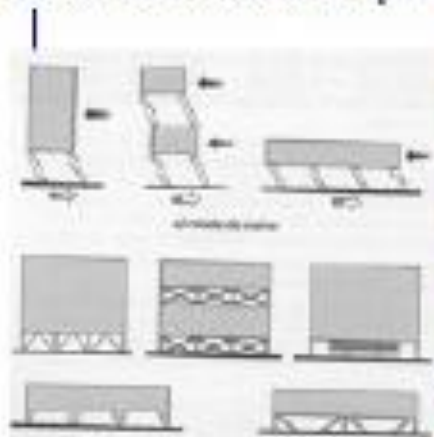
Portiques avec remplissage en maçonnerie rigide



Principe : les remplissages (pierres, parpaings, briques) ont une rigidité très élevée par rapport à la flexibilité des portiques: ils oscillent à des fréquences différentes jusqu'à l'éclatement des remplissages (formation des bielles de compression)

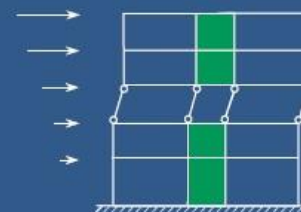
Transparence des niveaux

Effets de niveau souple



Principe : Cet effet, très courant dans les centres urbains, apparaît dès lors qu'un bâtiment présente une différence de rigidité des niveaux de l'ordre de 30 % au niveau immédiatement supérieur.

Principes de base pour concevoir des bâtiments parasismiques



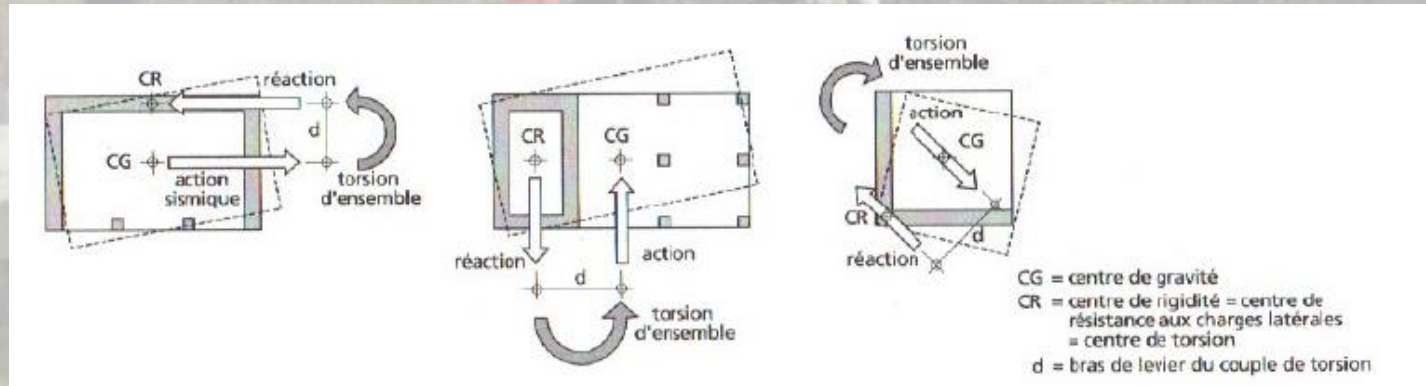
Eviter les étages flexibles!

