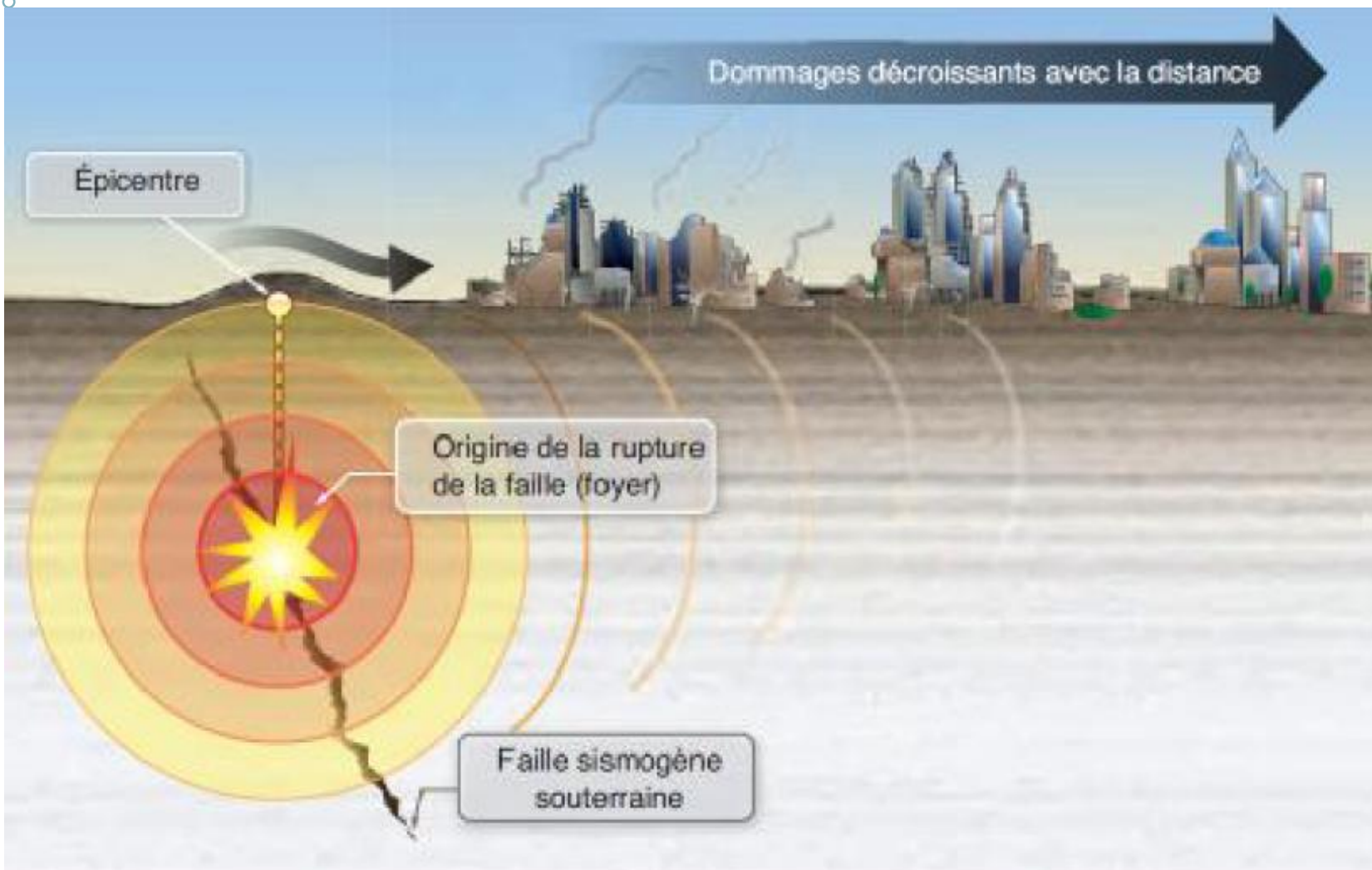
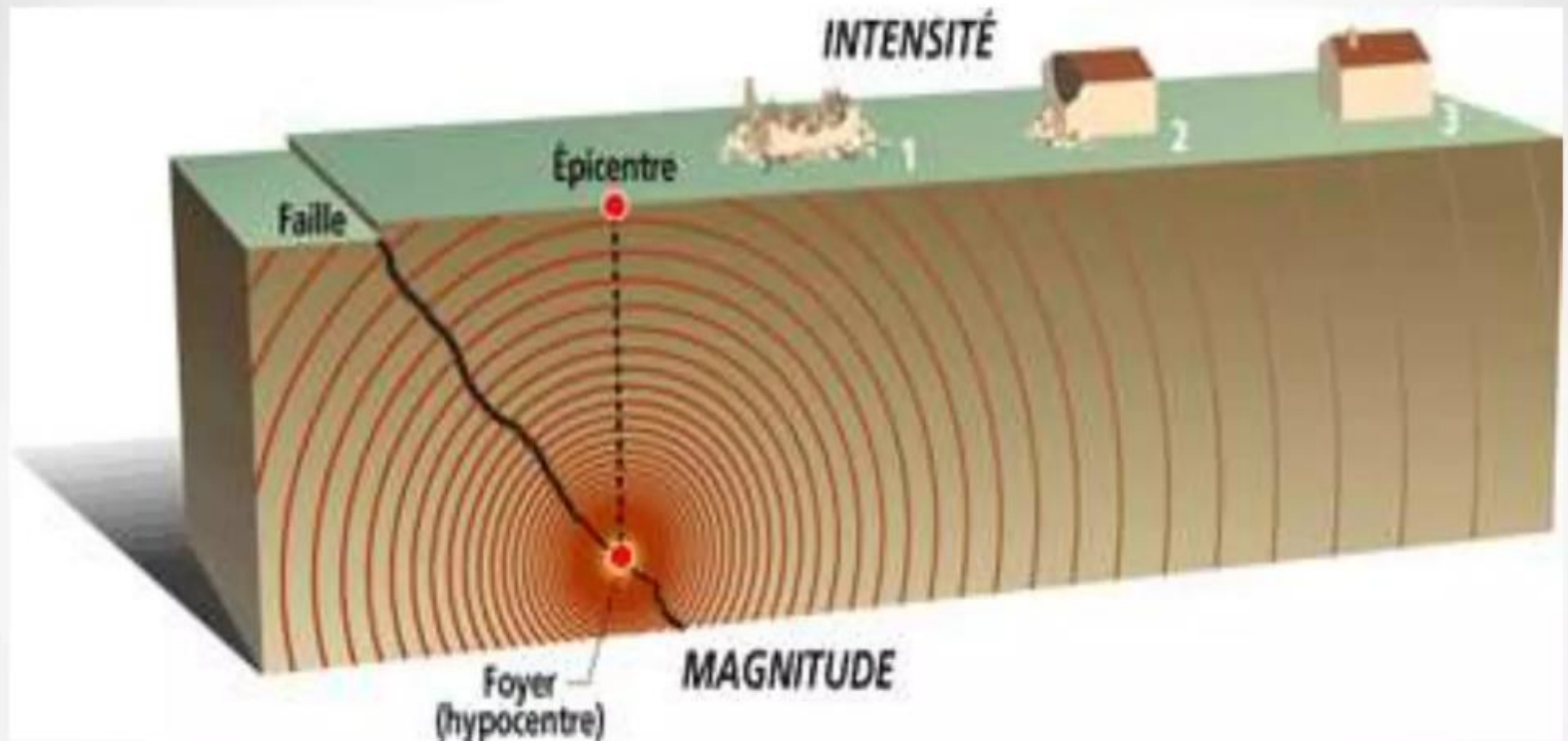


