

Les principes de la protection sismique (parasismique) des ouvrages de construction

Crédits des illustrations

A. Trumtel (2013)

H. Beshman : Conception parasismique des bâtiments – Principes de base à l'attention des ingénieurs, architectes, maîtres d'ouvrages et autorités (2012)

**CSTB- TABLEAU SYNOPTIQUE DES DISPOSITIONS PARASISMIQUES
du chapitre 9.7. de l'eurocode 8-1 et des règles ps-mi 89/92 relatifs à la construction des
maisons individuelles**

CimBéton Béton et Confort – Sismique (93 pg)

Principes de protection sismique

Protection réglementaire ne signifie pas protection « totale »

Les règles EC8 ne visent pas la protection contre le séisme maximal plausible, mais contre un séisme à période de retour :

- ❖ de 475 ans ou dont l'intensité a une probabilité égale à 10% d'être dépassée dans un intervalle de temps de 50 années ;
- ❖ de 95 ans pour la limitation de dommages.

L'application des règles ne doit pas entraîner de coûts excessifs.

- **Pas d'obligation de conception architecturale parasismique.**
- **Calcul et des dispositions constructives → « contraintes » réglementaires**

Un projet, d'architecte , même mal conçu, peut être calculé aux séismes et satisfasse la réglementation en vigueur. Mais un bon projet permet :

- ❖ de minimiser les charges sismiques ;
- ❖ de créer une réserve de résistance vis-à-vis des charges plus sévères que le séisme de calcul
- ❖ d'abaisser le coût de la protection parasismique

Principes de protection sismique

Caractéristiques d'une structure parasismique

- **La capacité à «dissiper l'énergie» :**
 - ➔ accepter des dommages structuraux «bien placés » afin de dissiper une partie de l'énergie des oscillations pouvant provoquer l'effondrement sur les occupants.
- **La résistance à l'effondrement après d'importants dommages structuraux :**
 - ➔ maintien à leur place des planchers pour évacuer les personnes
- **La légèreté :**
 - ➔ structures légères : préférables car sont moins sollicitées
- **La résistance aux efforts alternés :**
 - ➔ capable d'équilibrer les efforts ascendants et descendants : pas de structures haubanées unilatéralement ou ossatures suspendues.
- - **L'adaptation aux conditions d'appui :**
 - ➔ pouvoir supporter un tassement différentiel sans s'effondrer.
- **La régularité des systèmes porteurs :**

Travées régulières, superposition des éléments porteurs verticaux, même longueur libre pour tous les poteaux, poteaux de sections comparables, niveaux ayant une rigidité comparable, homogénéité, monolithisme du bâtiment

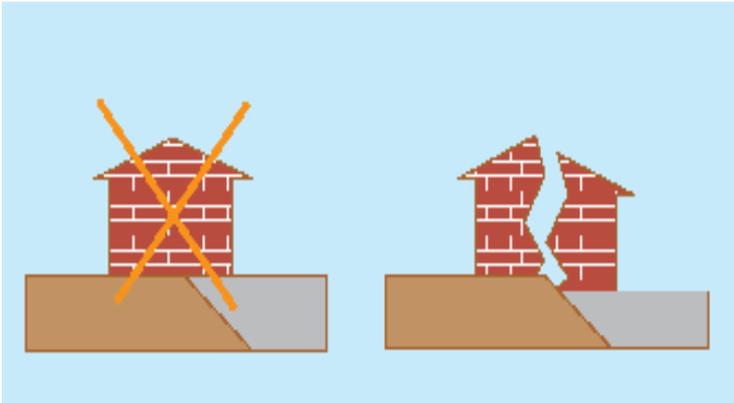
Principes de protection sismique

Trois conditions doivent être remplies pour qu'une construction soit parasismique :

- 1- Une implantation tenant compte des effets de site ✓
- 2- Une conception architecturale parasismique
- 3- Une application des règles parasismiques

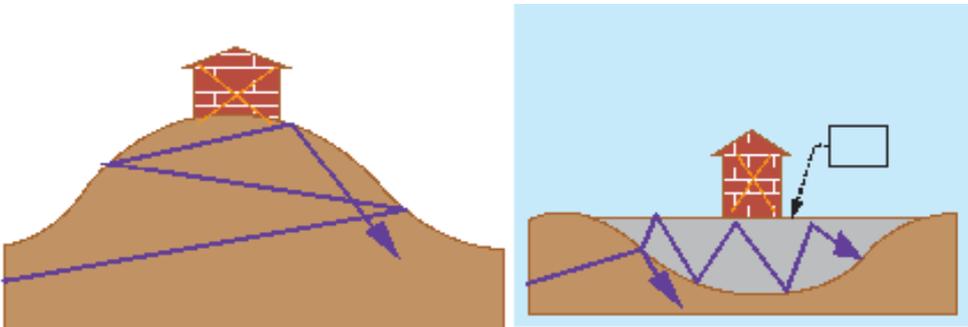
Principes de protection sismique

Le choix du site



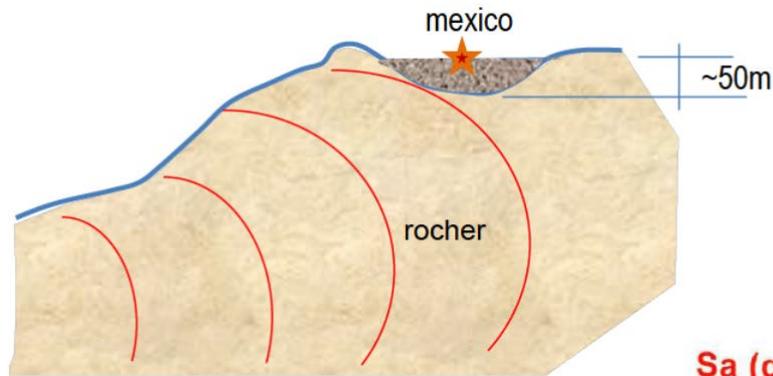
Les mouvements vibratoires à la surface du sol peuvent être amplifiés sous l'action d'effet de site

Éviter de construire sur une butte, sur une couche superficielle meuble ou à proximité d'une faille active.

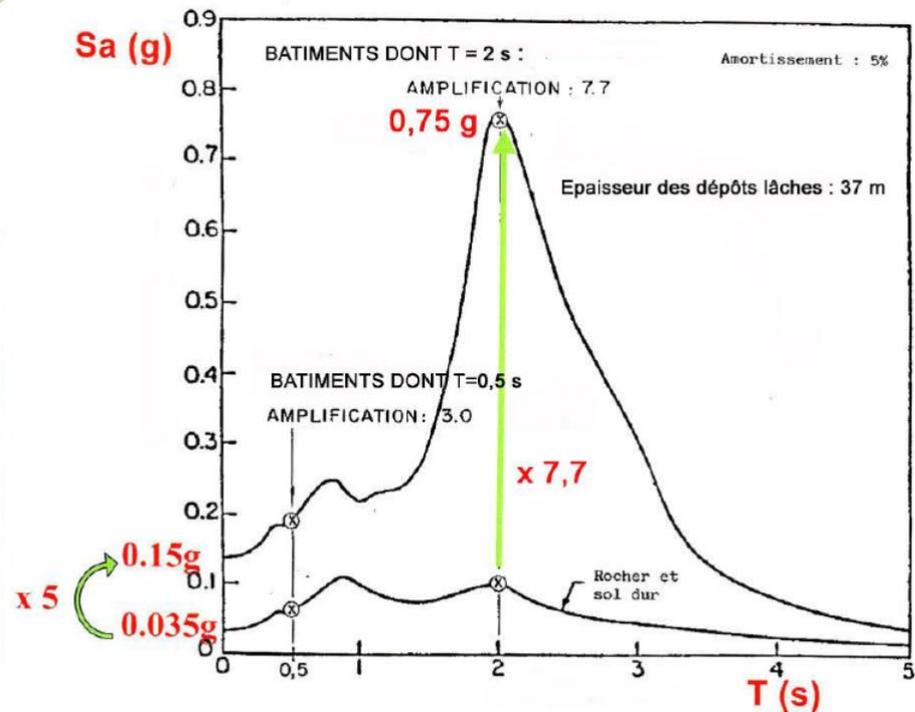


Principes de protection sismique

Le choix du site (suite)



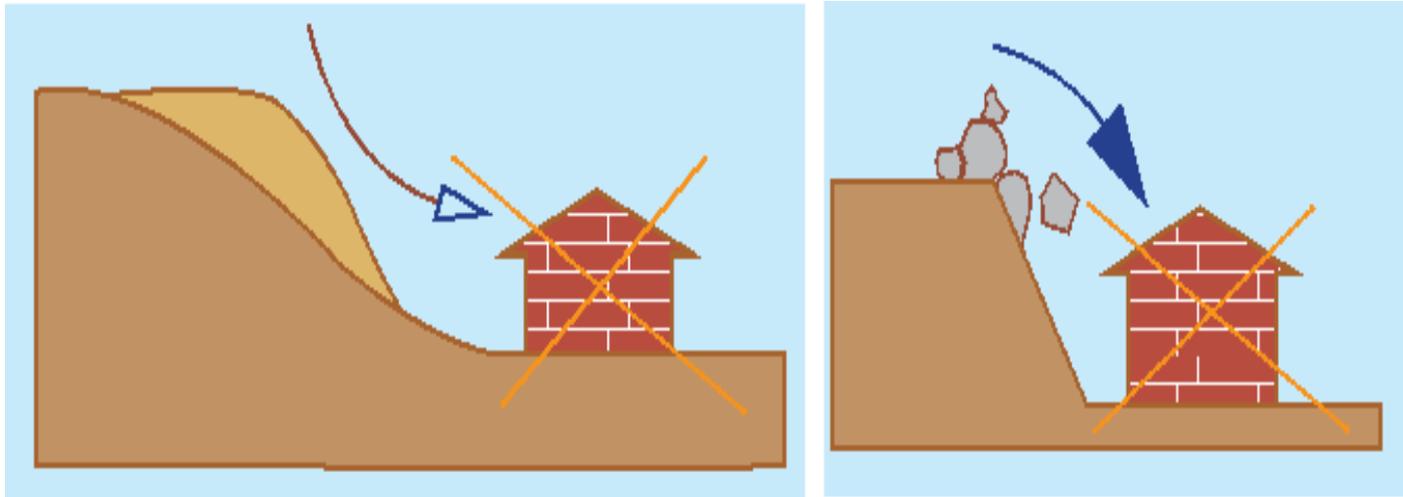
Effet topographique et résonance à Mexico



Principes de protection sismique

Le choix du site (suite)

Parfois, les séismes peuvent provoquer des effets induits



Glissement de terrain ou éboulements rocheux

Principes de protection sismique

Le choix du site (suite)



Rognes, France 1909

EFFETS INDUITS
Liquéfaction du sol

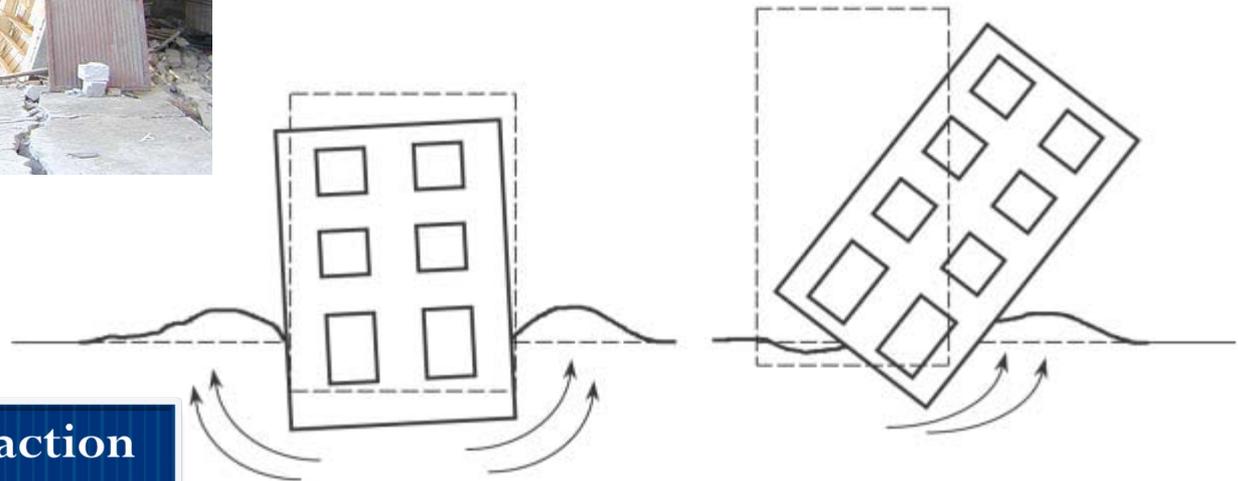


Principes de protection sismique

Le choix du site (suite)



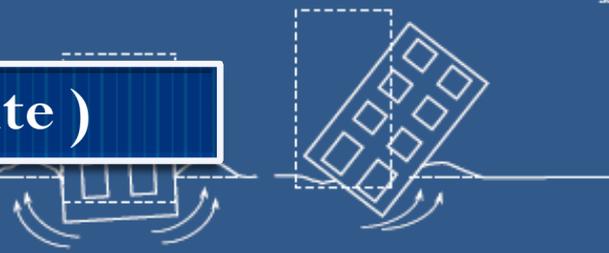
**Phénomène de liquéfaction
des Sols**



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

Principes de protection sismique

Le choix du site (suite)



Tenir compte du danger de
liquéfaction du sol!



Principes de protection sismique

Trois conditions doivent être remplies pour qu'une construction soit parasismique :

1- Une implantation tenant compte des effets de site

2- Une conception architecturale parasismique

3- Une application des règles parasismiques

La conception architecturale parasismique

Lignes directrices :

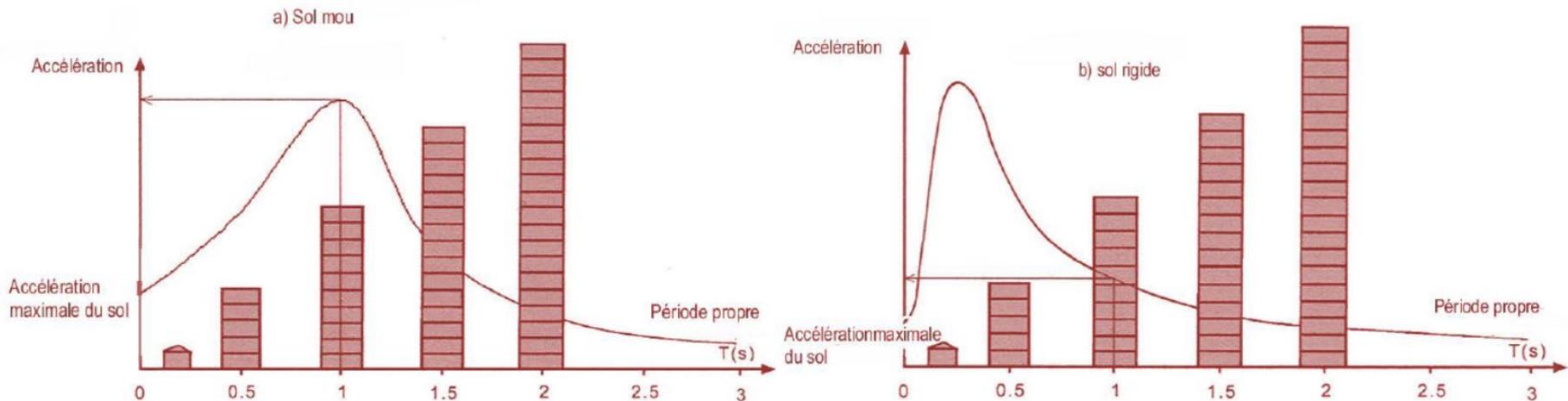
- ❖ Conception d'ensemble qui optimise les oscillations et limite les concentrations d'efforts et des contraintes : simplicité des formes, homogénéité dans la répartition des masses et des inerties ;
 - ❖ Matériaux de structure supportant naturellement les secousses (acier, bois) ;
 - ❖ Confinement des matériaux « fragiles », qui se disloquent sous l'effet des secousses : maçonnerie, béton ;
 - ❖ Assemblages résistant aux déformations de la structure ;
 - ❖ Capacité à se déformer plutôt que rompre : hyperstaticité, ductilité ;
 - ❖ Capacité à dissiper l'énergie : viscosité, plasticité, endommagement ;
 - ❖ Dimensionnement suffisant pour résister aux charges sismiques.
- ➔ La résistance aux séismes ne dépend donc pas que du dimensionnement mais est fortement conditionnée par la conception de l'ouvrage et son implantation sur le site de construction.