Prof. Hugo Bachmann

ibk - EPF Zurich



Torsion d'ensemble et structurelle



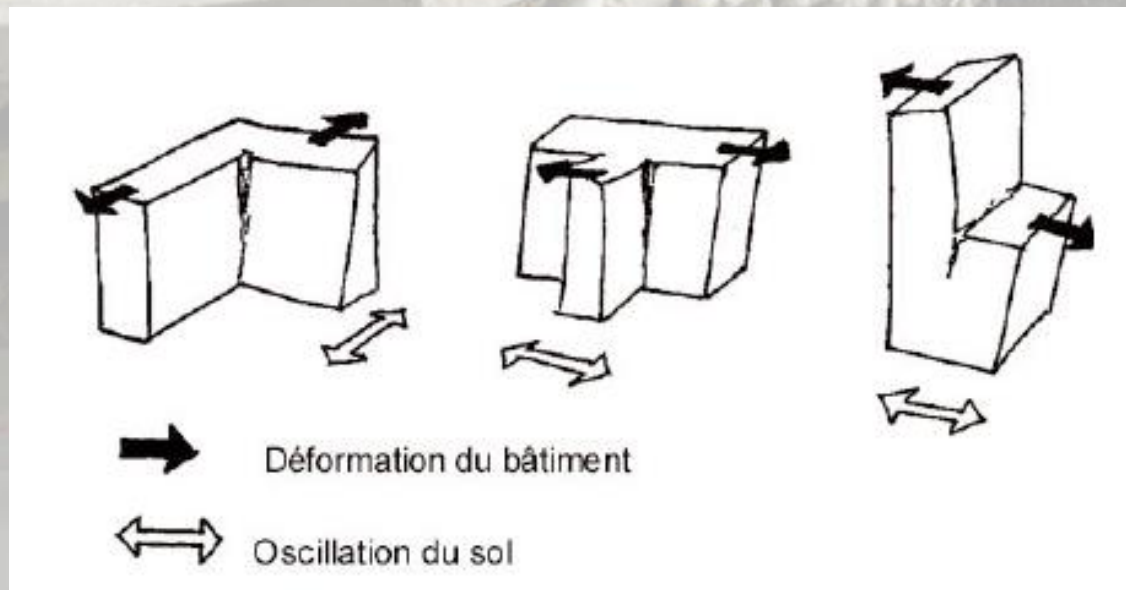
Domage dû à une différence des rigidités entre les 2 directions du bâtiment et cela pour chacun des niveaux:

- Faiblesse ou absence de contreventement
- La Torsion d'ensemble est de nature accidentelle (séisme, tassement)
- La Torsion structurelle correspond à une dissymétrie dans les formes géométriques du bâtiment



Irrégularités géométriques en plan et en élévation

Principe : Effet donnant lieu à des concentrations de contrainte dues aux oscillations différentielles dans les angles rentrants et sortant du bâtiment

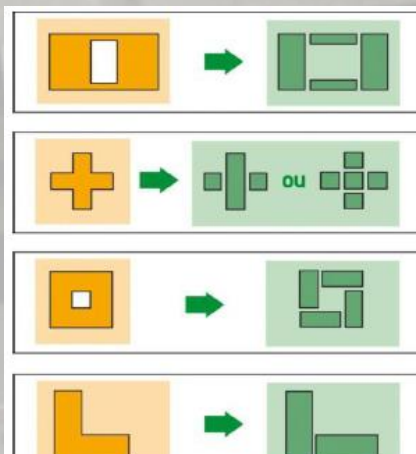


Ces sollicitations différentielles concernent particulièrement :

- les ailes
- les volumes en saillie ou en retrait

Irrégularités géométriques en plan et en élévation

EN PLAN



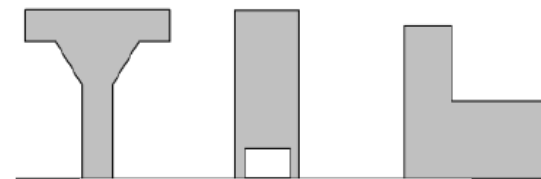
**Mauvaise conception (à gauche)
Et solution de découplage (à
droite)**

EN ELEVATION

Forme en élévation



Formes recommandées



Formes déconseillées

Faiblesse ou absence de confinement dans les liaisons

Principe : le confinement dans les zones critiques d'une structure permet la formation des rotules plastiques. Ces dernières, malgré les déformations plastiques permanentes, préviennent de la rupture fragile de l'élément et donc l'effondrement brutal de l'ouvrage.