CH 01: Éléments de sismologie





séisme ou tremblement de terre, secousse ou succession de secousses plus ou moins violentes du sol. Ces dernières peuvent être imperceptibles ou très destructrices.

*La conception
parasismique*

Définition du séisme:

Un séisme est défini par :

un foyer : lieu d'origine de la rupture des roches en profondeur.

un épicentre : lieu de la surface terrestre situé exactement à la verticale du foyer, où l'intensité du séisme est la plus importante.

une magnitude : elle indique l'énergie libérée au foyer du séisme sous forme d'ondes sismiques, et ne donne pas d'information directe quant à l'action sismique appliquée à une construction à un endroit donné. L'échelle la plus utilisée est l'échelle de Richter; Théoriquement sans limite, les valeurs les plus élevées observées n'ont pas dépassé 9.

une intensité : elle correspond à l'évaluation des dégâts observés sur le terrain en un site donné. L'échelle la plus utilisée est l'échelle M.S.K., graduée de I à XII; par exemple la graduation VII correspond a des maisons légèrement endommagées, lézardes dans les murs ; chute de cheminées isolées en mauvais état ; écroulement de minarets, de mosquées ou d'églises mal construites.

*Valeurs
parasismique*

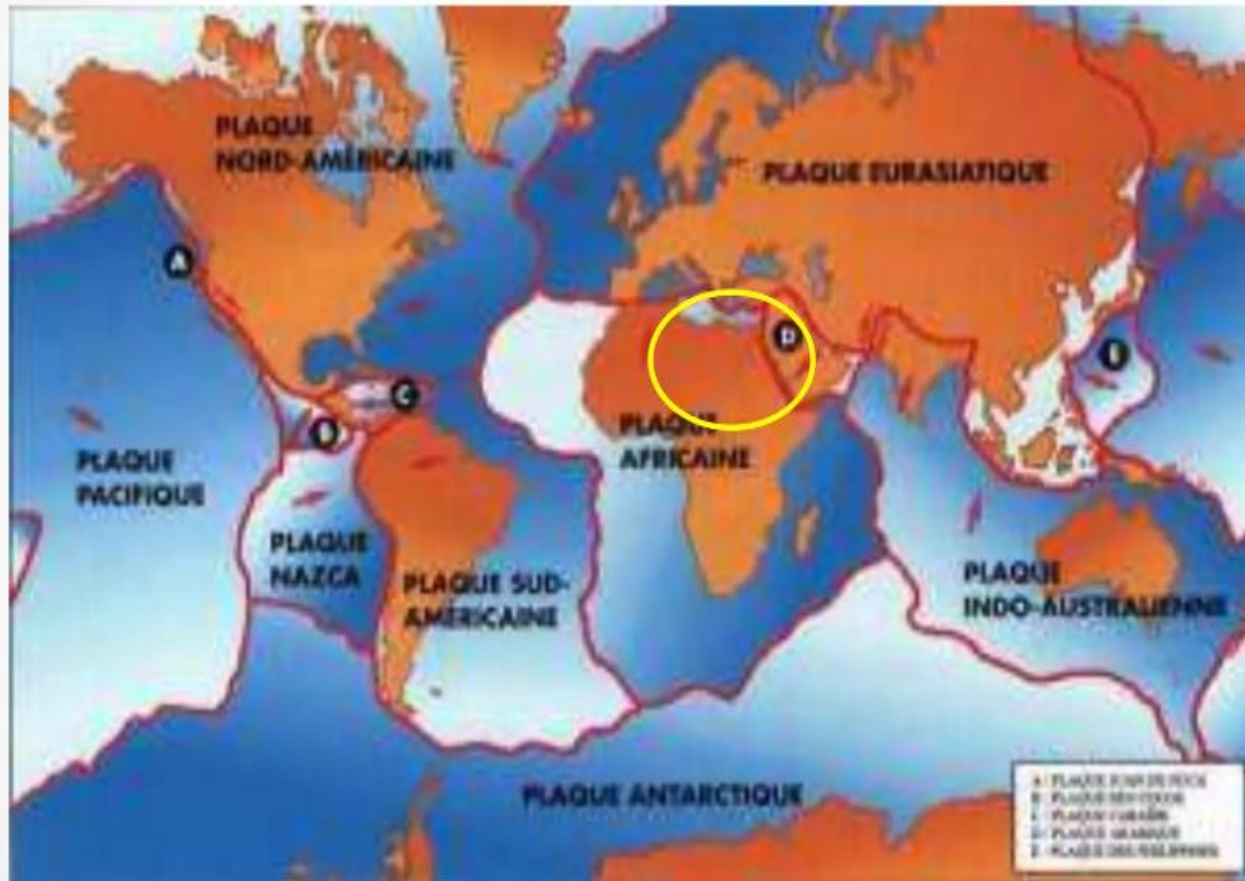
Origines des séismes:

La principale cause des tremblements de terre est liée à la **tectonique des plaques**, autrement dit aux contraintes engendrées par les mouvements d'une douzaine de plaques majeures et mineures qui constituent la croûte terrestre: certaines de ces dernières s'écartent, d'autres convergent, et d'autres coulissent.

La plupart des séismes tectoniques se produisent aux limites des plaques, dans les zones où une plaque glisse le long d'une autre — comme dans le cas de la faille de San Andreas en Californie.

*La conception
parasismique*

Sur le schéma ci-dessous, il est clair que le nord algérien se trouve dans une zone critique qui est l'intersection des deux plaques, à savoir la plaque africaine et la plaque eurasiatique, ce qui explique les nombreux séismes dans le pays, ex séisme de Boumerdes 2003.



*La conception
parasismique*

Autres causes de séismes

il existe d'autres types de séismes, d'origine naturelle ou artificielle :

- **séismes volcaniques, associés à la montée du magma** ou au dégazage avant et pendant les éruptions ; ces séismes sont généralement faibles et localisés au voisinage des volcans actifs ;

- **séismes artificiels résultant des explosions souterraines** (tirs de carrières et de mines, essais nucléaires) ou de l'exploitation des mines ;

- **séismes dits induits, souvent associés à un apport massif d'eau** dans les terrains (mise en eau d'un grand barrage ou injection à grande échelle dans le sol) .

Zones de sismicité

CRITERES DE CLASSIFICATION SELON LE « RPA99 »

Les critères de classifications selon le « RPA 99, version 2003 » sont :

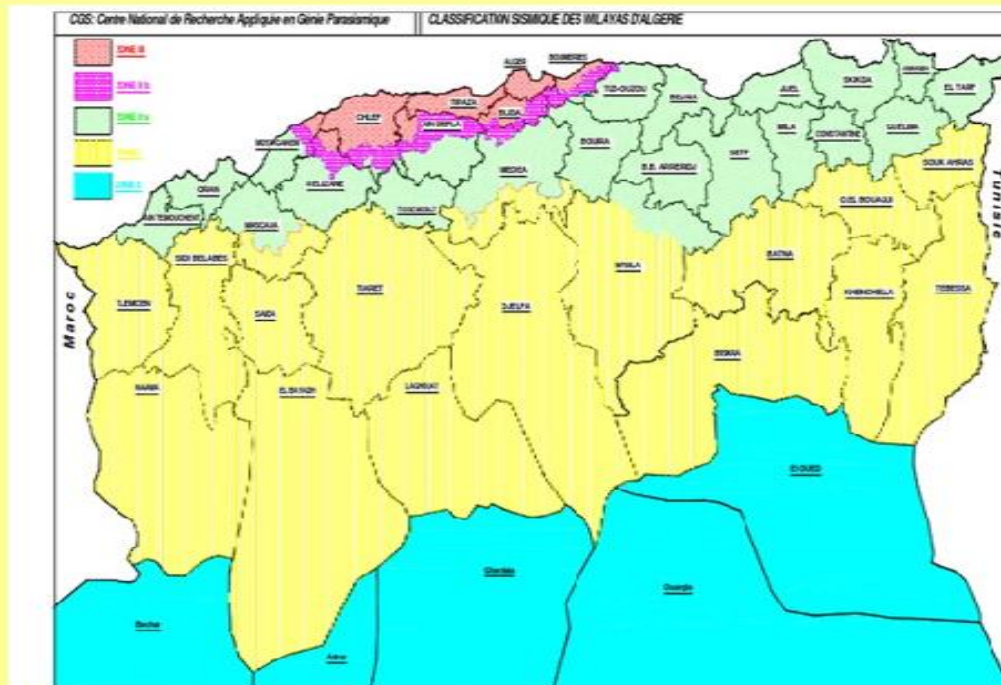
- les zones sismiques;
- l'importance des ouvrage;
- les sites;
- les systèmes de contreventement et la régularité des ouvrages.