Prévention de la résonance (1)

Choix préférentiel du système porteur ou/et du contreventement :

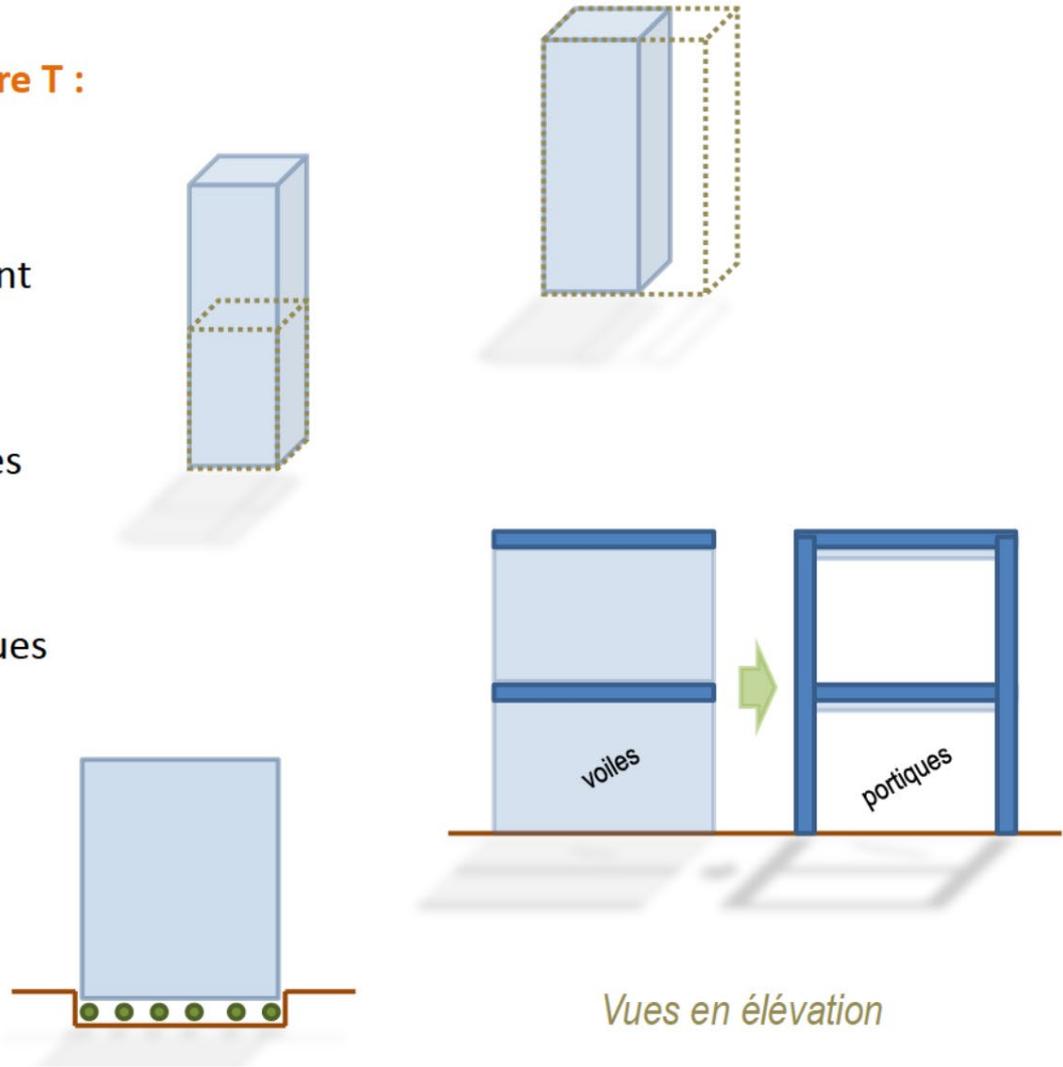
- ❖ structure rigide sur sol meuble (impérativement) ;
- ❖ structure « flexible » sur sol ferme.

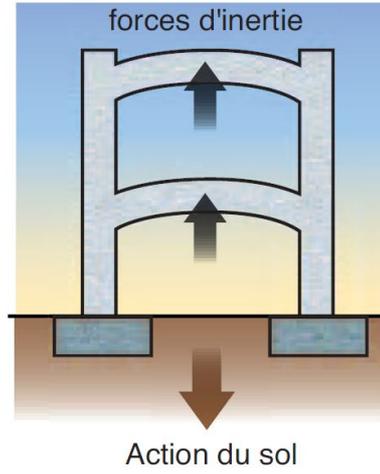
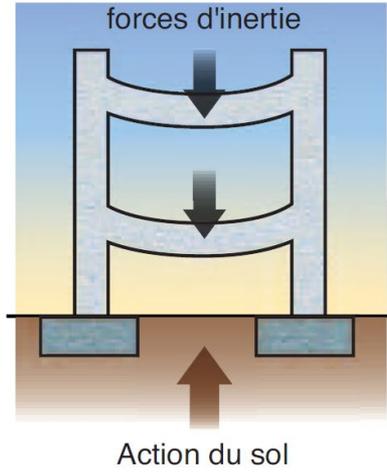
	Sol ferme = Période d'excitation courte	Sol mou = Période d'excitation longue
Bâtiment compact = Période propre courte	RISQUE DE RESONANCE ELEVE	OUI
Bâtiment élancé = Période propre longue	OUI	RISQUE DE RESONANCE ELEVE



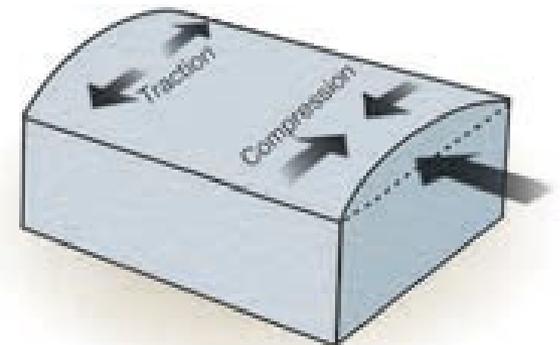
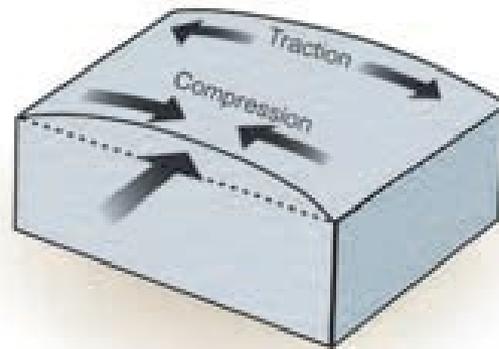
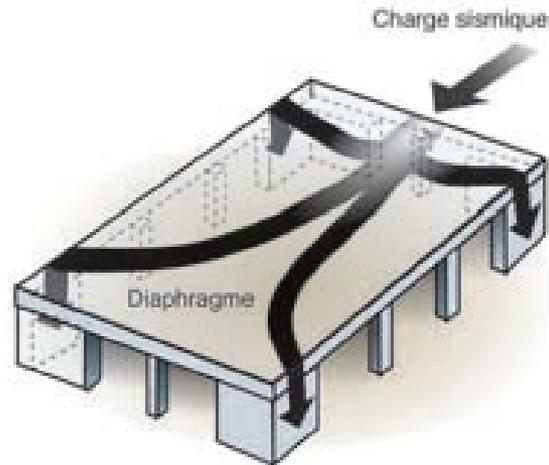
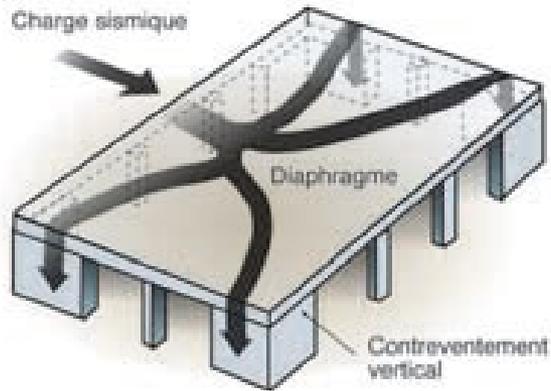
Pour augmenter la période propre T :

- Modifier la forme du bâtiment
 - augmenter sa hauteur
 - augmenter son élancement géométrique
- Réduire sa rigidité
 - contreventer par portiques
 - augmenter les portées (ossatures en portiques)
- Utiliser des dispositifs mécaniques
 - isolation parasismique
 - masse passive
 - contrôle actif





Effet diaphragme



Exigences en termes de contreventement minimale (2)

Valeurs minimales de la somme des sections transversales des murs de contreventement dans chaque direction en pourcentage de la surface totale de chaque niveau.

Tableau A1 - Valeurs minimales de la somme des sections transversales des murs de contreventement dans chaque direction en pourcentage de la surface totale de chaque niveau

Types de niveaux	Nombre de niveaux	Accélération sur site agS					
		0,50 m/s ²	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00
R + C	1	0,15	0,30	0,40	0,60	0,76	0,91
R + T	1	0,28	0,56	0,83	1,11	1,39	1,67
R + E + C	2	0,38	0,75	1,13	1,51	1,88	2,26
R + E + T	2	0,55	1,11	1,66	2,21	2,77	3,32
SS + R + C	2	0,45	0,90	1,35	1,80	2,25	2,70
SS + R + T	2	0,58	1,16	1,73	2,31	2,89	3,47
SS + R + E + C	3	0,58	1,15	1,73	2,30	2,87	3,45
SS + R + E + T	3	0,73	1,46	2,19	2,93	3,66	4,80

R = rez-de-chaussée C = couverture (comble non habitable) T = toiture terrasse

E = étage au-dessus du rez-de-chaussée, y compris les combles habitables

S = sous-sol dont la surface des murs visibles de l'extérieur ne dépasse pas 50 %. Dans le cas contraire, ils comptent pour un étage au-dessus du sol.

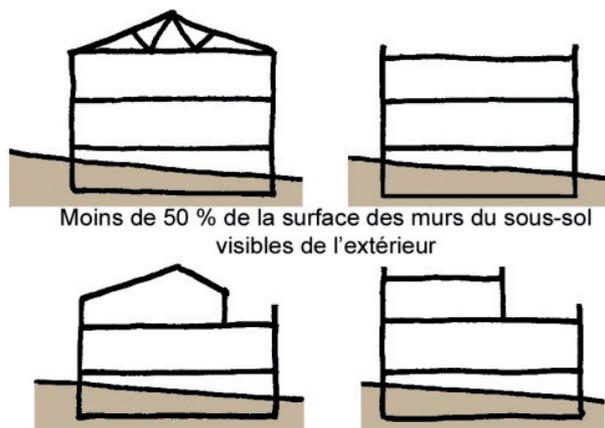
La conception architecturale parasismique

Exigences en termes de contreventement minimal (2)

Nombre maximal de niveaux

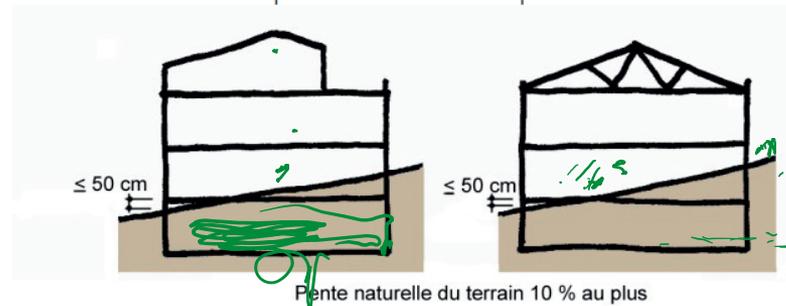
Sous-sol + RC + étage + comble non habitable.

Les sous-sols partiellement enterrés comptent pour un niveau au-dessus du sol dès lors que plus de 50 % de la surface de leurs murs périphériques est visible de l'extérieur :



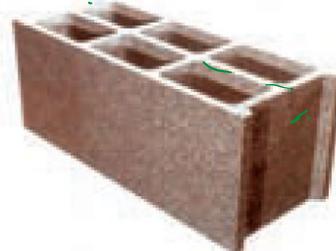
Sous-sol + RC + étage + comble habitable ou non.

Un sous-sol est considéré comme un niveau au-dessus du sol lorsque le plancher bas du rez-de-chaussée dépasse le sol de plus 50 cm (exception faite d'un accès au sous-sol d'au plus 3 m de largeur), même si le dépassement n'a lieu qu'en aval d'une maison implantée sur une pente :



Exigences des matériaux de contreventement

Les **blocs de béton creux**, d'une épaisseur minimale brute de 20 cm, doivent comporter une cloison interne porteuse parallèle au mur, superposée d'un bloc à l'autre



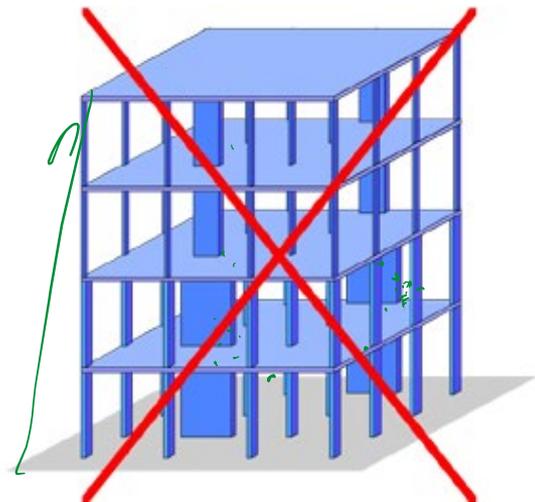
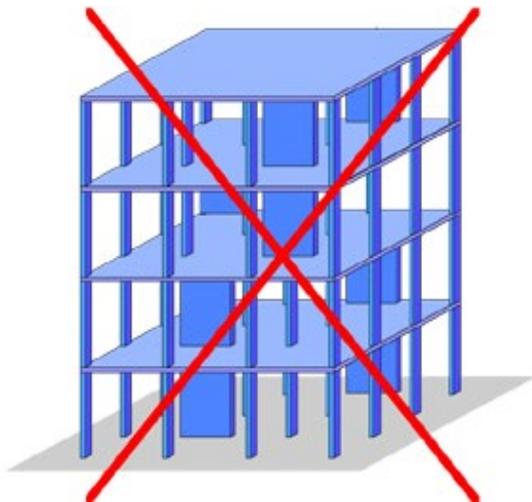
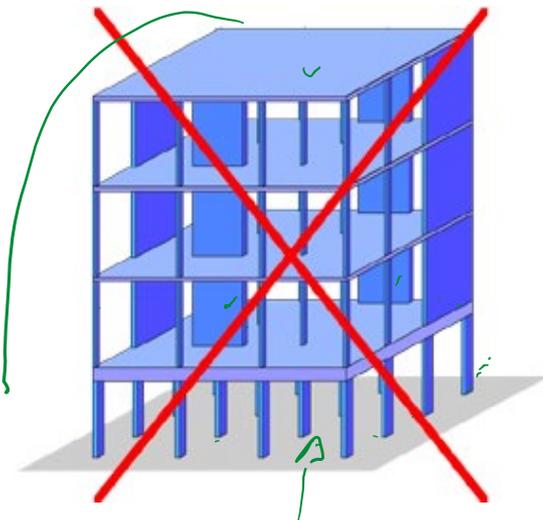
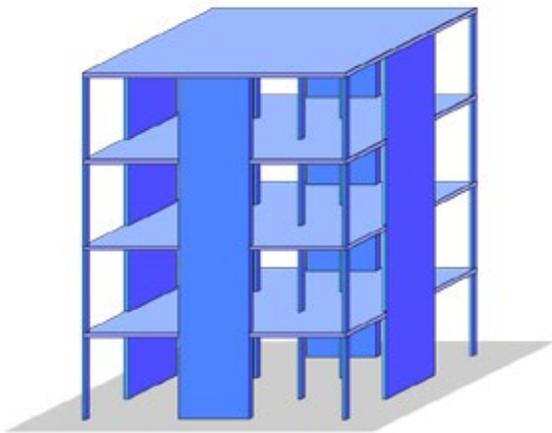
Blocks autorisés



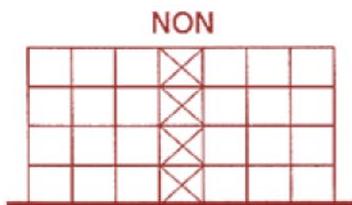
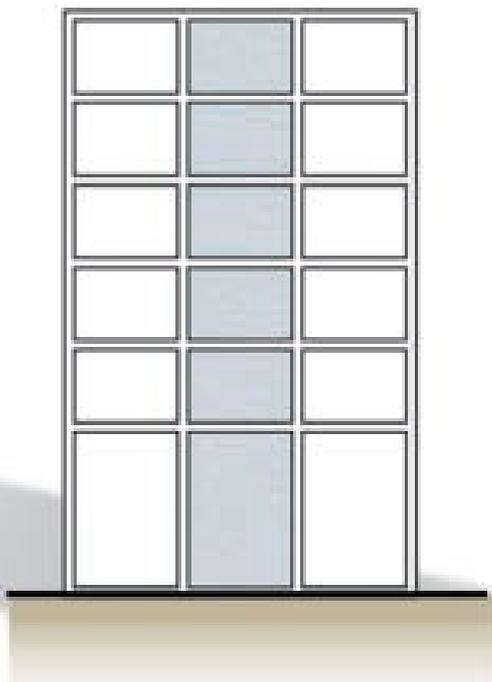
Block non autorisé pour contreventement