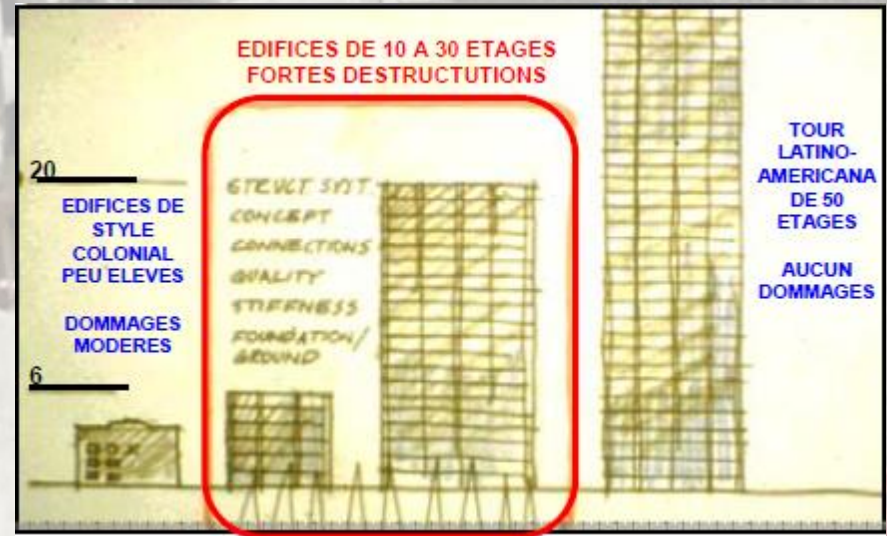
Insuffisance de confinement en pied de poteau: les armatures ont flambées de par l'absence ou l'insuffisance de cadres.
Californie, 1979, doc. NISEE, USA



Exemple de bon confinement sur une pied de pile de viaduc, Kobé 1995

Effet de résonance

Principe: $T_{sol} = T_{bat}$ lors du séisme
= destruction sélective des bâtiments fondés sur ce site



Sélectivité des dommages:
Sur ce site seuls les bâtiments très massif et très flexible ont résisté!!
Goldzuck, Turquie, 1999

Poteaux faibles – Poutres fortes

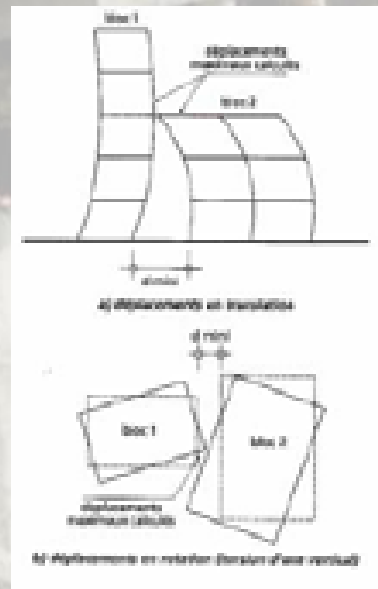
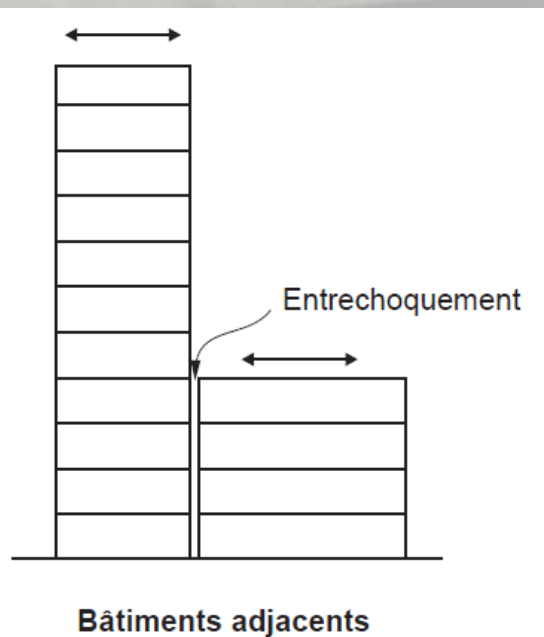
Principe : les rotules ne se feront pas dans les poutres mais dans les zones critiques des poteaux. La résistance globale des poteaux doit être d'environ 30 % plus élevée que celle de la poutre.



**Domages caractérisés en têtes des poteaux.
Les fractures dans les poutres sont dues aux contraintes de flexion (charges verticales)
Haïti, 2010, doc. V Davidovici**

Entrechoquement de bâtiments

Principe : l'absence de joint PS (4 à 6 cm) entre 2 blocs de bâtiments induit des désordres causés par l'entrechoquement de ces derniers.