*La conception
parasismique*

a- CLASSIFICATION SELON LES ZONES SISMIQUES :

Le territoire national est divisé en cinq (05) zones de sismicité croissante.

CARTE DE ZONAGE SISMIQUE DU TERRITOIRE NATIONAL - RPA99/ APRES ADDENDA

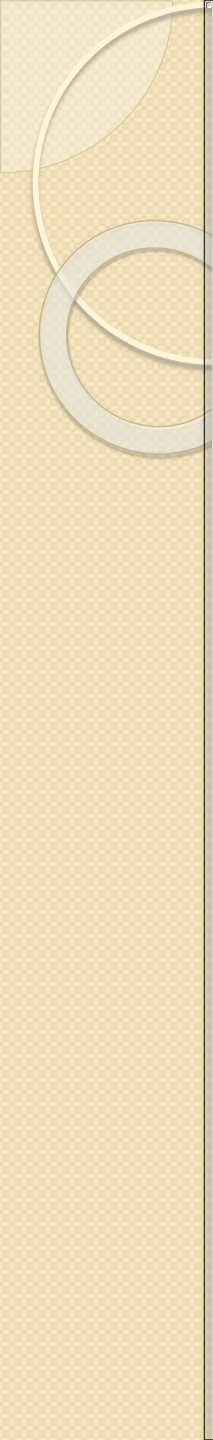


Zone 0 : sismicité négligeable

Zone I : sismicité faible

L'application des règles parasismique est obligatoire pour toutes les constructions abritant des personnes, situées dans toutes les zones sauf 0.

conception parasismique



C-CLASSIFICATION DES SITES:

Les sites sont classés en quatre (04) catégories en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent.