La conception architecturale parasismique

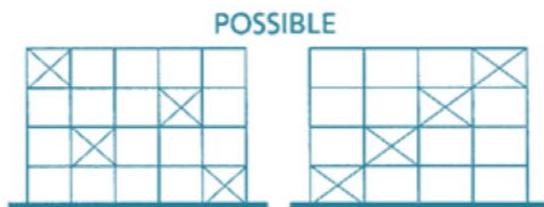
3- Régularité de l'ossature



**Hauteurs de niveau
inégales :
la différence de
rigidité entre deux
niveaux ne devrait
pas dépasser 30 %**

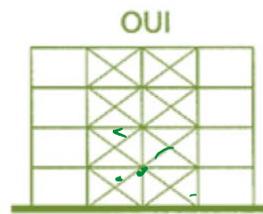


a) palée étroite

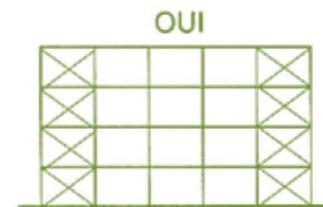


*b) palées
non superposées*

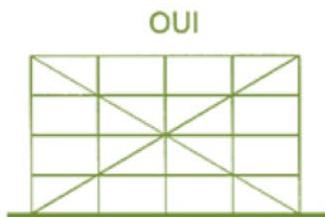
*c) palées
non superposées*



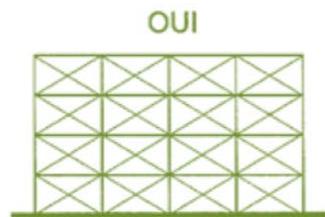
d) palée large



e) palées aux angles

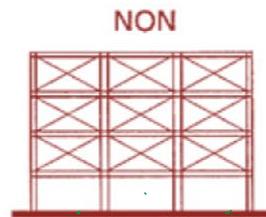


f)

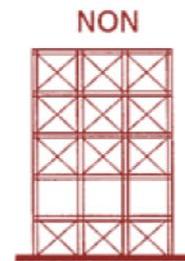


g)

la façade constitue une palée de stabilité

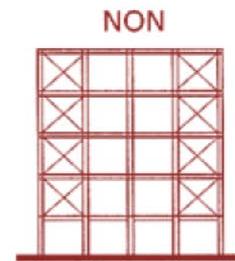


h)



i)

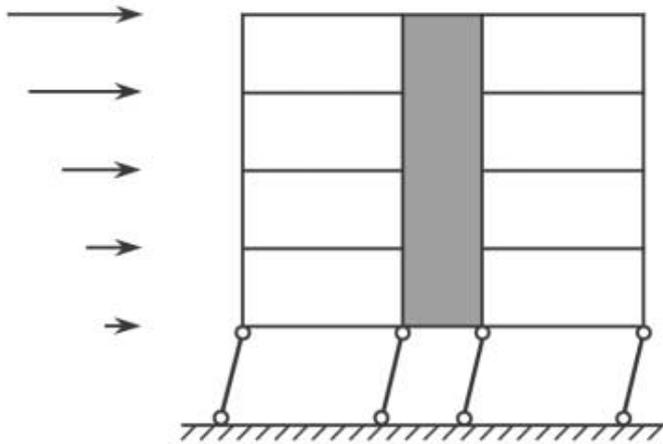
niveaux flexibles



j)

La conception architecturale parasismique

3- Eviter les rez-de-chaussée flexibles!



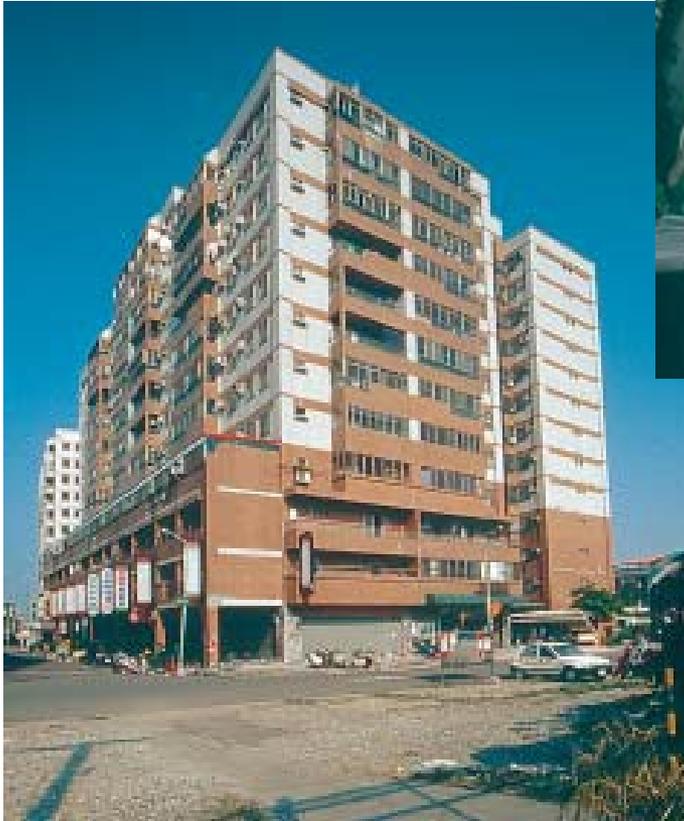
Eviter les rez-de-chaussée flexibles !



3- Eviter les rez-de-chaussée flexibles!



3- Eviter les rez-de-chaussée flexibles!



Taiwan, 1999



3- Eviter les rez-de-chaussée flexibles!

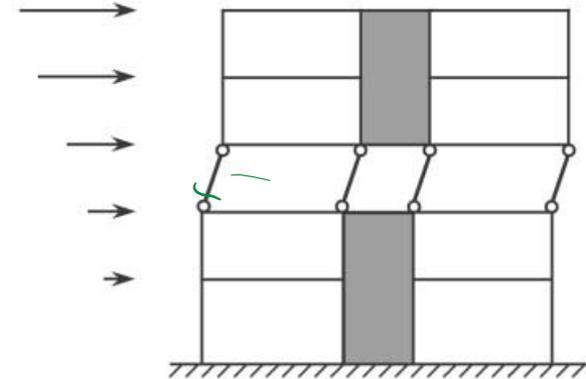


La conception architecturale parasismique

4- Eviter les niveaux supérieurs flexibles !!!



Kobe 1995



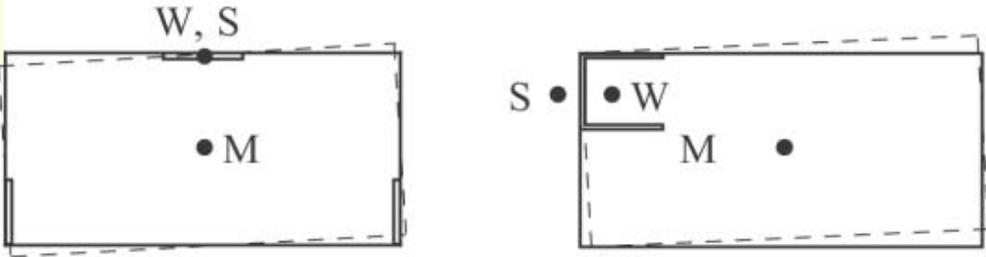
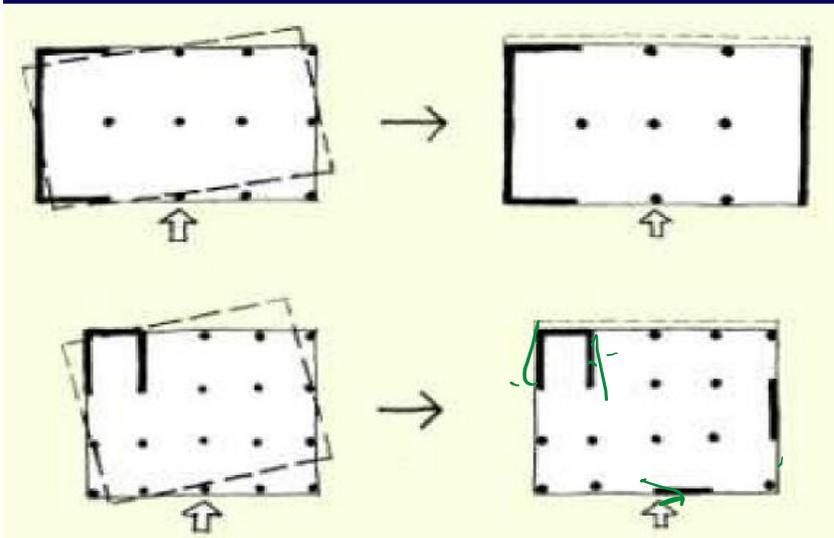
4- Eviter les niveaux supérieurs flexibles !!!



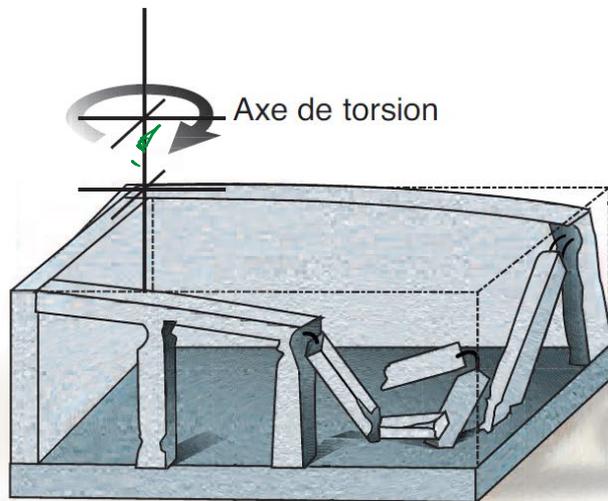
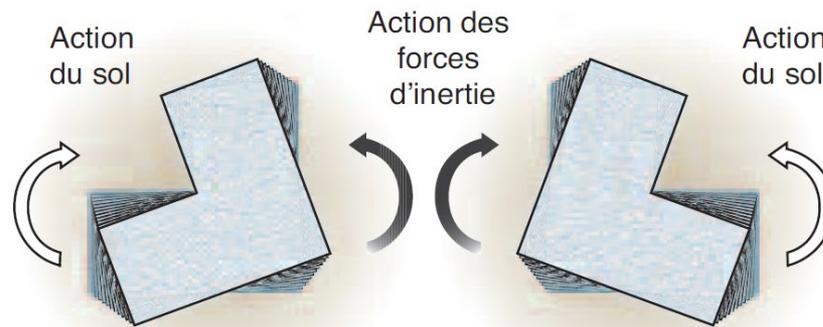
(Izmir, Turquie, 1999).

La conception architecturale parasismique

5 - Eviter les phénomènes de torsion



5 - Eviter les phénomènes de torsion



5 - Eviter les phénomènes de torsion



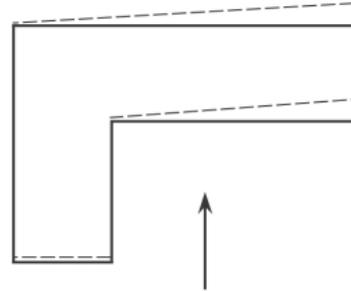
Domages sismiques dus à la torsion d'ensemble



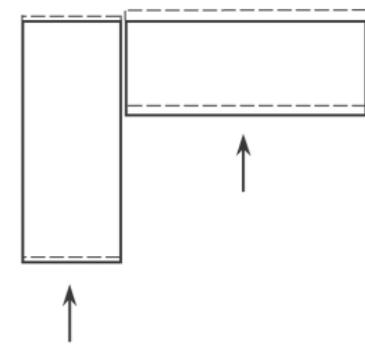
La conception architecturale parasismique

5 - Eviter les phénomènes de torsion

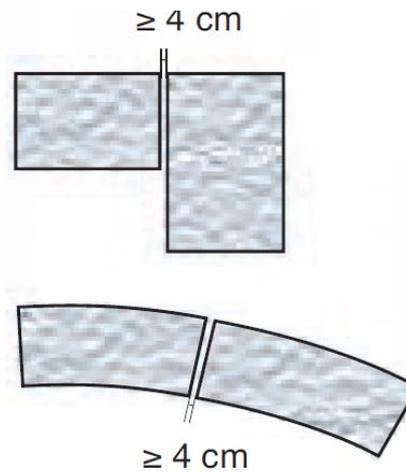
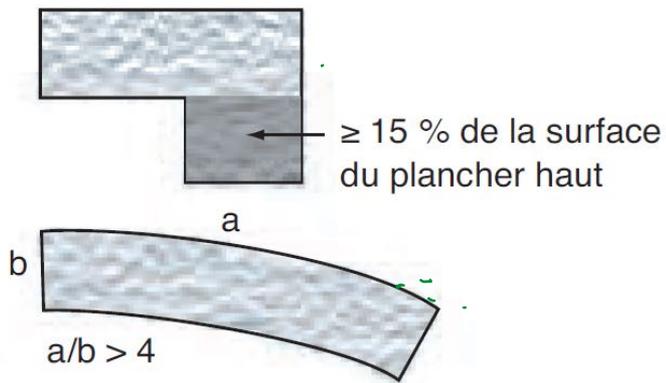
défavorable



meilleur



Préférer des plans compacts !



Maisons ne bénéficiant pas d'une classification « bâtiments simples en maçonnerie »

Bâtiments « simples »

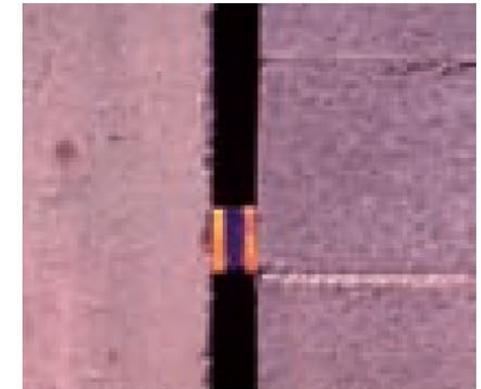
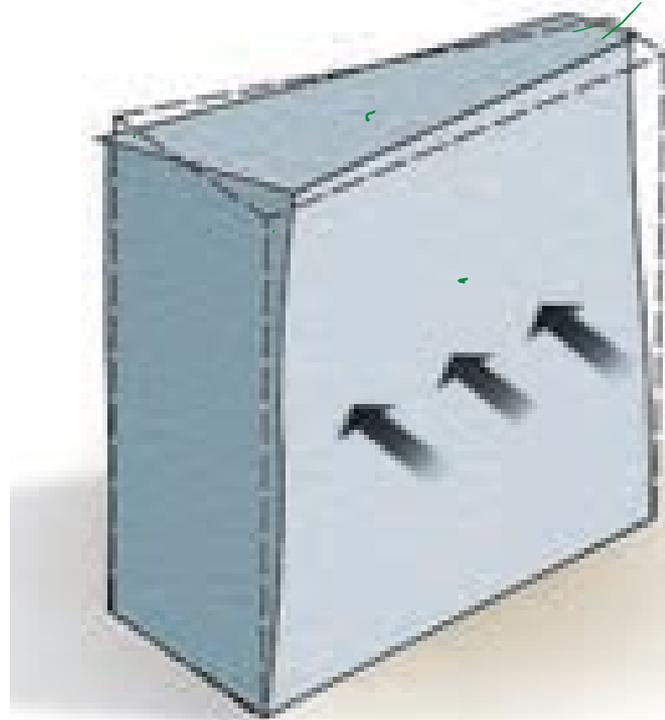
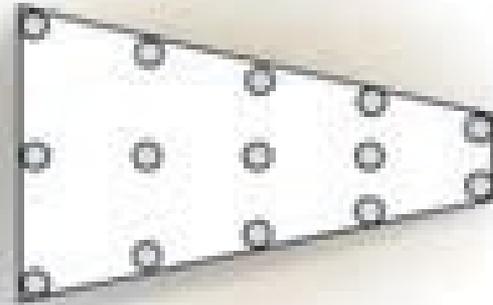


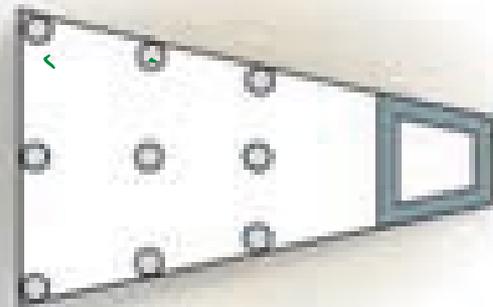
Fig. 26 - Joint sismique vide de tout matériau, épaisseur 4 cm



Torsion d'ensemble



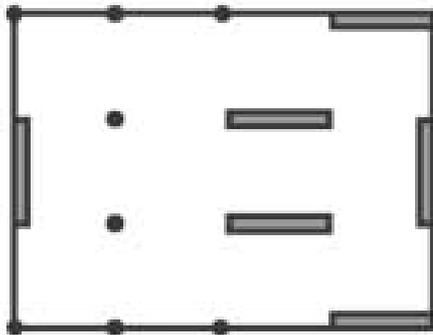
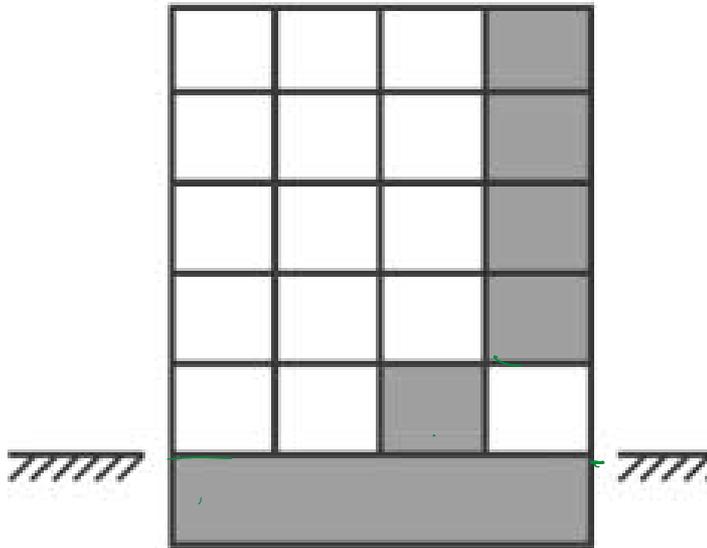
Immeuble exposé à la torsion d'ensemble