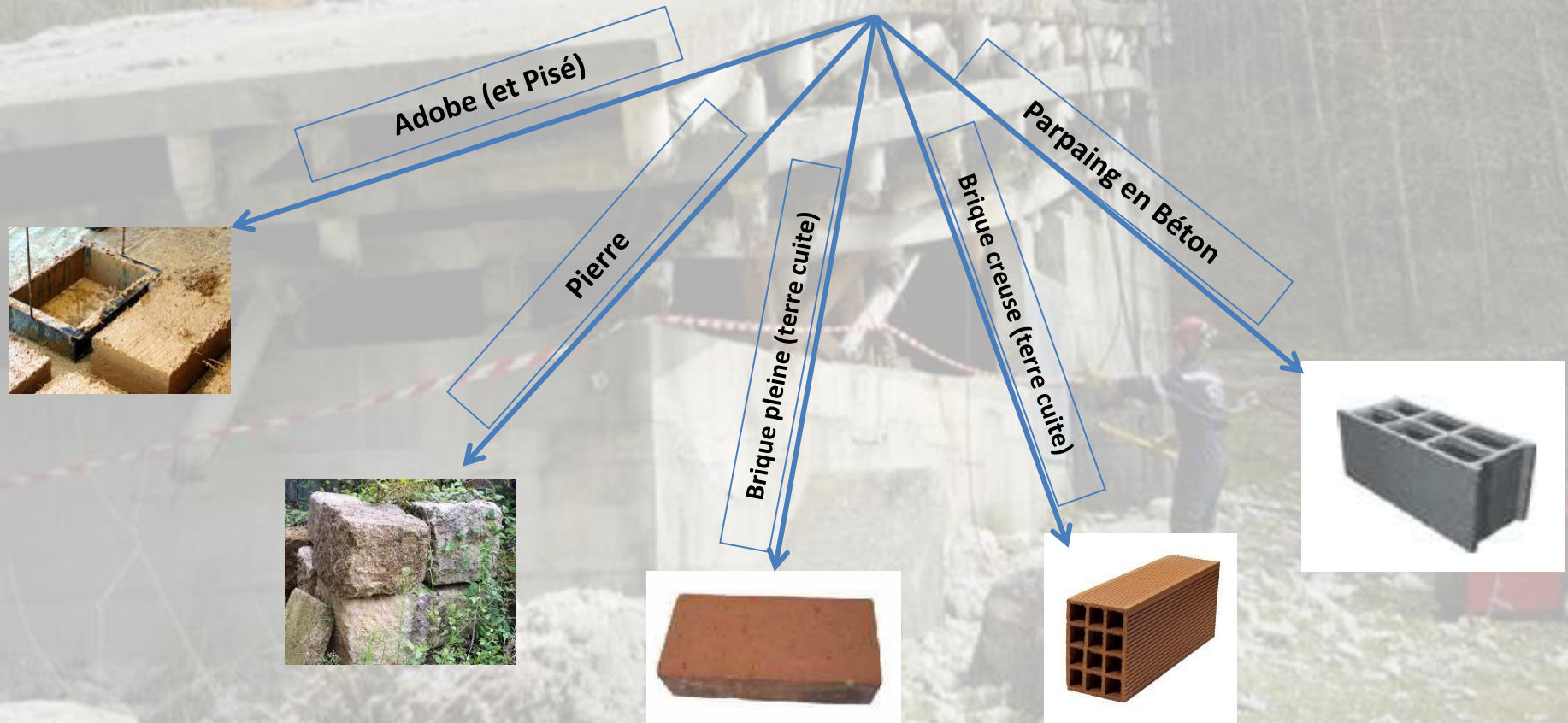
Mauvaise qualité des matériaux et de la mise en œuvre

Béton de très mauvaise qualité (faible quantité de ciment) car la rupture est de compression (descente de charge). Le plan de rupture est resté dans l'axe du poteau. De plus les armatures sont lisses Séisme de Ceyhan, 1998, doc P. Balandier



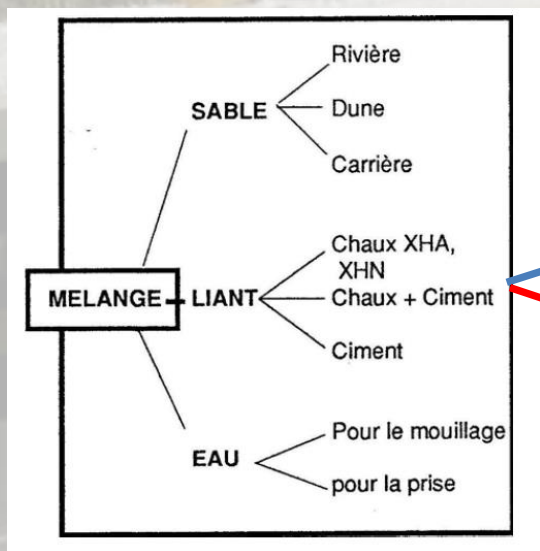
Gouttières encastrées dans remplissage et poutre 2010, HAÏTI doc V. Davidovici