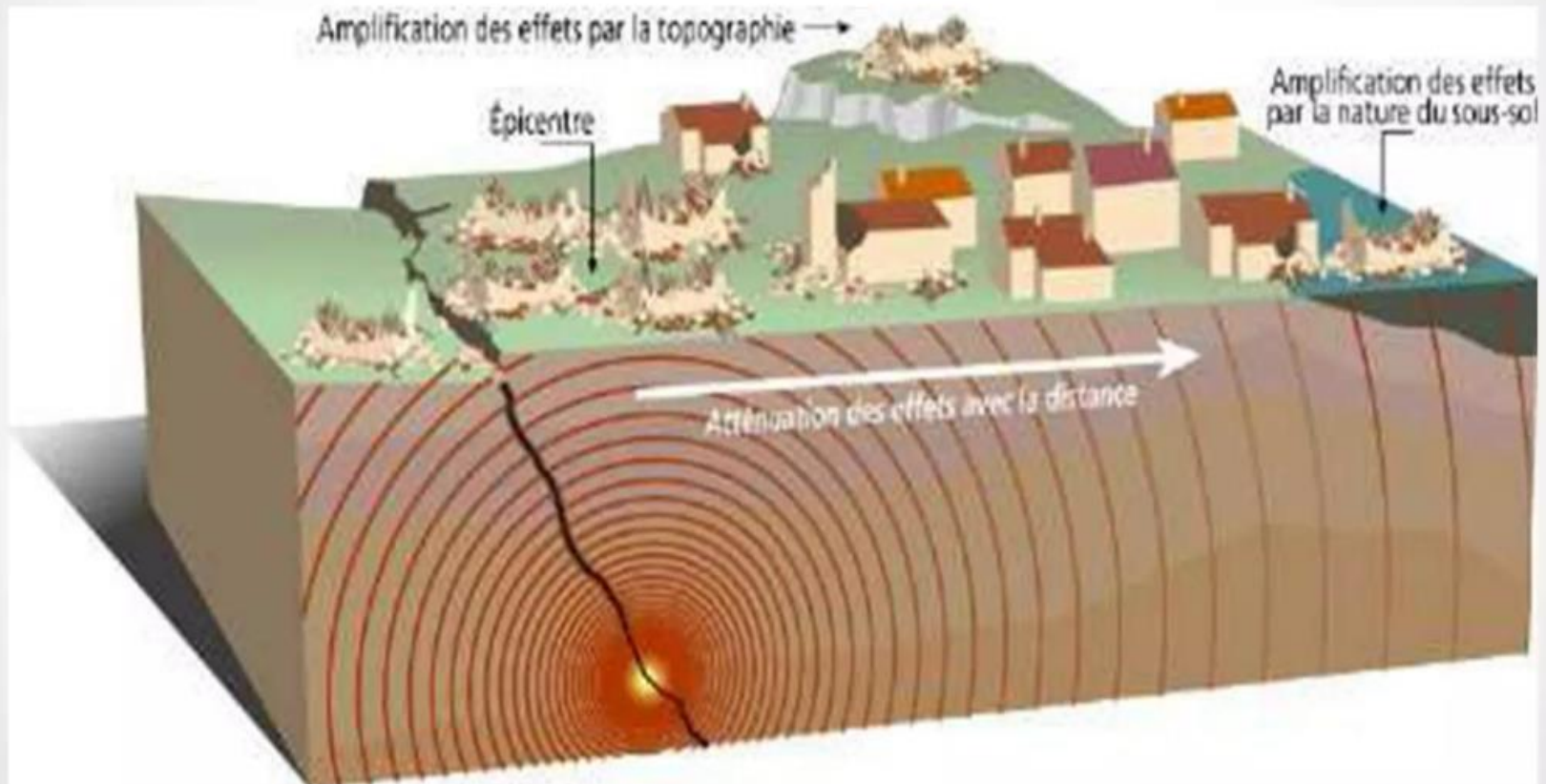
Catégorie S1 (site rocheux) : Roche

Catégorie S2 (site ferme) : Dépôts de sables et de graviers très denses et/ou d'argile sur consolidée sur 10 à 20 m d'épaisseur .

Catégorie S3 (site meuble) : Dépôts épais de sables et graviers moyennement denses ou d'argile moyennement raide.

Catégorie S4 (site très meuble) : Dépôts de sables lâches avec ou sans présence de couches d'argile molle.

EFFETS INDUITS PAR UN SEISME:



*La conception
parasismique*

Le séisme engendre des effets de deux natures :

- des effets directs
- des effets indirects

Effets directs:

Dans ce cas les séismes sont engendrés dans des plans de faille provoquant :

- Un déplacement au niveau de la faille qui peut être vertical et (ou) horizontal et qui peuvent entraîner des déplacements en surface.



Rejet vertical
Séisme d'El Asnam 1980



Rejet et décrochement
Séisme de Landers, USA 1992

conception
parasismique

- Un choc et une propagation des ondes sismiques dont l'amplitude et la durée sont influencées par la qualité du sol sous les bâtiments.



Kobé, Japon 1995



Séisme de Chi-Chi, Taïwan 1999

*La conception
parasismique*

Effets Indirects:

Sous l'effet du séisme, l'ébranlement des sols va entraîner des pertes de cohésion qui vont se traduire par :

- Des liquéfactions des sols (perte de la résistance des sols sous les constructions)



Izmit, Turquie 1999

*La conception
parasismique*

-Des affaissements ou des tassements des sols.