Solution permettant de limiter la torsion

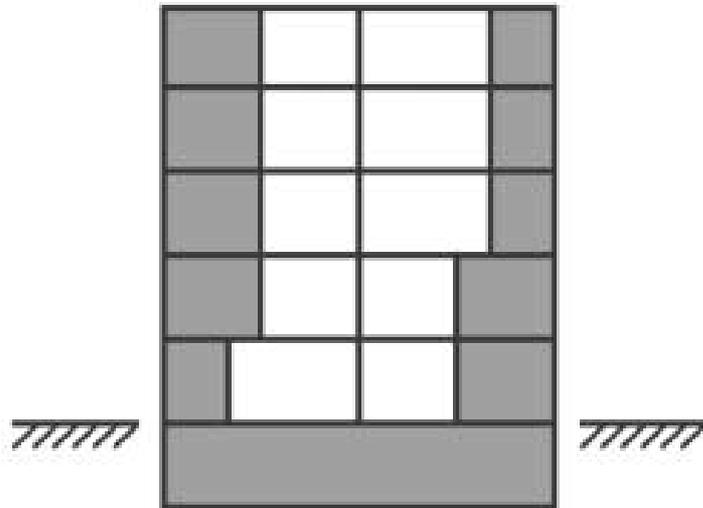
La conception architecturale parasismique

6 - Eviter les discontinuité de structure

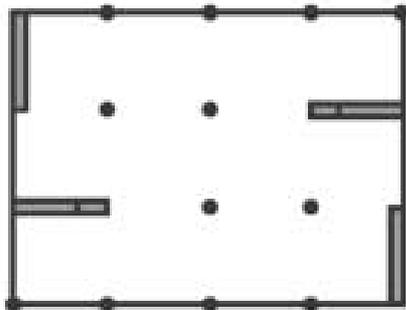


La conception architecturale parasismique

6 - Eviter les discontinuité de structure



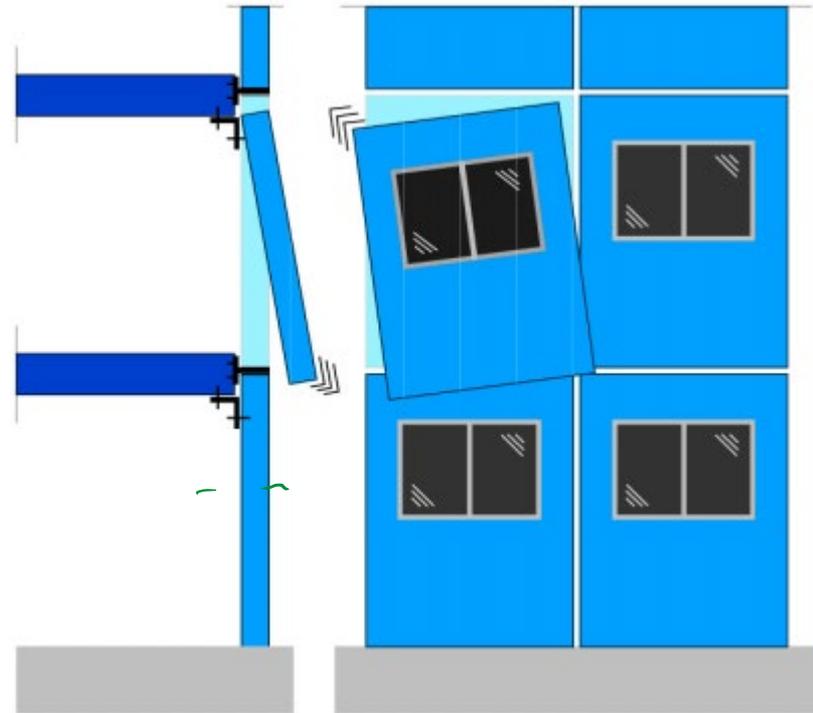
Les sauts
de rigidité et de résistance
sont problématiques !



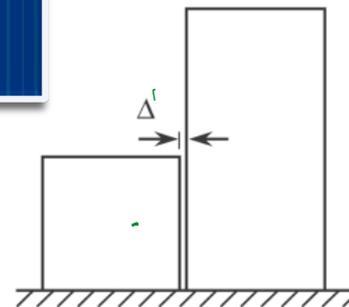


La conception architecturale parasismique

Assurer la stabilité des façades préfabriquées



La conception architecturale parasismique



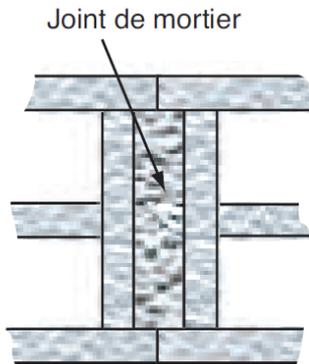
Concevoir les joints entre deux bâtiments de façon appropriée!

Eviter les effets de chocs

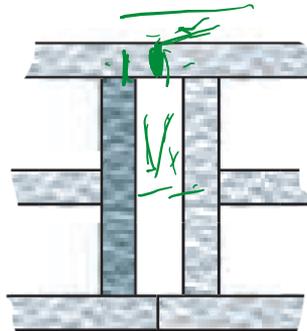


Eviter les effets de chocs

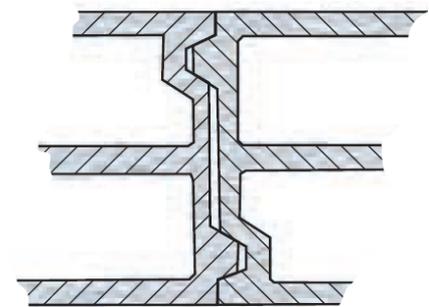
Joint vertical
continu



Joint vertical
rempli de mortier



Joint vertical non rempli
(montage à bords jointifs)



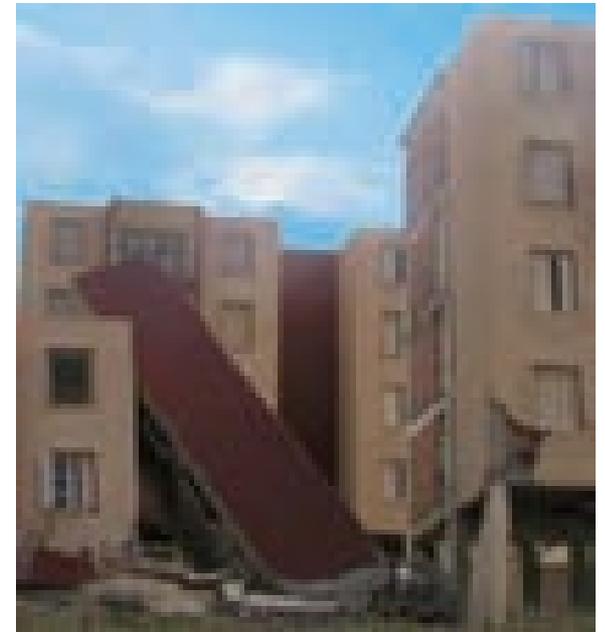
Bloc à emboîtement
mécanique effectif
(montage à bords jointifs)

Eviter les effets de chocs

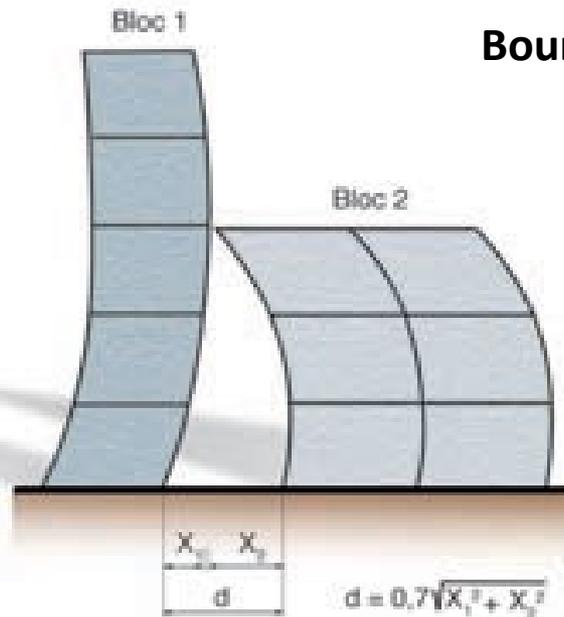
Dommages dus à l'entrechoquement de blocs contigus



Tokachi-Oki, Japon 1968



Boumerdès, Algérie 2003



Eviter les effets de chocs



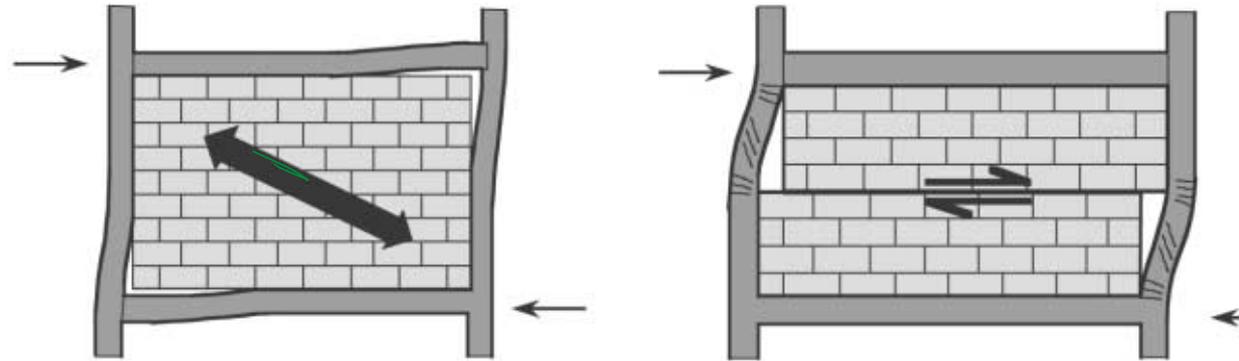
Joint sismique vide
de tout matériau



La conception architecturale parasismique



Eviter les remplissage en maçonnerie



Eviter le remplissage des cadres
par de la maçonnerie !



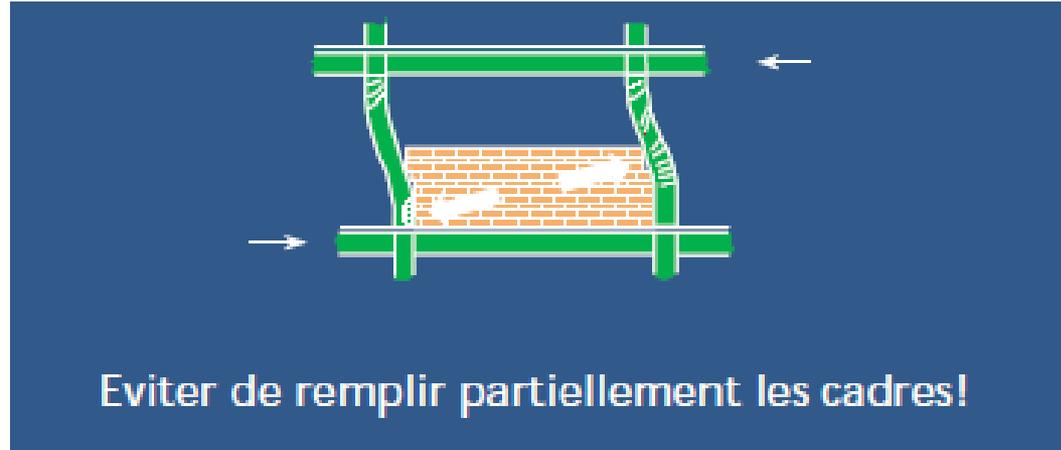
Seisme du 26.11.2019
Durrës, Albanie,
Intensité 6.4







Eviter les effets du « poteau court »

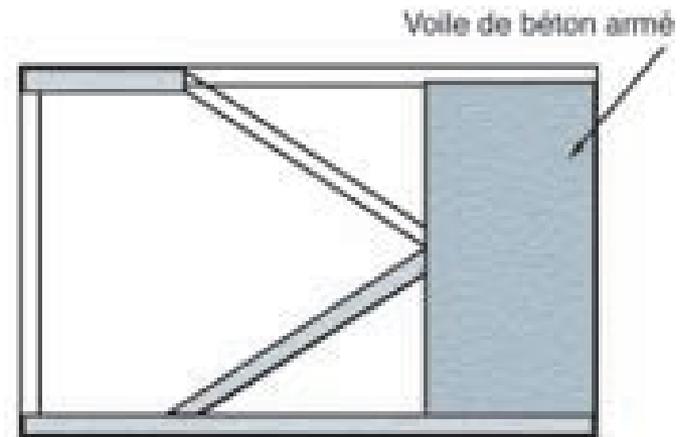
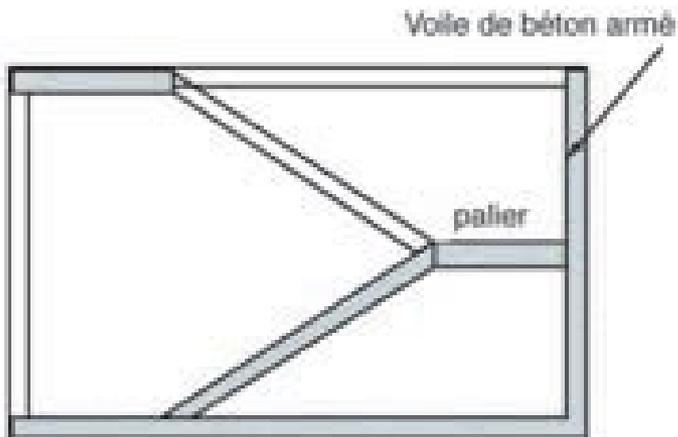


Effet du poteau court



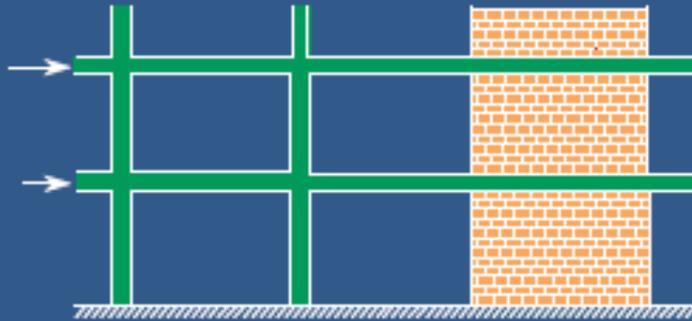
Eviter les effets du « poteau court »

El Asnam, Algérie
1980



Cadre en béton armé

Paroi porteuse en maçonnerie

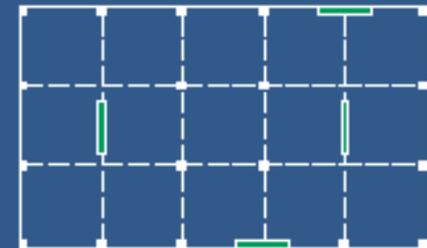


Eviter les systèmes mixtes colonnes-maçonnerie porteuse!