Nature des matériaux traditionnels

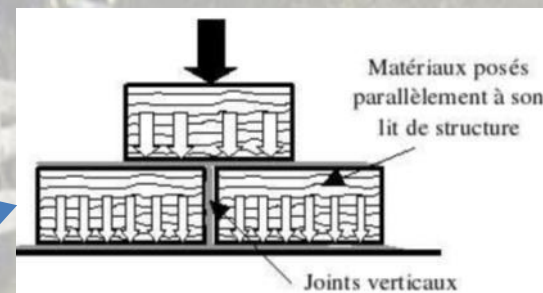


Dommmages aux maçonneries

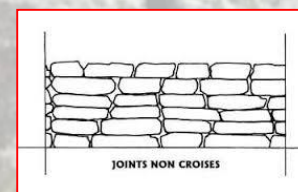
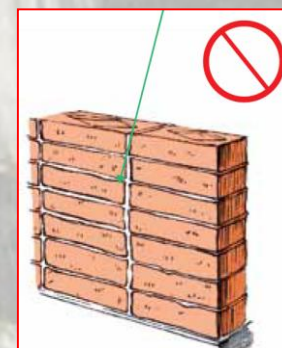
Nature des joints



Composition du mortier



Joints verticaux continus (proscrits)



Caractéristiques défavorables pour la tenue aux séismes

- Résistance à la **Traction** très faible
- Résistance au **Cisaillement** faible
- **Ténacité** (capacité à résister à la propagation des fissures) faible
- **Endurance** (capacité de résister à la fatigue) faible
- **Ductilité** ($\neq$ Fragilité) très faible

Dommages aux maçonneries

Dommages les plus courants sur les maçonneries

Dislocation des blocs à maçonner non confinés



Eclatement des angles



Dislocation à partir des ouvertures non chaînées
(+ absence de joint de découplage avec le bâti voisin)



Dommmages aux maçonneries

Dommmages les plus courants sur les maçonneries

DEVERSEMENT DE FACADES

Rupture fragile entre les éléments de structure pour liaisons insuffisantes



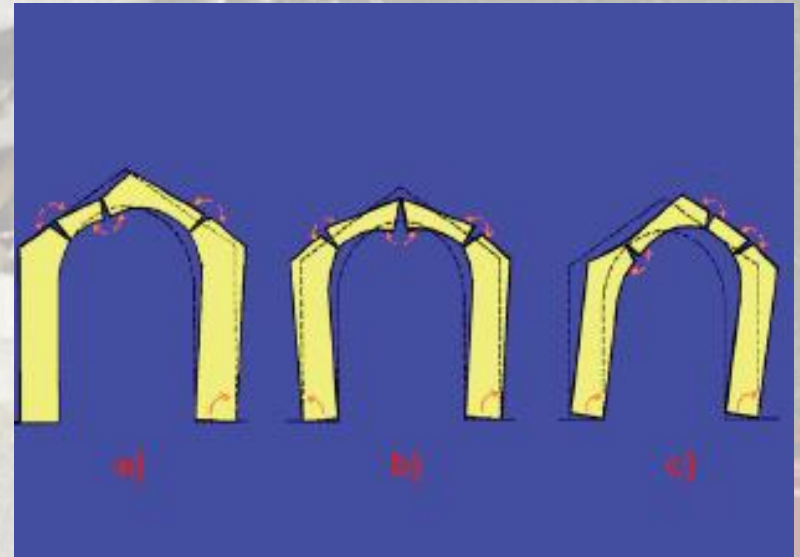
Dommmages les plus courants sur les maçonneries

DOMMMAGES AUX VOUTES

Principe d'effondrement des voutes :