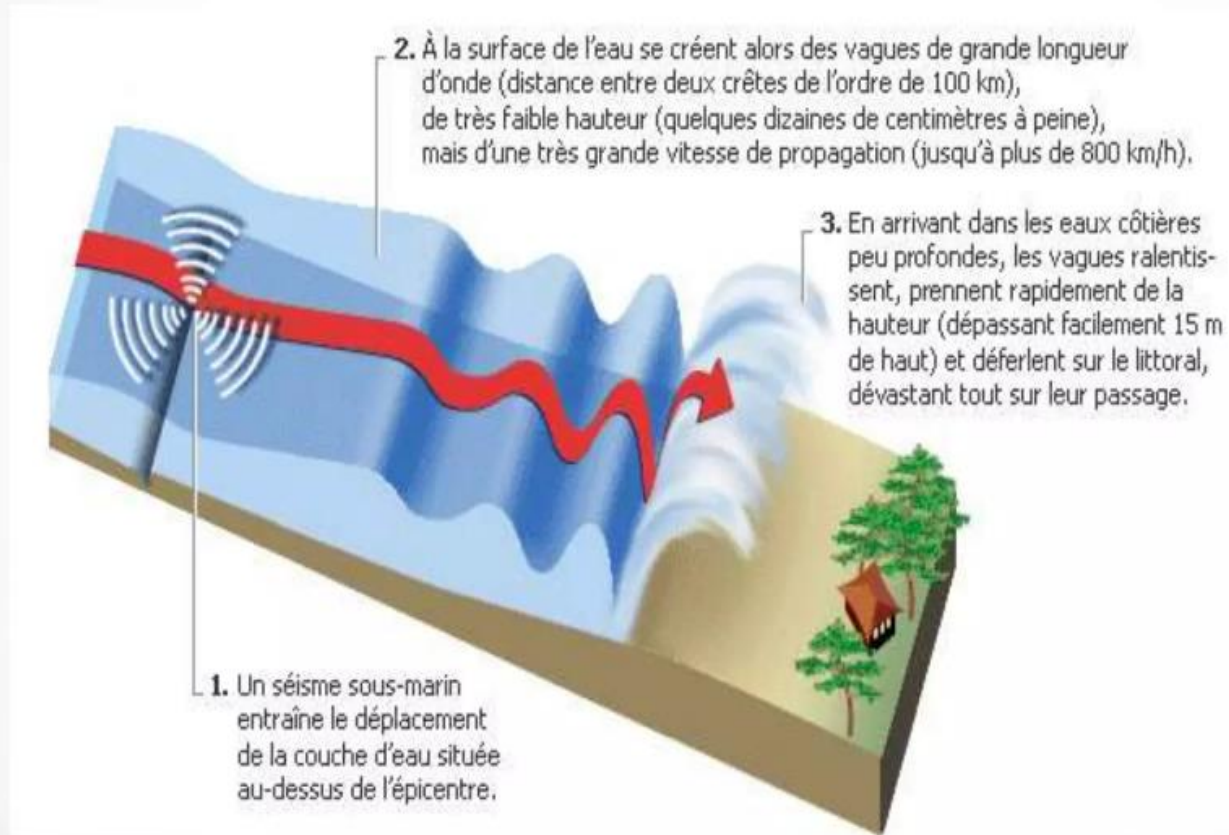
Alaska, USA 1964



Séismes de Niigata,
Japon 1964 et

*La conception
parasismique*

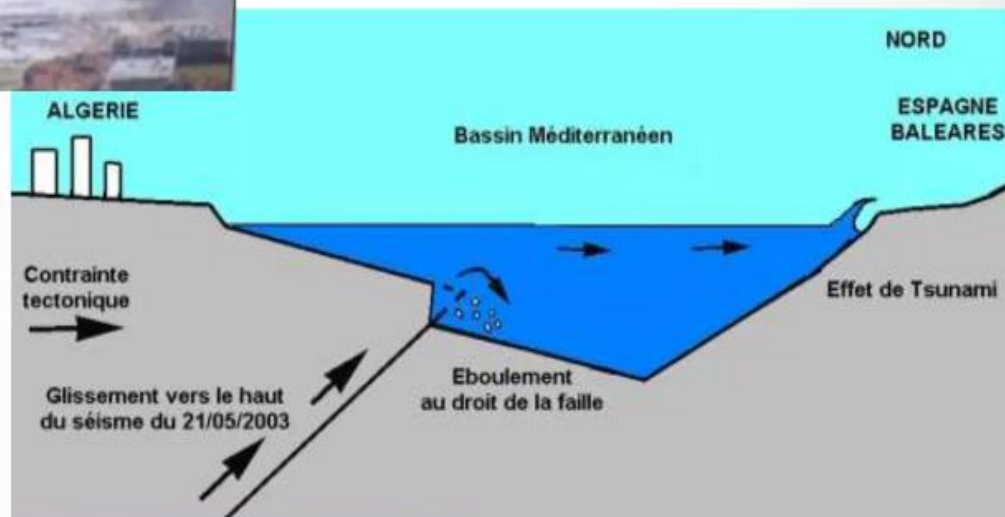
- Des tsunamis (raz de marée liés à la propagation d'une onde)



*La conception
parasismique*



Dellys après le seisme Mai 2003



Dellys avant le seisme Mai 2003

Simulation proposée
par André LAURENTI

Azuseisme

*La conception
parasismique*



LA CONSTRUCTION PARASISMIQUE

*La conception
parasismique*

La Construction parasismique est l'étude du comportement des bâtiments et structures sujets à un chargement dynamique du type sismique.

Plus précisément c'est l'art de construire des bâtiments tels que même endommagés, ils ne s'effondrent pas.

Le but est d'éviter la rupture fragile et de favoriser la réaction ductile