Prof. Hugo Bachmann

ibk - EPF Zurich

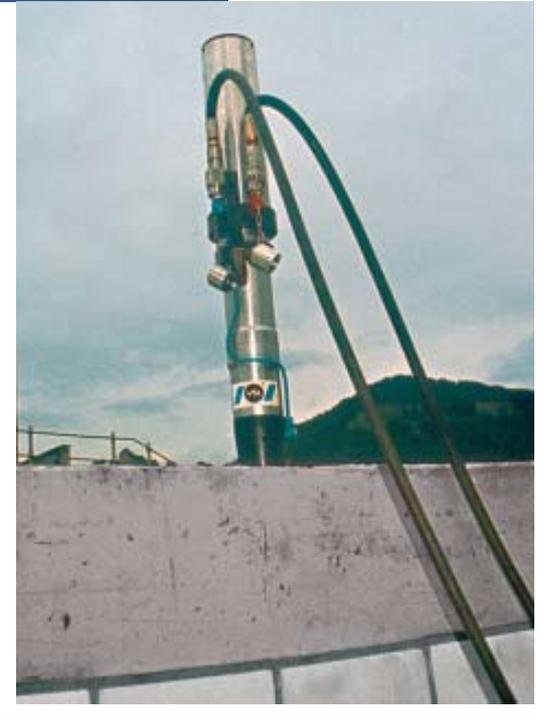
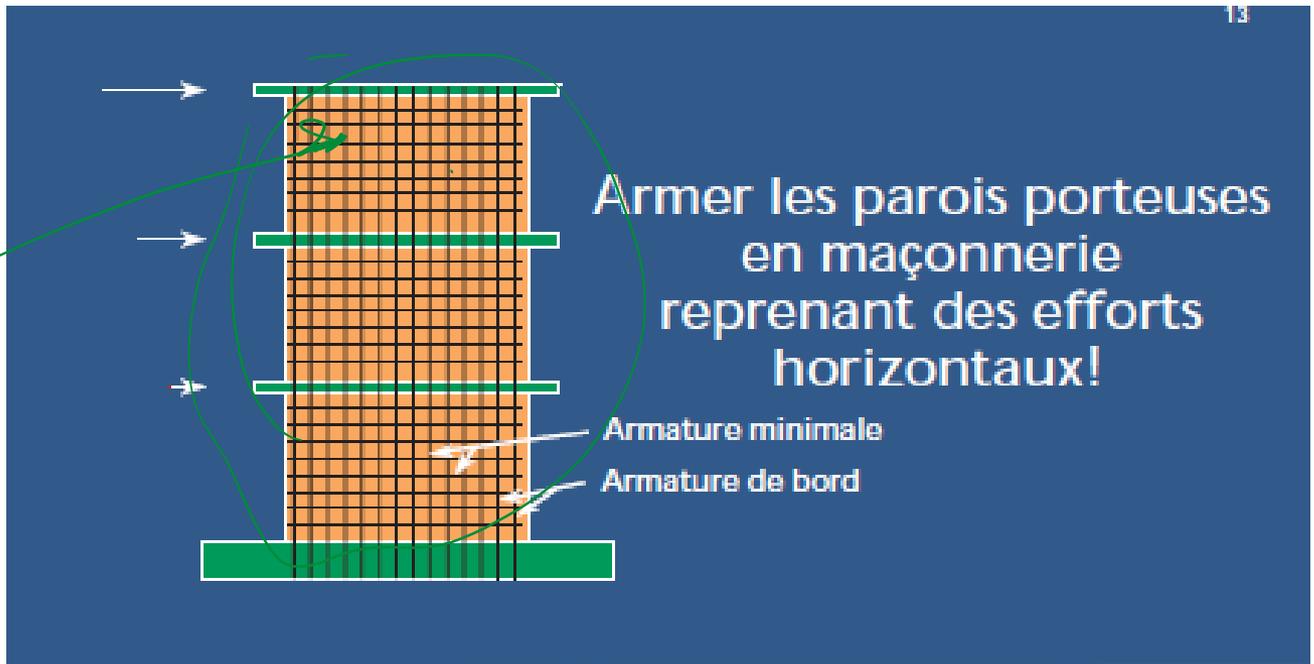
9



Deux parois porteuses élancées en béton armé par direction principale!

Prof. Hugo Bachmann

ibk - EPF Zurich



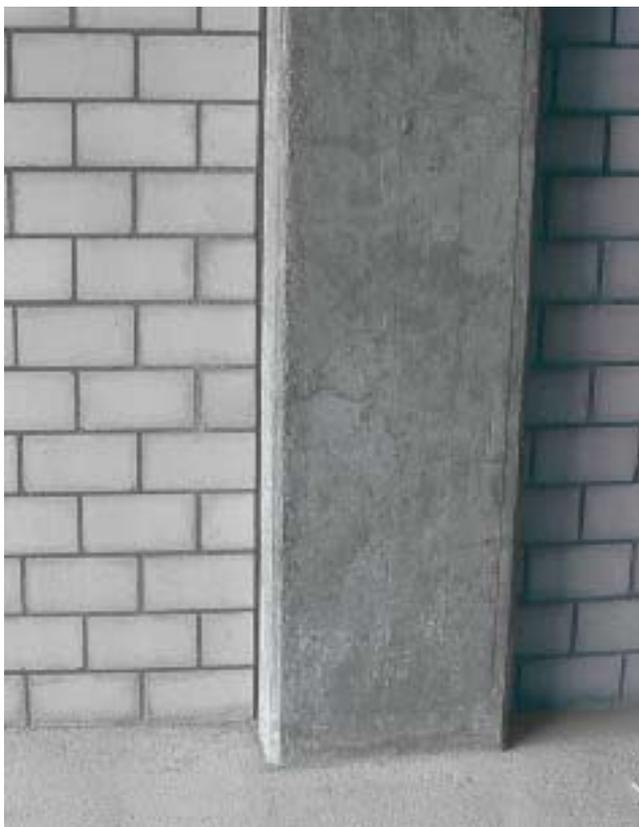
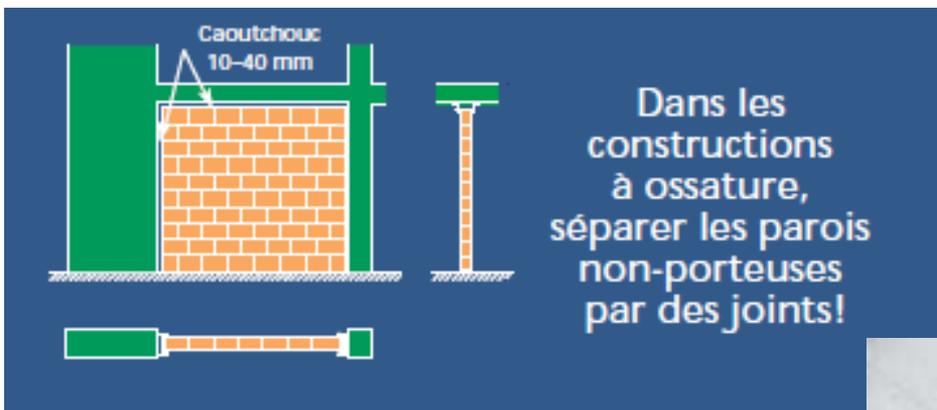


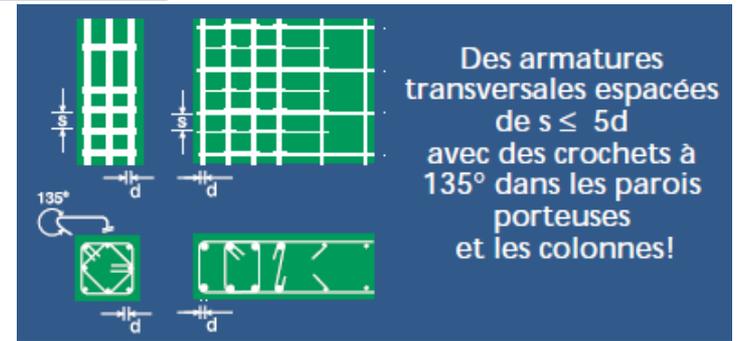
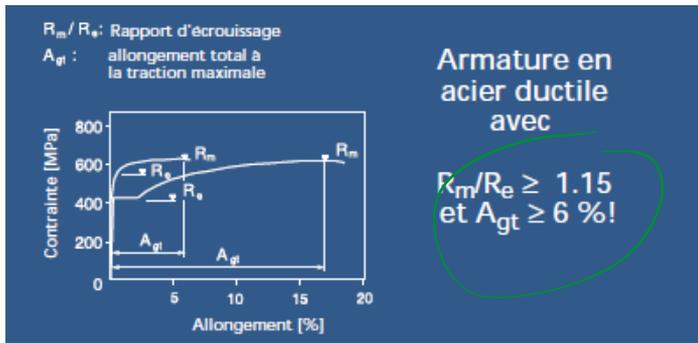
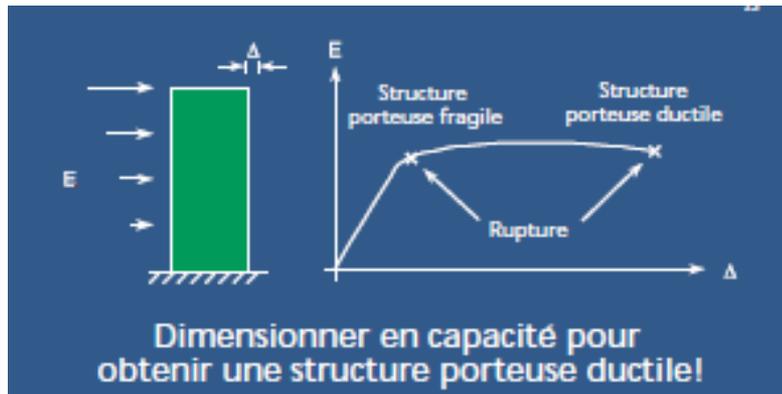
Grandeur déterminante:
déformation relative
entre niveaux δ/h

Harmoniser la structure porteuse et
les éléments non-porteurs!

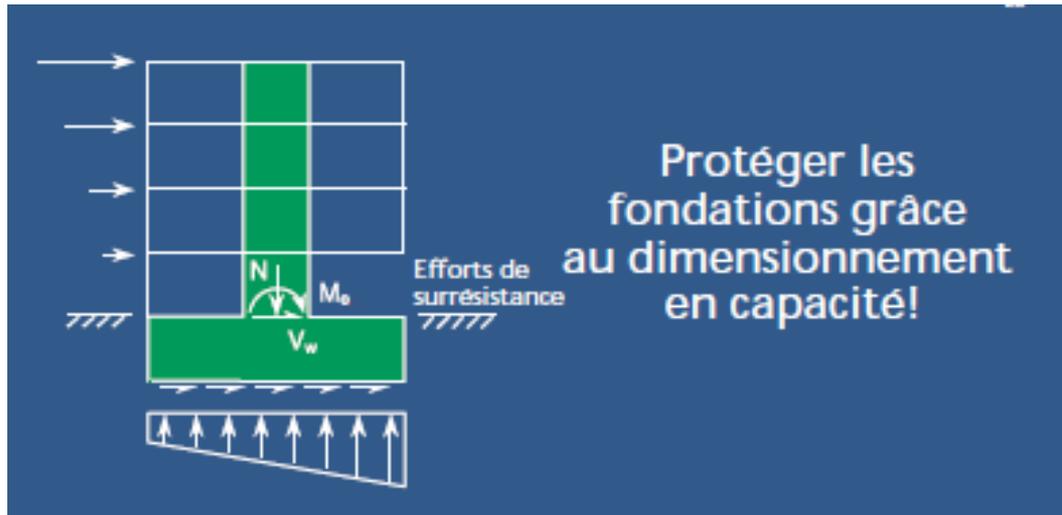
The diagram shows a white-outlined rectangle on a dark blue background. A horizontal double-headed arrow at the top left is labeled with the Greek letter delta (δ), representing lateral displacement. A vertical double-headed arrow on the right side is labeled with the letter 'h', representing the height of the element.











Protège-t-on tous les ouvrages de la même façon ?

**La protection sismique est différente selon
la nature des ouvrages**

Classification des ouvrages à risque normal

CATEGORIE D'IMPORTANCE I

Bâtiments dont la défaillance présente un risque minime pour les personnes ou l'activité économique.
Activité de longue durée exclue



CATEGORIE D'IMPORTANCE II

Bâtiments dont la défaillance présente un risque moyen pour les personnes :

- habitations individuelles
- habitations collectives, bureaux jusqu' à une hauteur de 28 m
- établissements recevant du public de 4° et 5° catégories
- parcs publics de stationnement
- autres bâtiments accueillant moins de 300 personnes



CATEGORIE D'IMPORTANCE III

Bâtiments à risque élevé pour les personnes ou les activités :

- bâtiments d'habitation collectifs, bureaux, hauteur > 28 m
- établissements recevant du public de 1^{ère} à 3^{ème} catégories
- autres bâtiments accueillant plus de 300 personnes
- établissements sanitaires et sociaux sauf exception
- bâtiments de production collective d'énergie
- tous les établissements d'enseignement



CATEGORIE D'IMPORTANCE IV

Bâtiments dont le fonctionnement est primordial pour la sécurité civile, pour la défense ou l'ordre public :

- bâtiments abritant les moyens de secours
- bâtiments définis par le ministère de la défense
- bâtiments assurant les communications
- établissements recevant du public de santé spécialisés en affections graves
- production et stockage d'eau potable
- distribution publique de l'énergie
- centres de météorologie

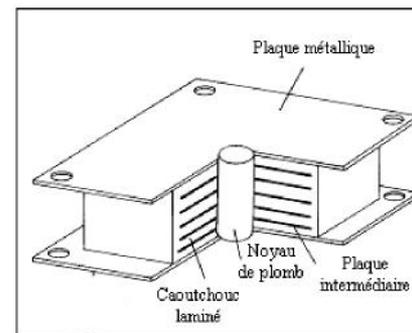
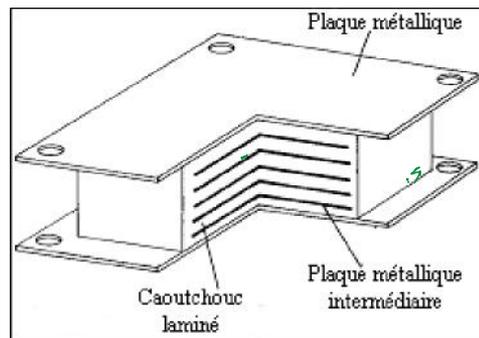


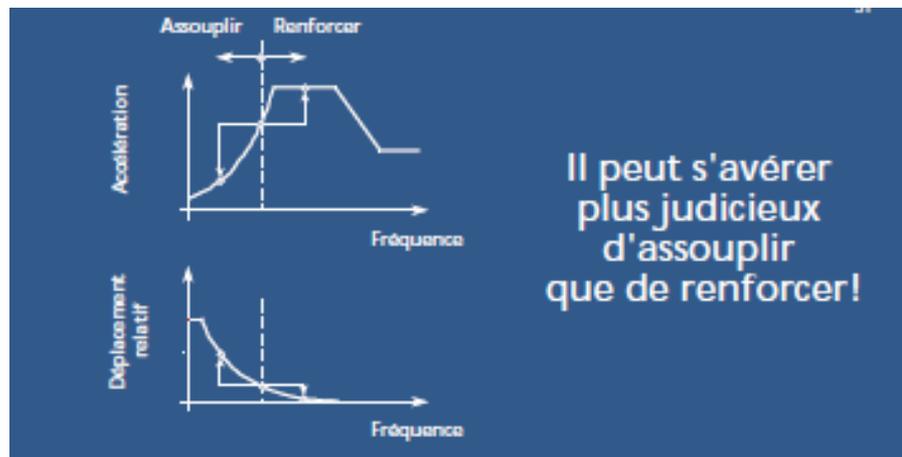
Le contrôle des vibrations d'origine sismique par système d'amortissement

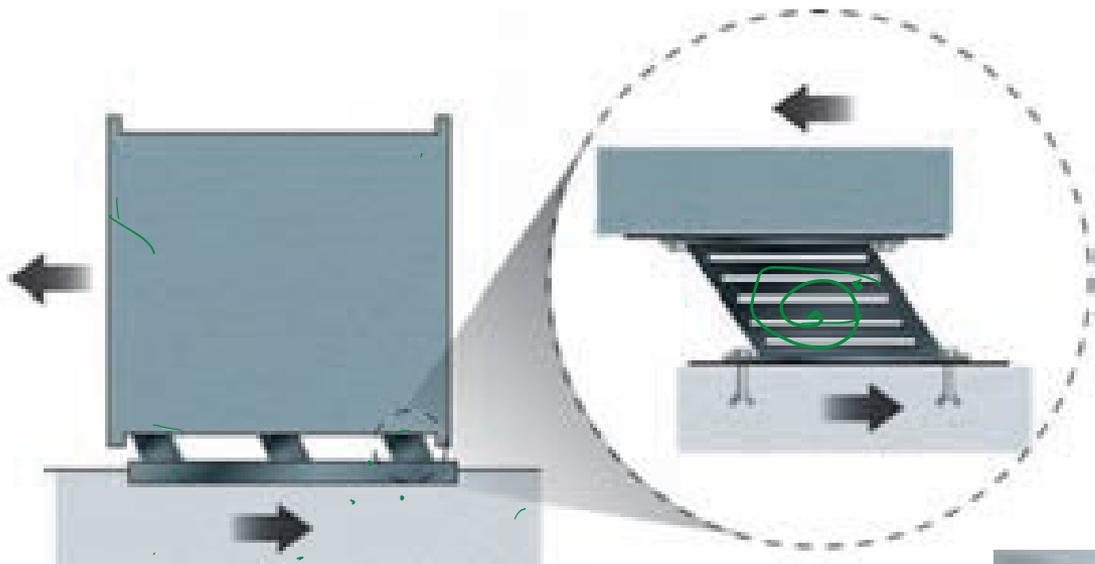
Les systèmes passifs

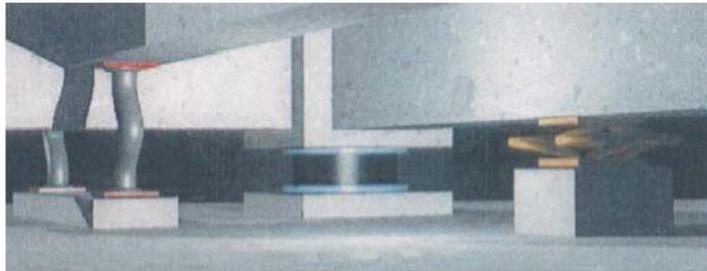
Les systèmes passifs isolent la base d'un bâtiment ou dissipent l'énergie issue du sol grâce à leurs propriétés dynamiques intrinsèques, comme un amortisseur de voiture par exemple.