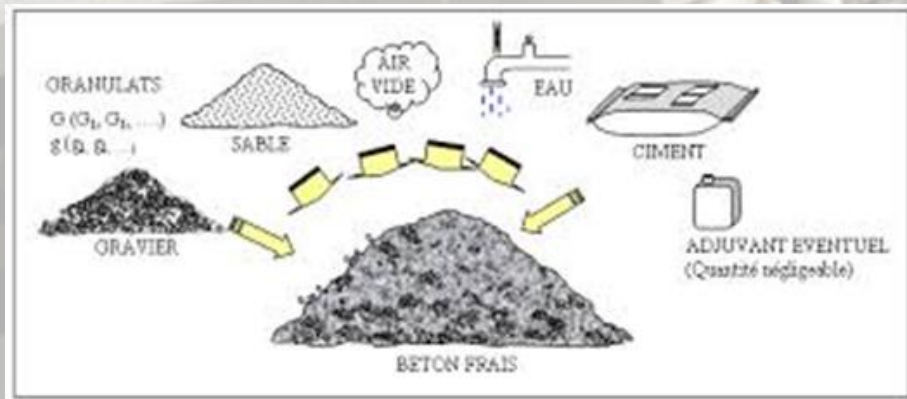
Les poussées horizontales ne peuvent être compensées que par des contreforts suffisants.

Dans le cas contraire, se produit l'ouverture de la clé de voute suivie des autres composant de la voute jusqu'au déséquilibre global de cette structure.

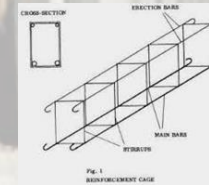


Dommmages aux constructions en béton

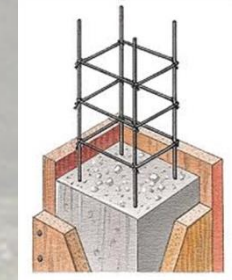
Le matériau béton



+



=



Dommmages aux constructions en béton

Le matériau béton

Inconvénients du béton :

- Résistances à la traction et au cisaillement négligeables
- Comportement fragile
- Rapport résistance / masse volumique faible (Performance moindre)

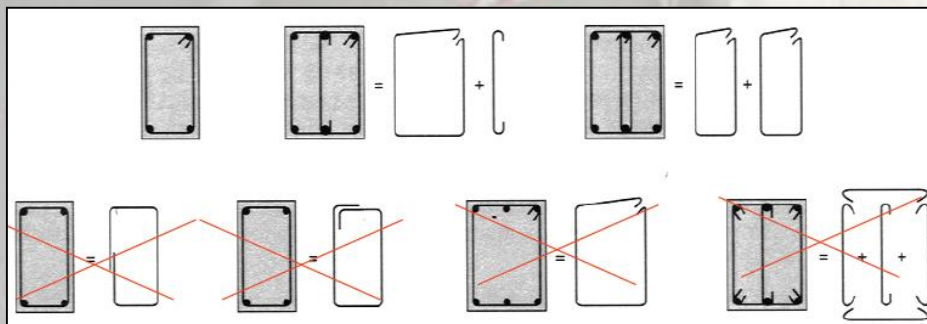
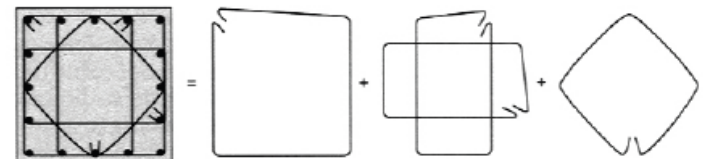
Solutions apportées : l'ajout d'armatures en aciers = Béton Armé

- Apportent la résistance en traction et la ductilité nécessaires au bon comportement sous séisme.
 - Ductilité par l'emploi de nuances dont l'élasticité est limitée ($R < 500 \text{ Mpa}$).
 - Ductilité par le choix des sections d'armatures et de la mise en œuvre (Qtée et répartition)
 - Autorise l'implantation déterminée des Rotules Plastiques dans la structure (incursion favorisée dans le domaine plastique)