*La conception
parasismique*



Spitak, Arménie 1988
Rupture fragile (instantanée), la structure ne peut se déformer au delà des déformations élastiques



Northridge, Californie 1994
Comportement ductile. L'effondrement est dû à une erreur d'architecture et non d'exécution
 (effet de poteau court à l'intérieur du bâtiment),

La conception parasismique

La construction parasismique s'appuie sur trois points :

- Respect de la réglementation parasismique;
- Mise en œuvre soignée;
- Conception architecturale parasismique.

Les **normes de construction parasismique** :

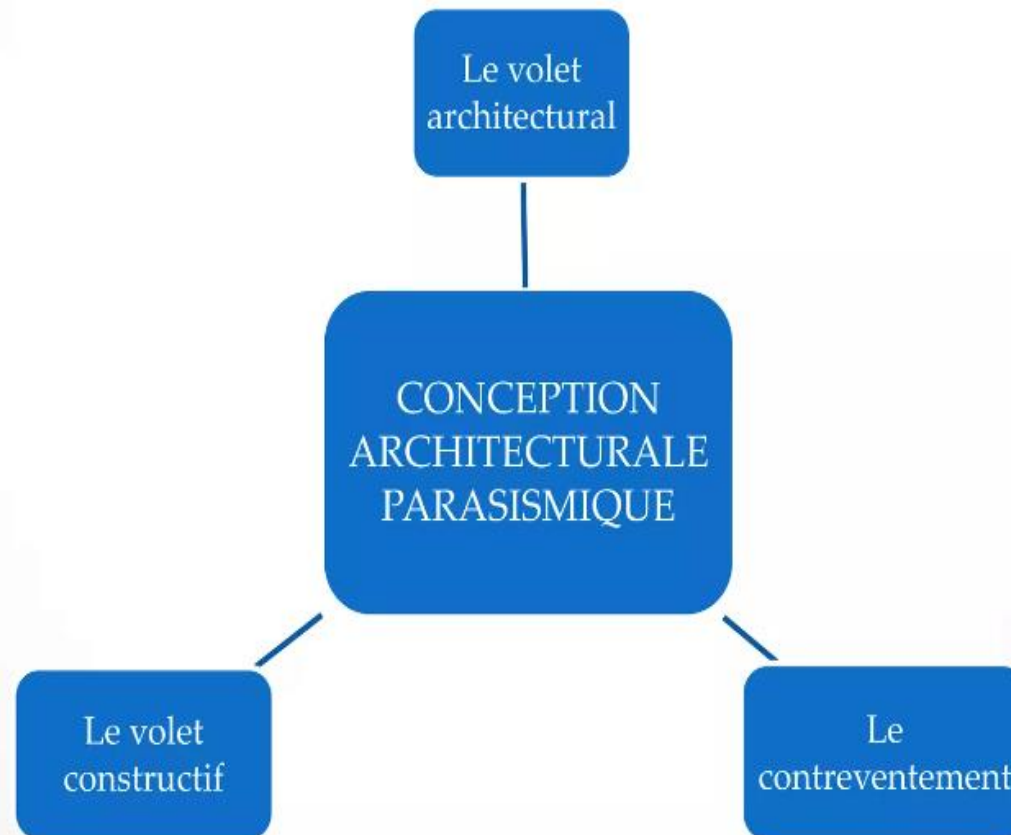
Ensemble de règles de conception et de construction à appliquer aux bâtiments pour qu'ils résistent le mieux possible à un séisme.