Ils permettent de réduire considérablement la réponse du bâtiment aux sollicitations extérieures. Ils peuvent dissiper l'énergie de façon directe par friction par exemple ou de façon indirecte en contrebalançant les vibrations



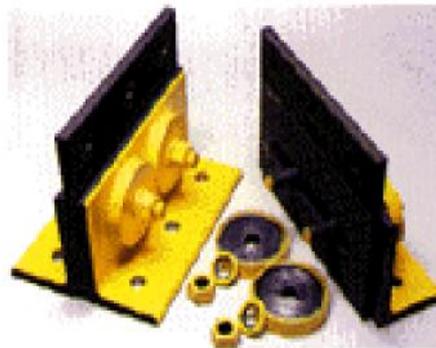
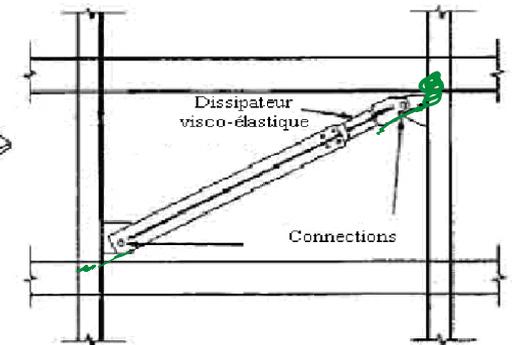
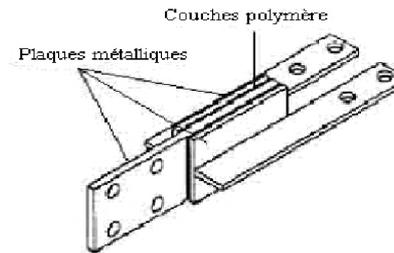






Systemes à dissipation directe

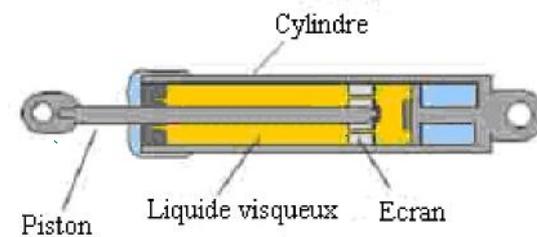
Les dissipateurs directs ont pour objectif d'absorber une partie de l'énergie ou de la dévier et ils sont en général situés entre la superstructure et les éléments de renfort (comme les bras par exemple).



Système d'amortisseurs visqueux



L'amortisseur visqueux qui équipe le Prudential Tower à Tokyo, (source Mori)

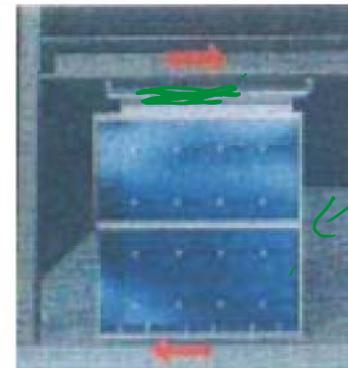


Systeme d'amortisseurs visqueux

L'amortissement peut aussi être produit par des murs composés de matériaux visqueux qui présentent une résistance aux mouvements horizontaux.

Le TV Shisuoka Media City Building a été de cette façon équipé de 170 murs amortisseurs sur l'ensemble de ses 14 étages.

Les tours B et C des résidences de Roppongi Hills sont protégées par le même système.



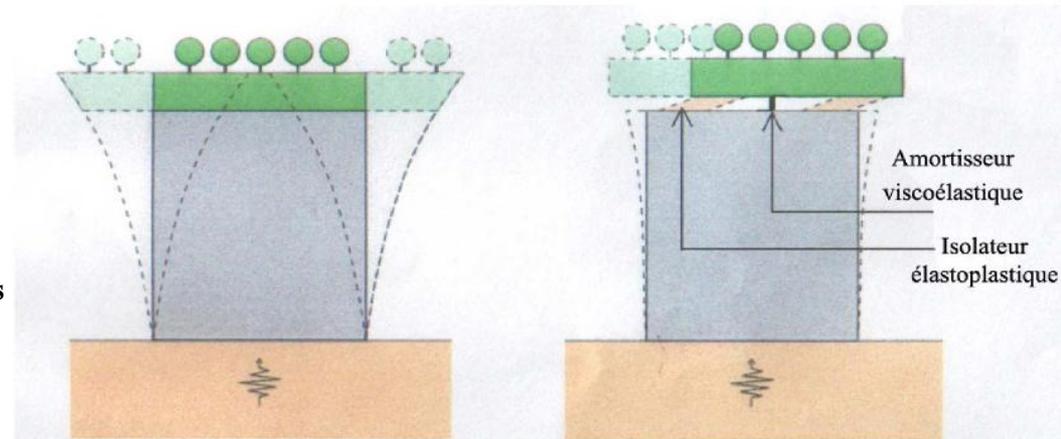
Un amortisseur à masse (TMD, Tuned Mass Damper) consiste en une masse située à l'un des étages les plus élevés du bâtiment qu'il équipe et liée à celui-ci via un ressort et un mécanisme d'amortissement (visqueux ou viscoélastique).

L'inertie créée par le mouvement de cette masse va se transmettre au bâtiment et réduire les vibrations induites par le séisme.

Le mouvement de la masse s'effectue dans le sens opposé à celui de l'immeuble et avec la même fréquence.

L'efficacité du système dépend de la valeur de la masse ajoutée (entre $1/300$ et $1/100$ de la masse du bâtiment, la réduction des oscillations est de $1/3$), de la possibilité de déplacement du solide, du type de ressort employé et de la configuration du mécanisme amortisseur qui soutient la masse.

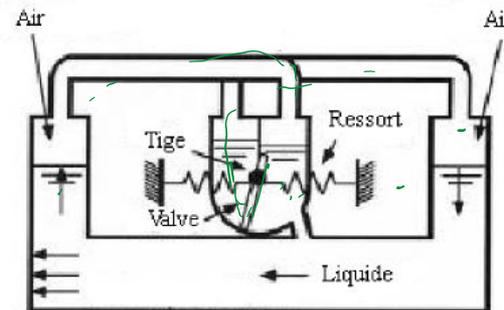
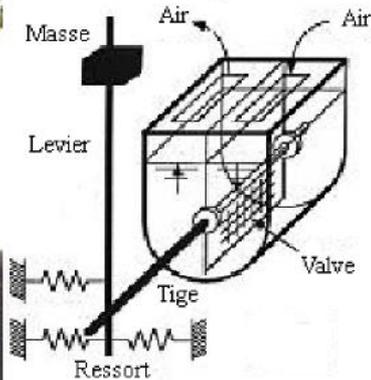
L'emploi d'un hélicoptère ou d'un jardin comme masse secondaire permet de pallier le problème d'ajout de masse et de rendre le système plus attractif commercialement. **Mori Building a réalisé un jardin de 3650 t situé sur le toit pour protéger le Keyakizaka de Roppongi Hills.**



Les amortisseurs inertiels à masse

Les amortisseurs liquides (Tuned Liquid Damper)

Le mouvement d'un liquide atténue les oscillations du bâtiment. Comme le mouvement pendulaire créé par le mouvement d'un solide, les déformations sont atténuées par un mouvement opposé de même période. **Le système peut réduire la réponse de la structure de 1/2 à 1/3 suivant la masse de liquide employée.**

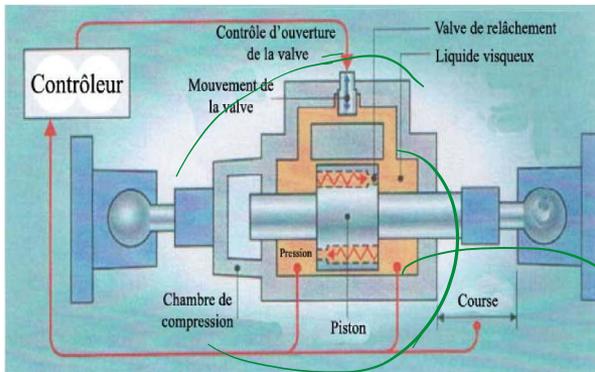


En haut de l'hôtel Sofitel de Tokyo ont été installés des TLD à période ajustable. Le fonctionnement de l'amortisseur se base sur l'oscillation d'une valve actionnée par les mouvements du liquide, lui-même contraint aux vibrations de son environnement. Les oscillations se transmettent à un pendule à période variable.

Les systèmes semi-actifs

La tour Mori, point culminant du complexe de Roppongi Hills, est équipée de 356 amortisseurs semi-actifs visqueux.

Les mouvements des renforts diagonaux sont amortis par le liquide, contrôlé par courant électrique.



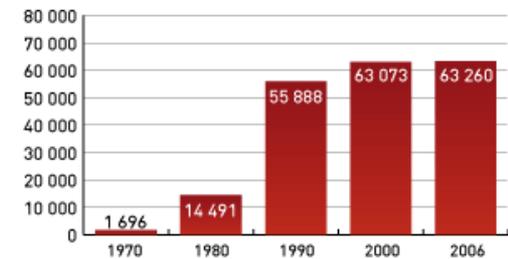
Cas de la protection contre les effets du séisme pour les centrales nucléaires

La position des centrales nucléaires en France

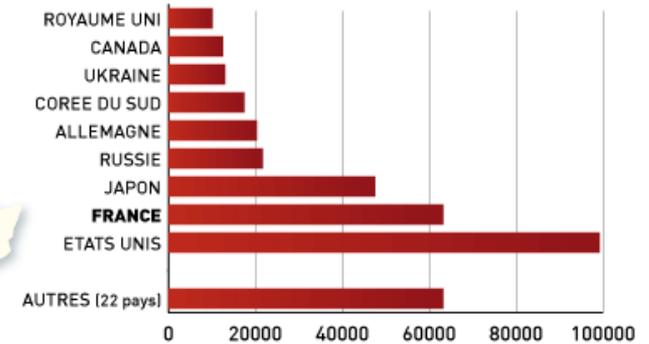
► Les centrales nucléaires en France



► Evolution de la puissance nette des réacteurs en France en mégawatts électriques (MWe)

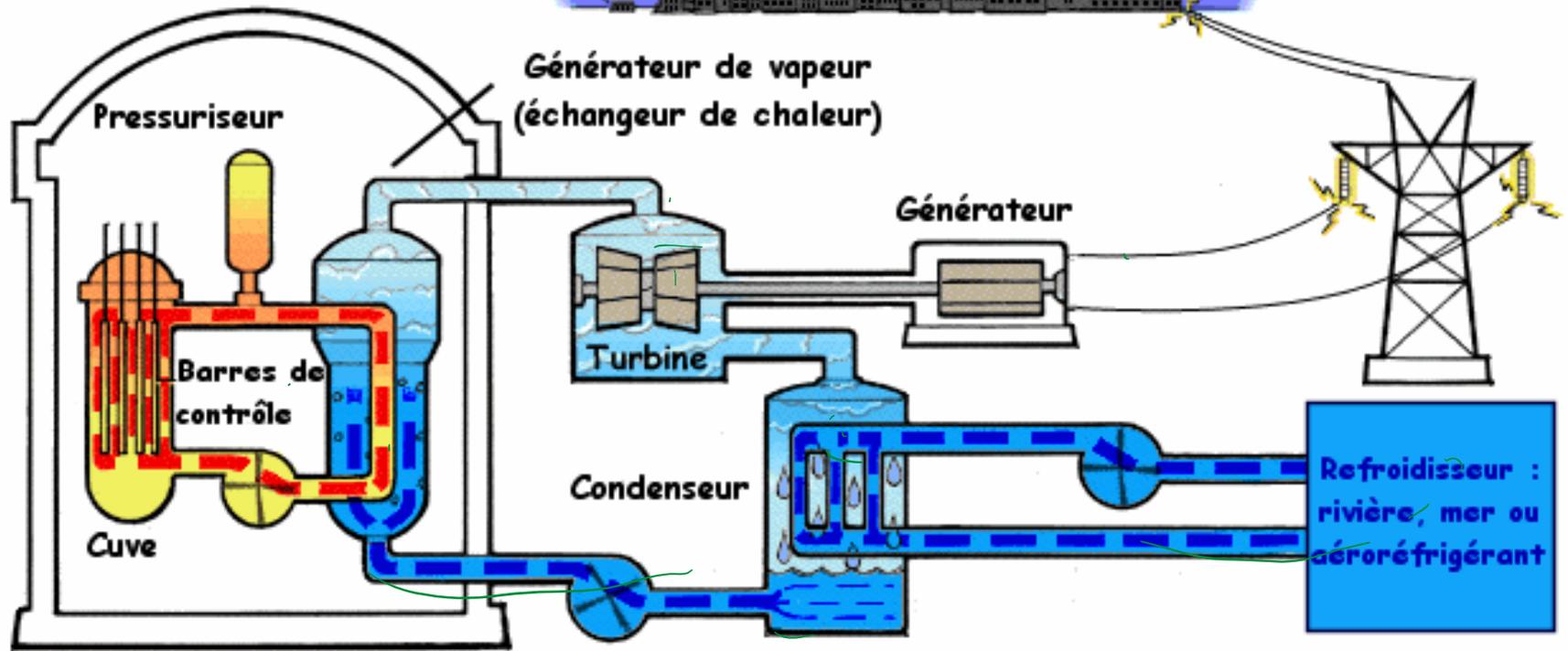


► Puissance totale des réacteurs dans le monde en mégawatts électriques (MWe) au 31 décembre 2006



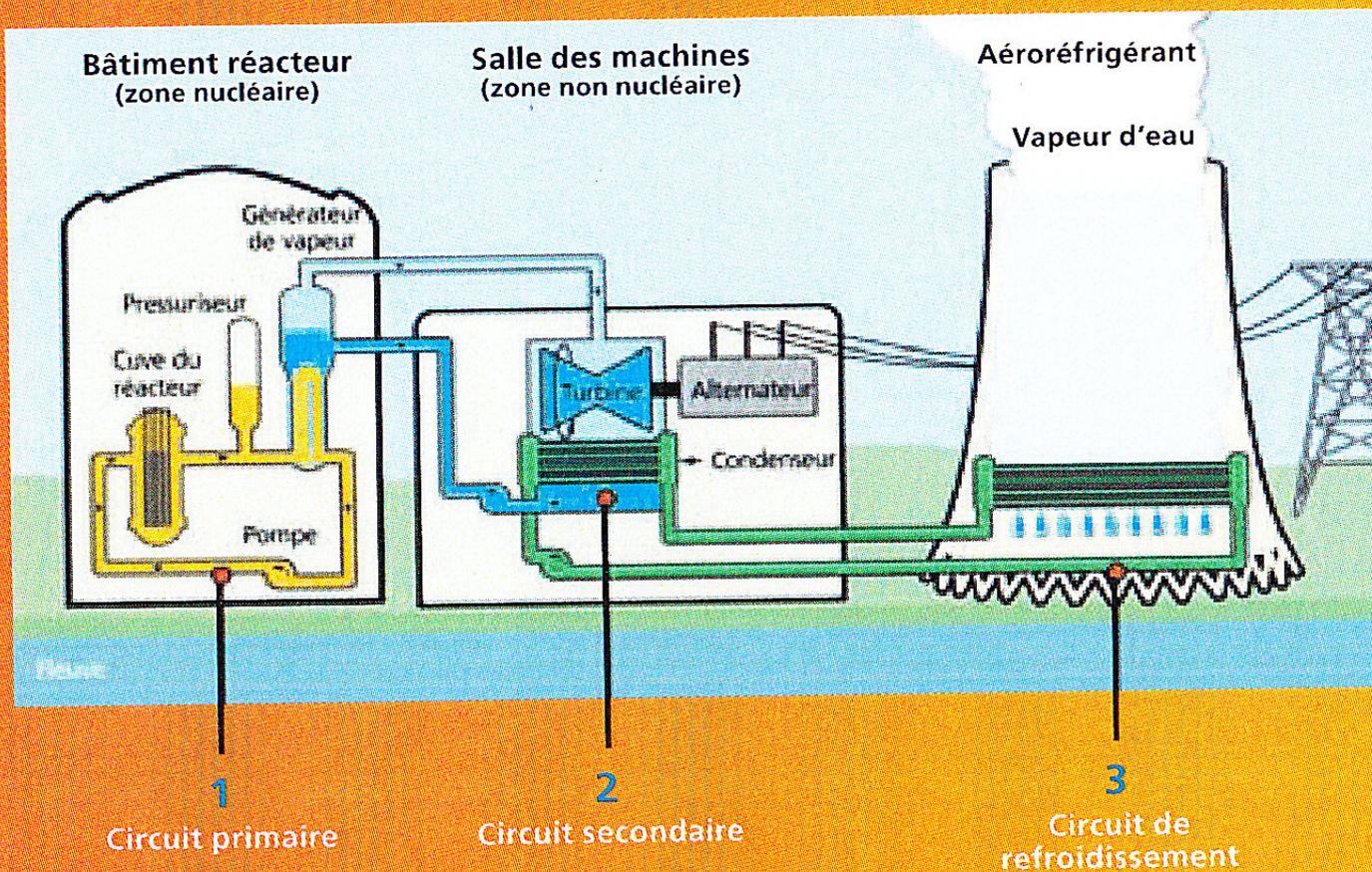
Principe de conception des centrales nucléaires Française EPR

**Réacteur nucléaire
(enceinte de sécurité)**

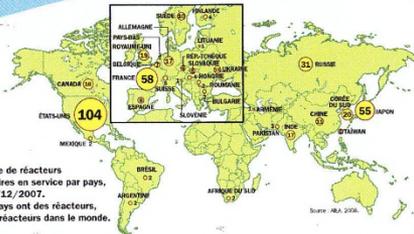


Principe de fonctionnement d'une centrale nucléaire française EPR

FUNCTIONNEMENT D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE AVEC AÉRORÉFRIGÉRANT



De l'énergie sans CO₂



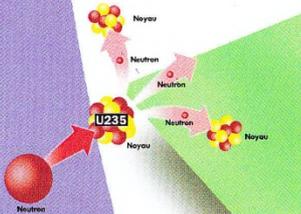
Nombre de réacteurs nucléaires en service par pays, au 31/12/2007.