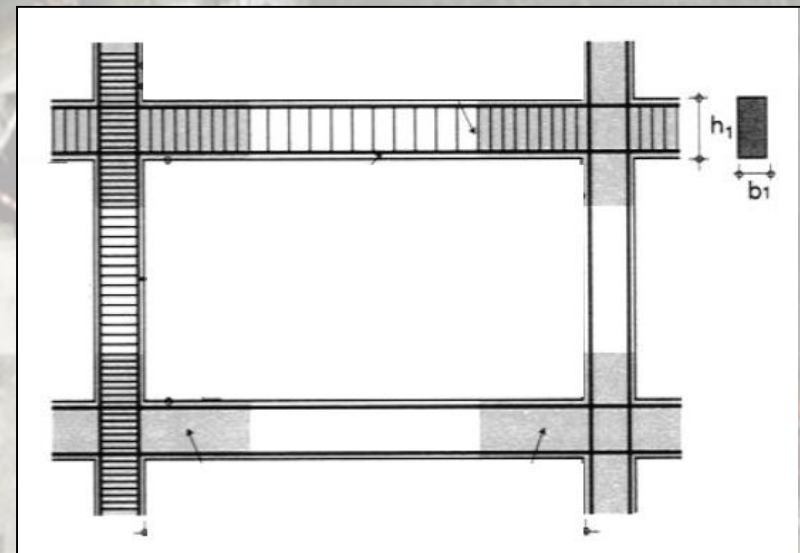
Dommmages aux constructions en béton

Conception des zones critiques : Confinement

Exemple de conception de zone critique de poteau(EC8)



Exemple de conception du confinement d'une poutre



Conception des confinements aux voisinages des liaisons (nœuds)

Dommmages aux constructions en béton

Conception des zones critiques : Confinement



Alaska, 1964: Exemple très convainquant des capacités de traction et de flexion obtenues grâce à la qualité des confinements dans les zones critiques de cette structure (parking)



Californie, 1979, Imperial valley: Contre exemple de confinement satisfaisant :

- outre le manque de cadres et la mauvaise qualité du béton, la section des armatures longitudinales apparait bien trop importante par rapport à la section du poteau.

Dommmages aux constructions en béton

La corrosion des armatures

- L'armature doit se trouver à l'intérieur du béton et ne pas paraître à l'extérieur.
- **IMPACT DES FISSURES** / Dans des conditions normales, les armatures enrobées de béton sont protégées par un phénomène de passivation (création d'une pellicule protectrice de ferrite : $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$). Ce phénomène existe tant que la présence de chaux maintient la basicité du milieu mais en présence de certains composés extérieurs, le milieu se trouve progressivement modifié et le pH passe de 12 à 9 entraînant une dépassivation de l'acier. (couple électrique = effet de pile!!!!)
 - Plusieurs agents peuvent détruire la pellicule de protection : le gaz carbonique, les chlorures, les sulfates et l'eau pure. (ces apports sont aussi produits par la rouille des armatures)
 - **L'ENROBAGE** des armatures doit être au moins égal à :
 - 4 cm pour les ouvrages exposés à des conditions difficiles (embruns, eaux agressives) ;
 - 3 cm pour les parois non coffrées et susceptibles d'être soumises à des actions agressives ;
 - 2 cm pour les parois exposées aux intempéries ou aux condensations ;
 - 1 cm dans les locaux ouverts ou clos sans condensation.

Dommmages aux constructions en béton

La corrosion des armatures



Détails de corrosion des armatures et défauts des épaisseurs d'enrobage
(Docs. Victor Davidovici et CSTB)



Dommmages aux constructions métalliques

Le matériau acier

Avantages des aciers pour la tenue aux séismes :

- **une très bonne ductilité naturelle : il est capable de subir une déformation importante avant de se rompre, sans dégradation dans sa constitution, sans détérioration de sa résistance et de sa rigidité ;**
- **une grande capacité d'absorption d'énergie : c'est le comportement ductile de l'acier qui favorise la dissipation de l'énergie ;**
- **un rapport résistance/masse volumique élevé (performance);**
- **une résistance mécanique élevée à la traction, à la compression et au cisaillement ;**
- **une bonne tenue en fatigue : capacité de l'acier à supporter un grand nombre de cycles et de charges avant rupture ;**
- **facilité de mise en œuvre d'assemblages à la fois rigides, résistants et ductiles.**