Les principaux objectifs de la **conception parasismique** sont de :

- Minimiser les charges sismiques;
- Créer une réserve de résistance vis-à-vis des charges plus sévères que le séisme de calcul;
- Abaisser le coût de la protection parasismique.

*La conception
parasismique*

LA CONCEPTION PARASISMIQUE



*La conception
parasismique*

LE VOLET ARCHITECTURAL

sols et fondations:

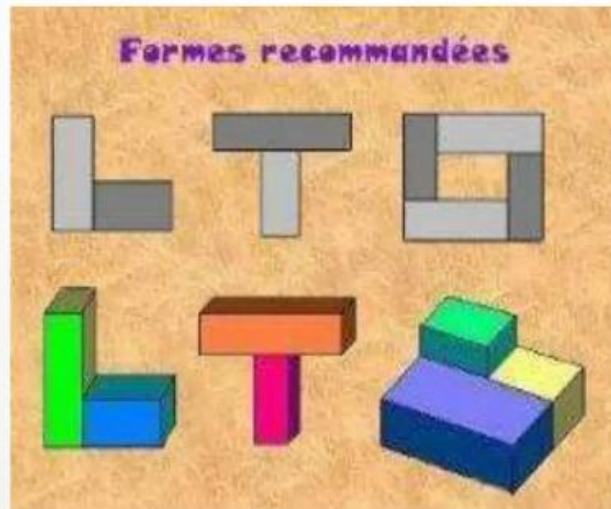
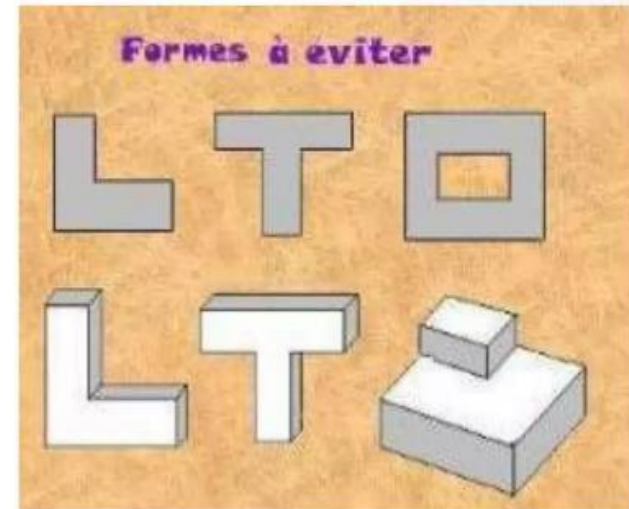
Eviter dans la mesure du possible, les terrains fortement fractures, les zones d'éboulis , les remblais insuffisamment compactes , les sols présentant un indice des vides élevé et les sols mous imprégnés d'eau

Lorsqu'il n'est pas possible de modifier l'implantation des ouvrages pour trouver de meilleures conditions de terrain , le recours aux fondations profondes (pieux, barrettes , puits) constitue souvent la meilleure solution

IMAGES FONDATIONS PIEUX, Puits ET BARRETTES +MODES DE FONCTIONNEMENT

*La conception
parasismique*

Les fondations des bâtiments dont la forme en plan est irrégulière (ex : L ; U ou bien en T) doivent, de préférence, être découpées en blocs de forme sensiblement rectangulaire, séparés par des joints.



La conception
parasismique

2-Le monolithisme:

LE MONOLITHISME est un autre principe de base de la conception parasismique , d'après lequel les différentes parties de la structure doivent être convenablement liées entre elles pour éviter la désolidarisation leurs éléments sous l'action des secousses sismiques.