• 31 pays ont des réacteurs, • 439 réacteurs dans le monde.

Pour répondre à des besoins en énergie toujours plus grands, il est nécessaire de mobiliser toutes les sources d'énergie. Parmi elles, le nucléaire est incontournable car cette énergie compétitive n'émet quasiment pas de CO₂, un des principaux gaz à effet de serre responsables du changement climatique.

Qu'est-ce que l'énergie nucléaire ?

Lorsqu'il est frappé par un neutron, le noyau de certains atomes (comme l'uranium 235), se brise en deux noyaux plus petits. Cette réaction, appelée « fission nucléaire », libère une grande quantité d'énergie sous forme de chaleur : l'énergie nucléaire.



Sûreté des réacteurs

Trois barrières de sûreté assurent en permanence le confinement (isolement sécurisé) de la radioactivité :

- 1 Les tubes métalliques (gaines) des crayons dans lesquels sont insérées les pastilles d'uranium.
- 2 Des tuyauteries et de gros équipements en acier très épais constituant le circuit primaire du réacteur.
- 3 Une double enceinte de confinement en béton armé autour du bâtiment renfermant le réacteur.

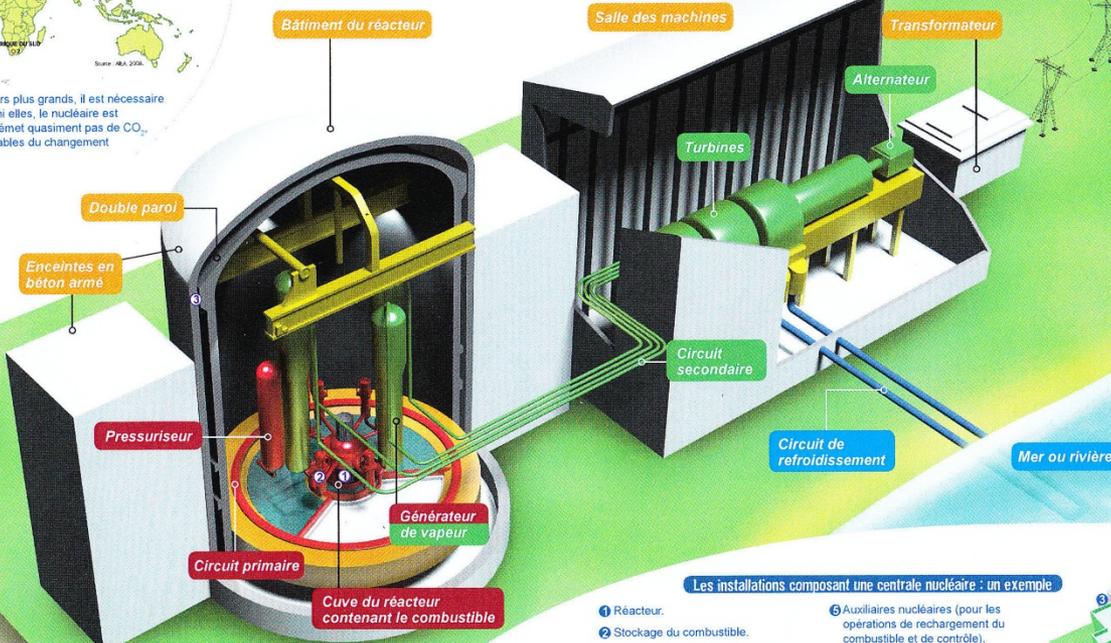
Une centrale nucléaire à eau pressurisée fonctionne avec 3 circuits (**primaire, secondaire, de refroidissement**). Le réacteur est l'élément-clé de la centrale.

Au cœur d'un réacteur à eau pressurisée

La majorité des réacteurs nucléaires aujourd'hui en fonctionnement dans le monde sont des réacteurs à eau. Certains sont à eau pressurisée (comme ci-dessous), d'autres à eau bouillants. Le réacteur nucléaire est le « théâtre » des réactions de fission des noyaux d'uranium 235, constituant le combustible. La chaleur dégagée chauffe l'eau dans le circuit **primaire** du réacteur (maintenue à l'état liquide grâce à une très haute pression), qui transmet la chaleur au circuit **secondaire** du générateur de vapeur (séparé du premier). Ce dernier transforme l'eau en vapeur.

La production d'électricité

La vapeur produite entraîne une turbine. Celle-ci est couplée à un alternateur qui transforme le mouvement en électricité. Le circuit de refroidissement, dans lequel circule de l'eau fraîche, permet de refroidir la vapeur qui revient à l'état liquide et repart vers le générateur de vapeur.



REPÈRES HISTORIQUES

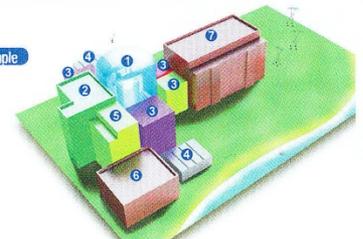
- 1896 : Henri Becquerel découvre la radioactivité.
- 1903 : Pierre et Marie Curie découvrent la radioactivité de l'uranium et du thorium.
- 1911 : Ernest Rutherford découvre le noyau de l'atome.
- 1938 : Otto Hahn et Fritz Strassman découvrent la fission nucléaire.
- 1956 : mise en service à Marcoule (Gard) du premier réacteur français à uranium naturel graphite gaz.
- 1977 : mise en service à Fessenheim (Alsace) du premier réacteur français à uranium enrichi et eau pressurisée.

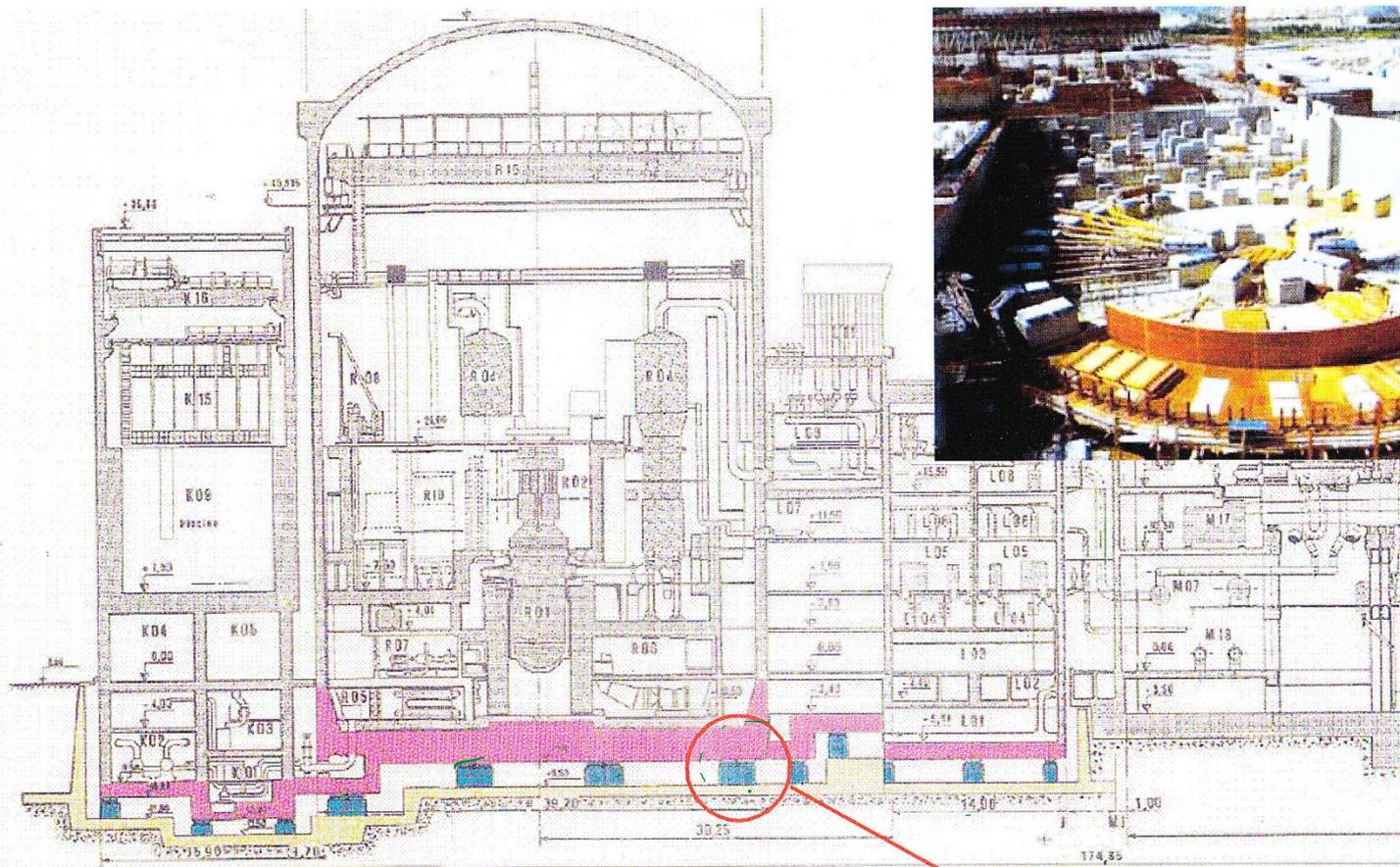
DICO

- Atome** : un atome est composé d'un noyau autour duquel gravitent des électrons.
- Fission** : processus au cours duquel le noyau d'un atome se casse en libérant de l'énergie.
- Noyau** : au cœur de l'atome, il est constitué de deux sortes de particules, les protons et les neutrons.
- Radioactivité** : phénomène, qui existe dans la nature, au cours duquel un noyau d'atome instable se transforme en un autre noyau, en émettant de la chaleur et des rayonnements.

Les installations composant une centrale nucléaire : un exemple

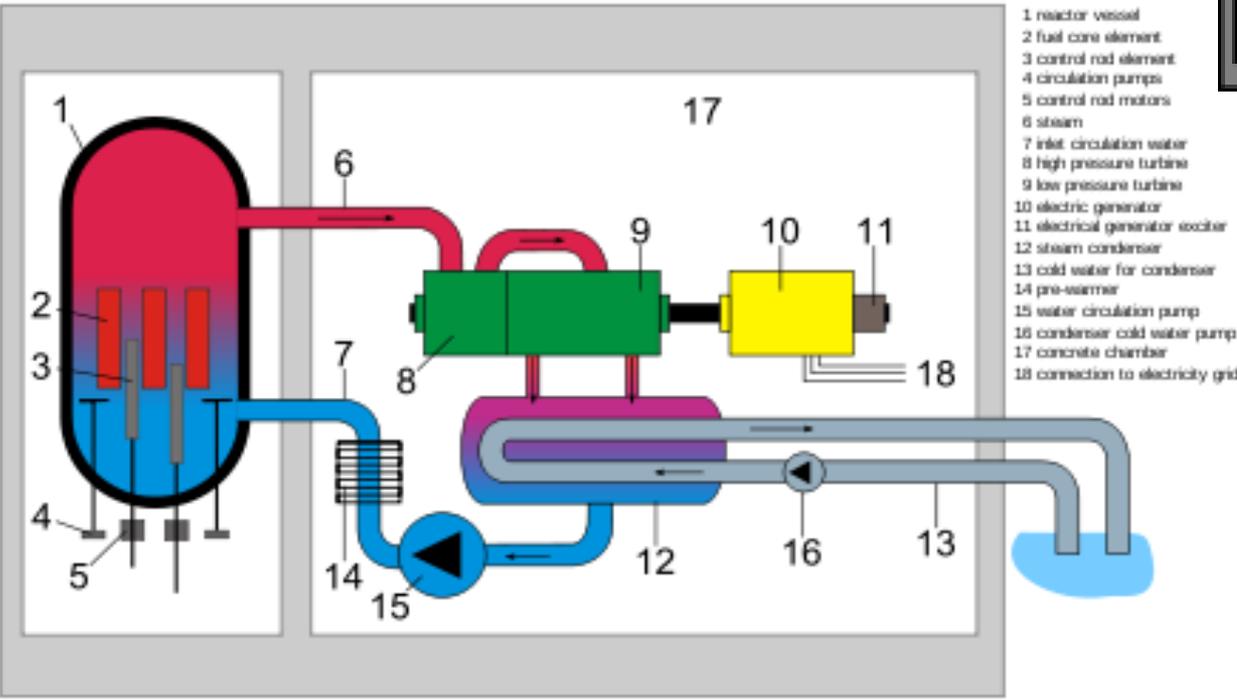
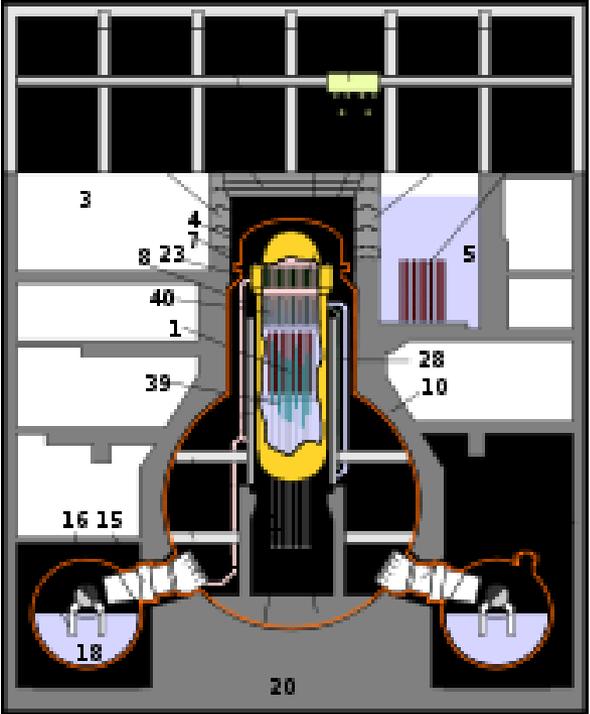
- 1 Réacteur.
- 2 Stockage du combustible.
- 3 Salle des commandes et installations de sauvegarde (chacune peut assurer seule 100 % de la fonction sûreté).
- 4 Moteurs diesel (fourniture d'électricité en cas de coupure de l'alimentation électrique externe de la centrale).
- 5 Auxiliaires nucléaires (pour les opérations de rechargement du combustible et de contrôle).
- 6 Traitement des déchets.
- 7 Salle des machines.





Conçue dans les années 70, la centrale est construite sur appuis antisismique

Cas réacteur de fukushima



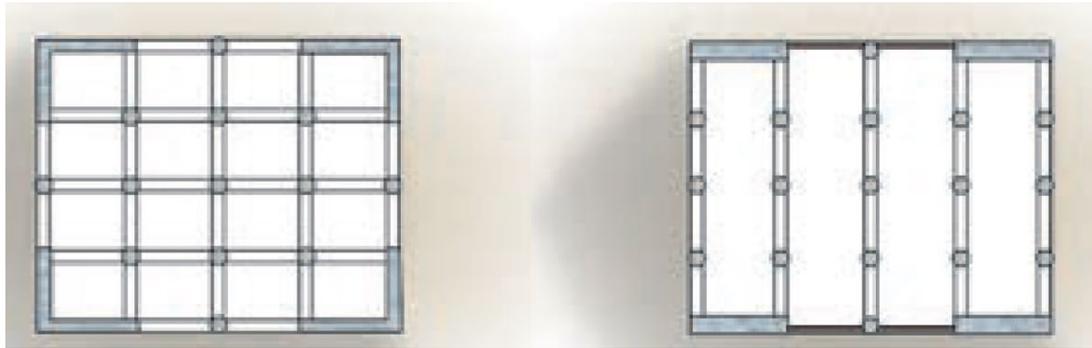
- 1 reactor vessel
- 2 fuel core element
- 3 control rod element
- 4 circulation pumps
- 5 control rod motors
- 6 steam
- 7 inlet circulation water
- 8 high pressure turbine
- 9 low pressure turbine
- 10 electric generator
- 11 electrical generator exciter
- 12 steam condenser
- 13 cold water for condenser
- 14 pre-warmer
- 15 water circulation pump
- 16 condenser cold water pump
- 17 concrete chamber
- 18 connection to electricity grid

Dispositifs constructifs

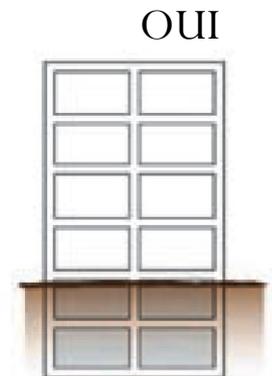
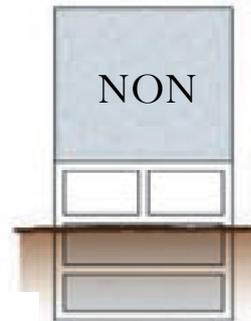
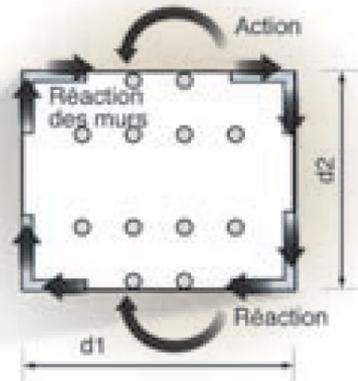
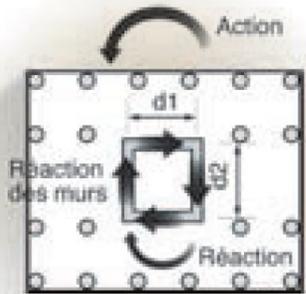
- Dépendant du type de structure (B.A, Métallique, maçonnerie, bois, ...)