Dommmages aux constructions métalliques

Dommmages caractéristiques



**Cloquage d'un pied de poteau
acier tubulaire (Séisme de
Kobé, 1995)
(Document EQIIS – USA)**



**Flambement d'une tête de poteau de
section en I (Séisme d'anchorage, 1960)
(Document EQIIS – USA)**

Dommages aux constructions métalliques

Dommages caractéristiques



**Maitrise du lieu de
l'éventuelle rotule plastique
(en cas de Cs)
Doc. P Balandier**



**Flambement d'un
poteau d'acier enrobé
de BA
(Séisme d'Anchorage,
1964) (Document Karl
– V.
Steinbrugge)**

Dommmages aux constructions métalliques

Dommmages caractéristiques



Plastification de la zone centrale du système de stabilisation (à barres centrées ou excentrées)



Arrachement des ancrages des pieds de poteaux (semelles)



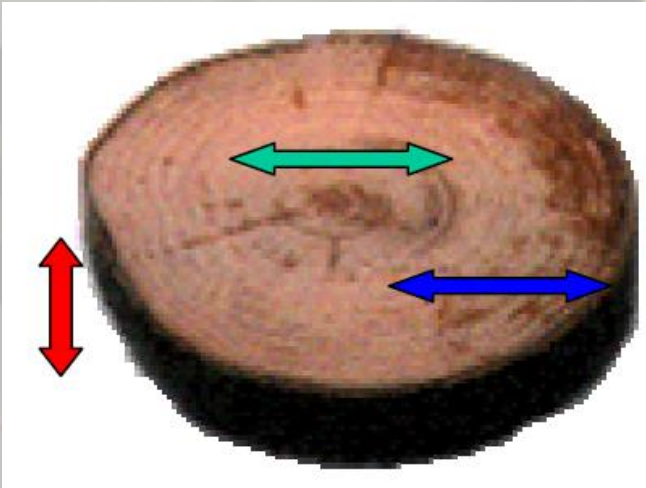
**Déversement d'une poutre de grande portée
(Sendai – Séisme de Tohoku 2011, Japon –
Source Rapport
Université de Hokkaido)**

Dommmages aux constructions bois

Le matériau bois

On considère 3 directions de travail :

- **Axiale** (sens des fibres): bonne résistance en traction et compression, donc à la flexion.
- **Radiale** (perpendiculaire aux fibres): très faible résistance en traction et en compression.
- **Tangentielle** (aux anneaux de croissance): idem.



Rapport résistance/masse volumique excellent dans le sens des fibres

En général faible résistance au cisaillement (axial ou non)

N-B: En outre la résistance dépend de l'essence, de la vitesse de croissance et de la position dans le tronc de la pièce.

Dommmages aux constructions bois

Le matériau bois

Avantages du bois dans la conception parasismique :

- **Masse réduite = forces d'inertie réduites**
- **Amortissement élevé dans les assemblages bien conçus**
- **Bois = matériau résilient (supporte bien les chocs et les vibrations)**
- **Dans le sens des fibres: bonne résistance en traction et compression**
- **Rapport résistance/masse volumique excellent (sens des fibres)**
- **Rigidité et résistance des pièces de bois peu affectées par les charges cycliques de durée faible, quelques secondes (25% supérieure à charge statique).**

Dommmages aux constructions bois

Le matériau bois

Inconvénients du bois dans la conception parasismique :

- **Matériau sensible aux champignons et insectes**
- **Les conditions de pérennité du matériau bois sont associées à son exposition à l'environnement.**
- **L'humidité et à la températures de l'air sont deux paramètres importants.**

Dommages aux constructions bois

Les dommages caractéristiques



Mode de ruine d'une construction en bois (Séisme du Chili, 1960) (Document Rodolfo Schild).

S'il n'y a pas d'arrachement des liaisons entre les éléments, même suite à des déformations très importantes, l'endommagement du bâtiment est progressif.



Séisme du Chili (Document Karl-V. Steinbrugge).

Les structures en bois acceptent des déformations importantes de leurs assemblages s'ils ne mènent pas à effondrement pour rupture fragile.

Dommmages aux constructions bois

Les dommages caractéristiques



La dislocation totale par faiblesse des assemblages non ductiles. Séisme de Kobé 1995. (document EERI)



Les déformations acquises de cette construction, dont les assemblages n'ont pas lâché, n'ont pas entraîné son effondrement. Séisme de Kobé, 1995 (Document EERI)