Conception de la structure

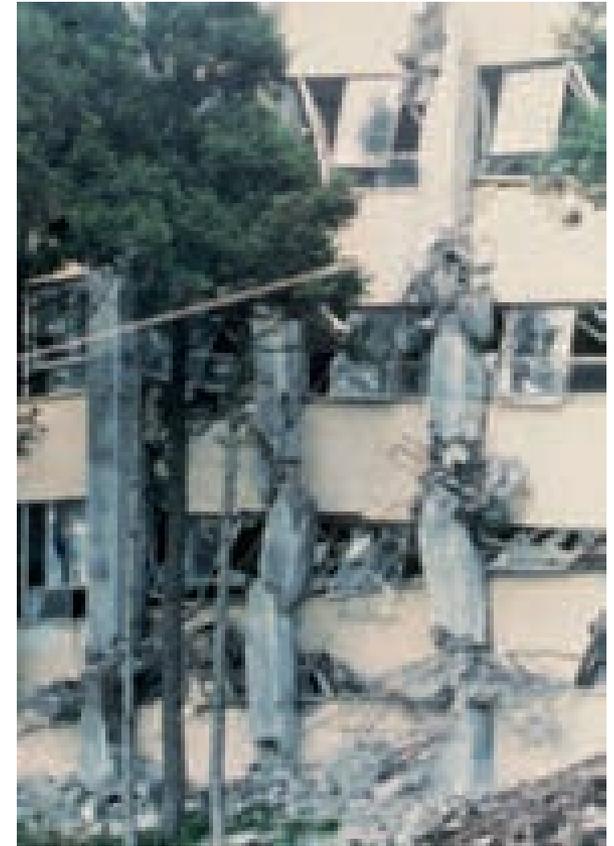
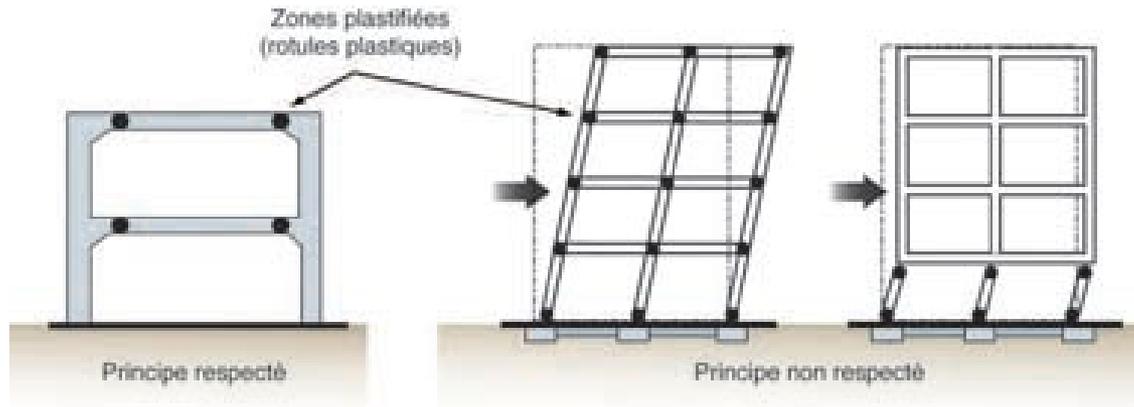
Plus efficace



Plus efficace



Principe "poteau fort-poutre faible"

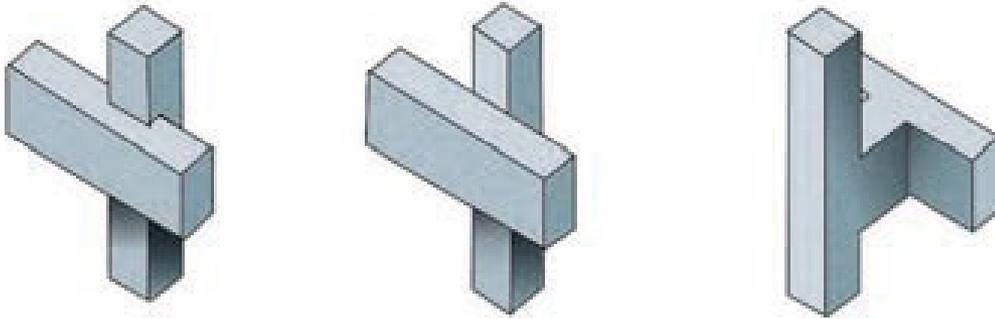


Poteau et poutre
en différents plans

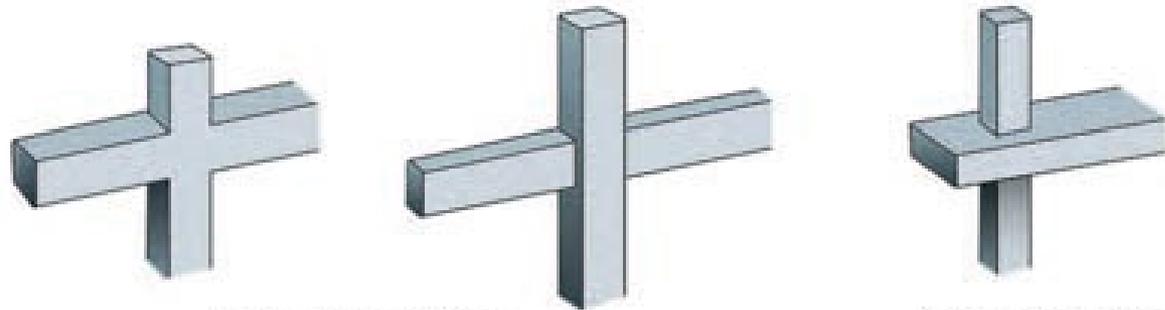


Effondrements de bâtiment dû au non-respect du principe « poteaux forts - poutres faibles ». La résistance ultime des poutres-allèges en béton armé était supérieure à celle des poteaux. En outre, on peut observer l'effet de poteau court (séisme de Tokachi-Oki, Japon 1968 et d'Izmir, Turquie 1999)

Conception de la structure



Configurations de noeuds à bannir



Configurations correctes

Configuration à éviter

Largeurs respectives des poteaux et des poutres d'une ossature en portiques

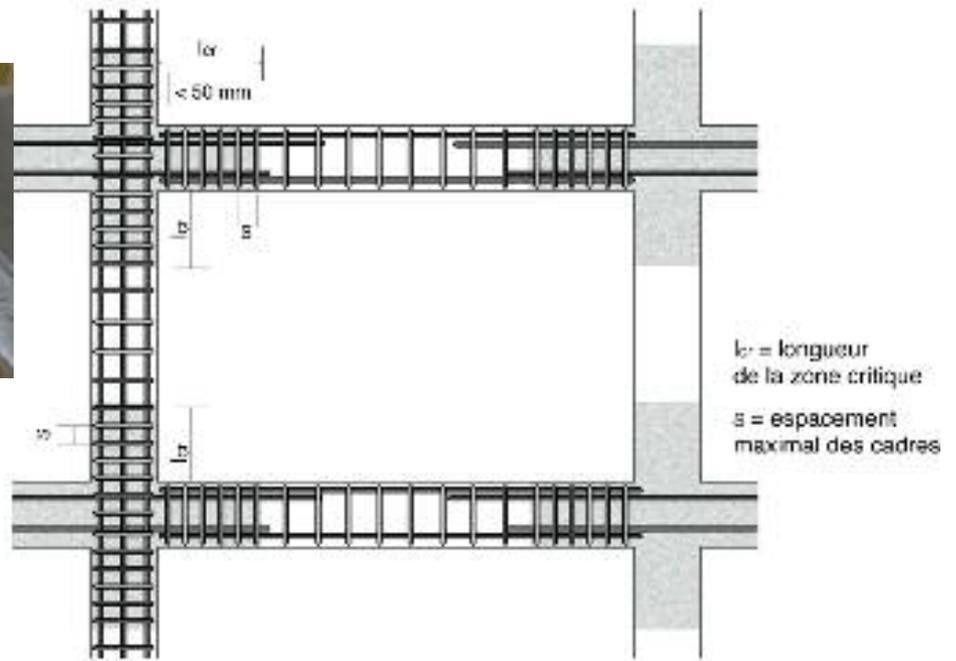
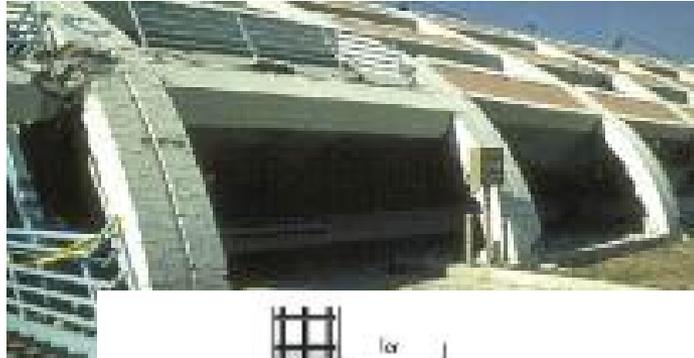


**A éviter : portiques
à poteaux discontinus**



limiter les différences de rigidité latérale
des niveaux à 30 % maximum

Armature / ferrailage : confinement des zones critiques

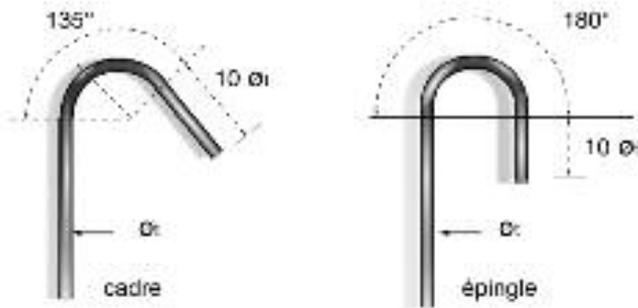


EC8 8 précise, pour les classes de ductilité DCM et DCH, des critères permettant de déterminer la longueur minimale des zones critiques, ainsi que l'espacement maximal des armatures de confinement

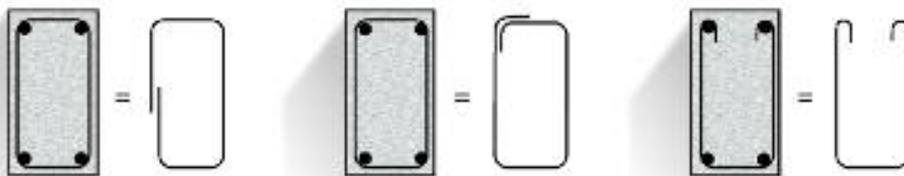
Exemple d'armatures de confinement



Crochet d'ancrage d'armatures longitudinales

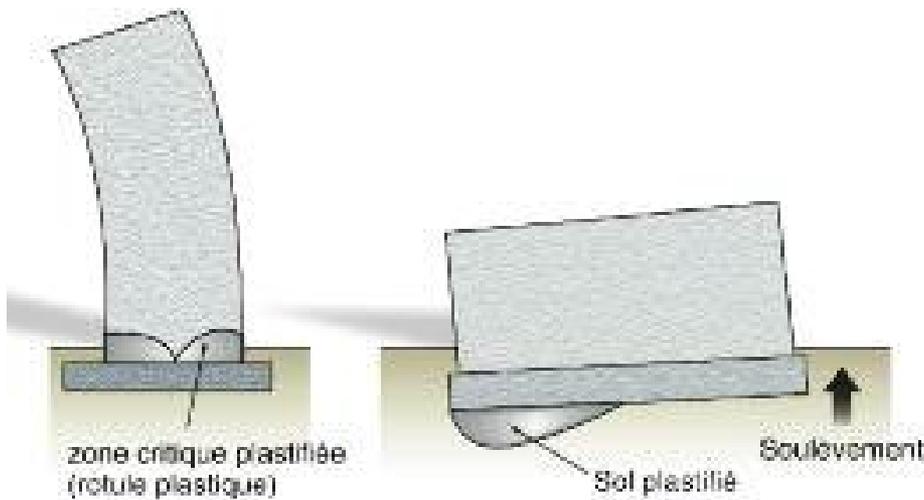


Des armatures transversales espacées de $s \leq 5d$ avec des crochets à 135° dans les parois porteuses et les colonnes!



Cadres non conformes

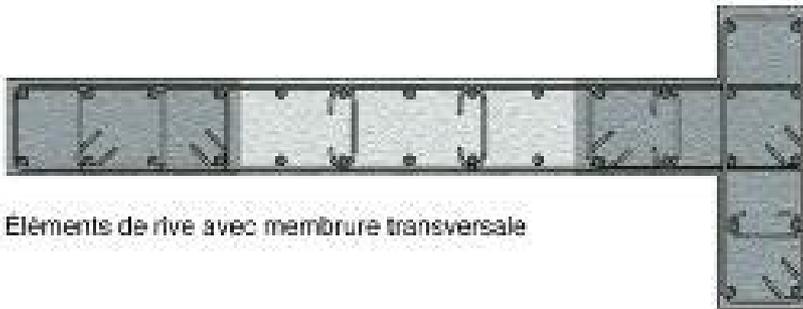
Voiles



EC8 : la hauteur de la zone critique = à la plus grande des valeurs entre la **longueur du mur** et le **sixième de sa hauteur totale**, sans dépasser la hauteur libre du niveau (de deux niveaux pour R + 6 et plus) ni la longueur du mur.



Éléments de rive dans l'épaisseur du voile



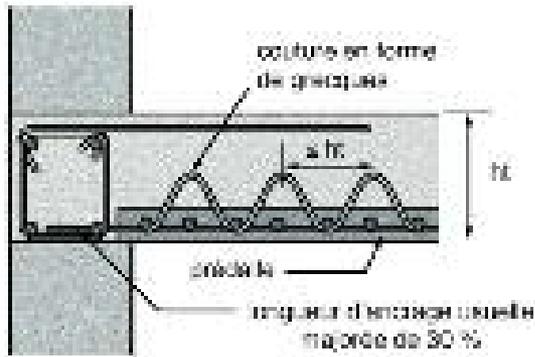
Éléments de rive avec membrure transversale

Les extrémités des voiles doivent former des éléments de rive pouvant prendre la forme de poteaux ductiles noyés ou non dans l'épaisseur du voile et présentant éventuellement un retour (membrure transversale,

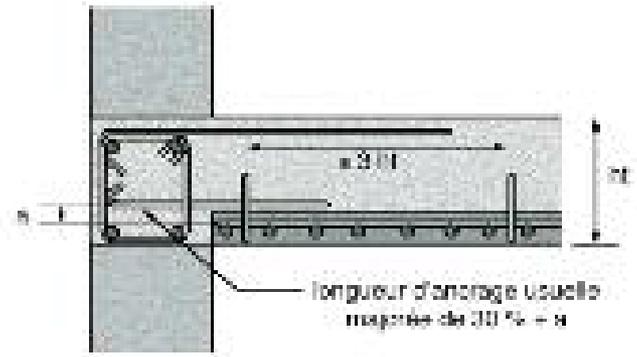
Exemple armature voile



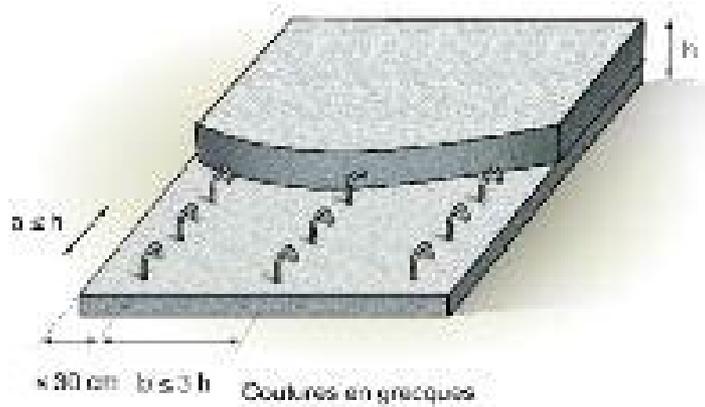
Planchers/dalles



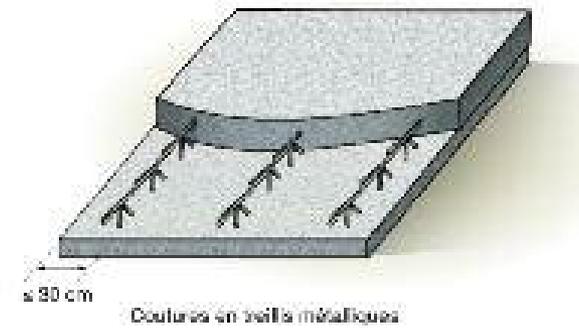
$\geq 4 \text{ cm}$
Sens de portée



Sens non porteur



$\leq 30 \text{ cm}$ $b \leq 3h$ Coulures en grecques



$\leq 30 \text{ cm}$ Coulures en treillis métalliques