Ce principe se traduit essentiellement par:



*La conception
parasismique*

-L'adoption de chainages dans les structures en maçonnerie;

Aucun bord libre en maçonnerie n'est autorisé. Tous les murs structuraux et non structuraux doivent être confinés par des chaînages et encadrements d'ouvertures en béton armé



maisons en Martinique, zone de forte sismicité

*La conception
parasismique*

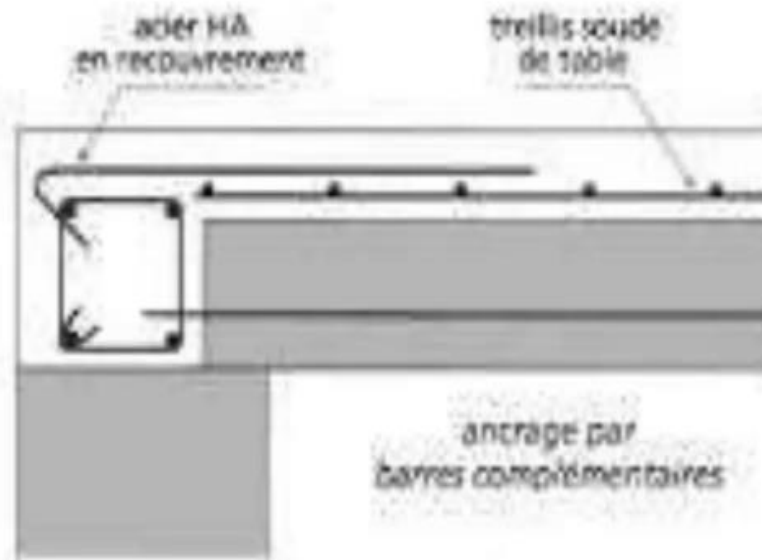
Aucun bord libre en maçonnerie n'est autorisé. Tous les murs structuraux et non structuraux doivent être confinés par des chaînages et encadrements d'ouvertures en béton armé. La continuité des armatures aux angles des chaînages et encadrements doit être assurée (recouvr



Chaînages, couronnements et encadrements réglementaires, maisons en Martinique, zone de forte sismicité

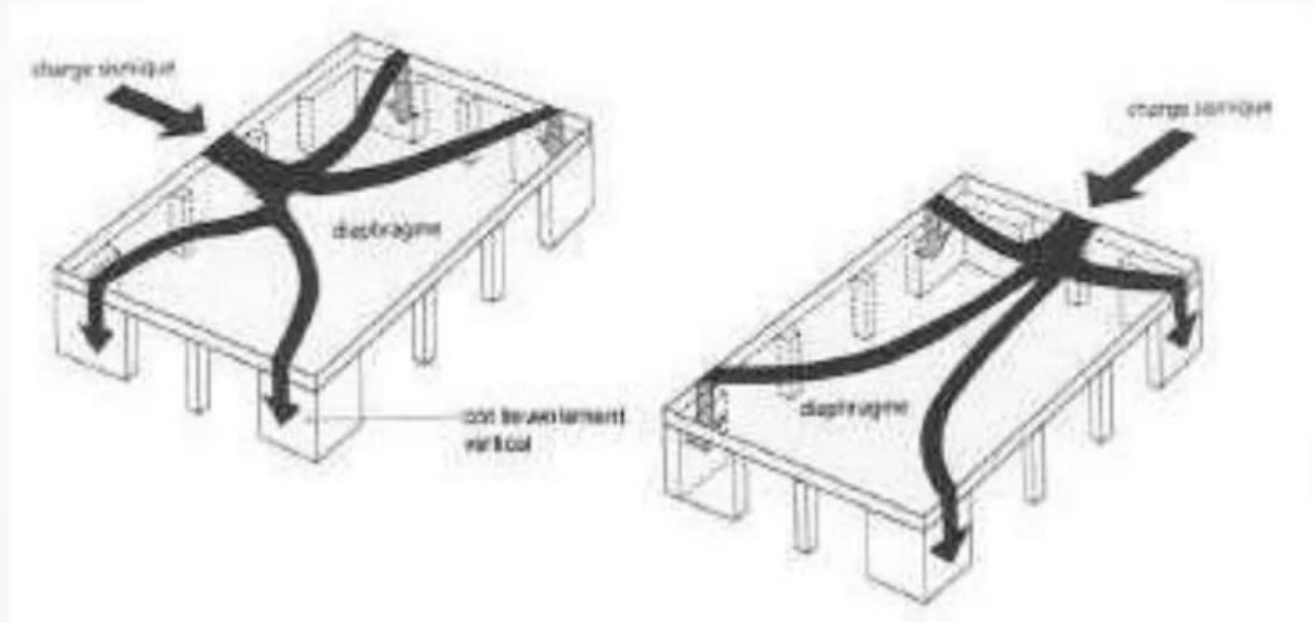
La conception parasismique

-La nécessité de bien fixer les équipements lourds de la structure de génie civil (murs ,planchers).



*La conception
parasismique*

-La nécessité de réaliser des planchers rigides dans leurs plan (diaphragmes) , de manière à assurer la transition des forces horizontales aux éléments de contreventement et , par-delà, au fondations;



*La conception
parasismique*

L'importance de l'étude géotechnique du sol:

L'étude de reconnaissance géotechnique du sol permet d'éviter les risques liés aux mouvements des fondations sous charge sismiques notamment :

- les tassements
- la dislocation
- le glissement
- le basculement

*La conception
parasismique*

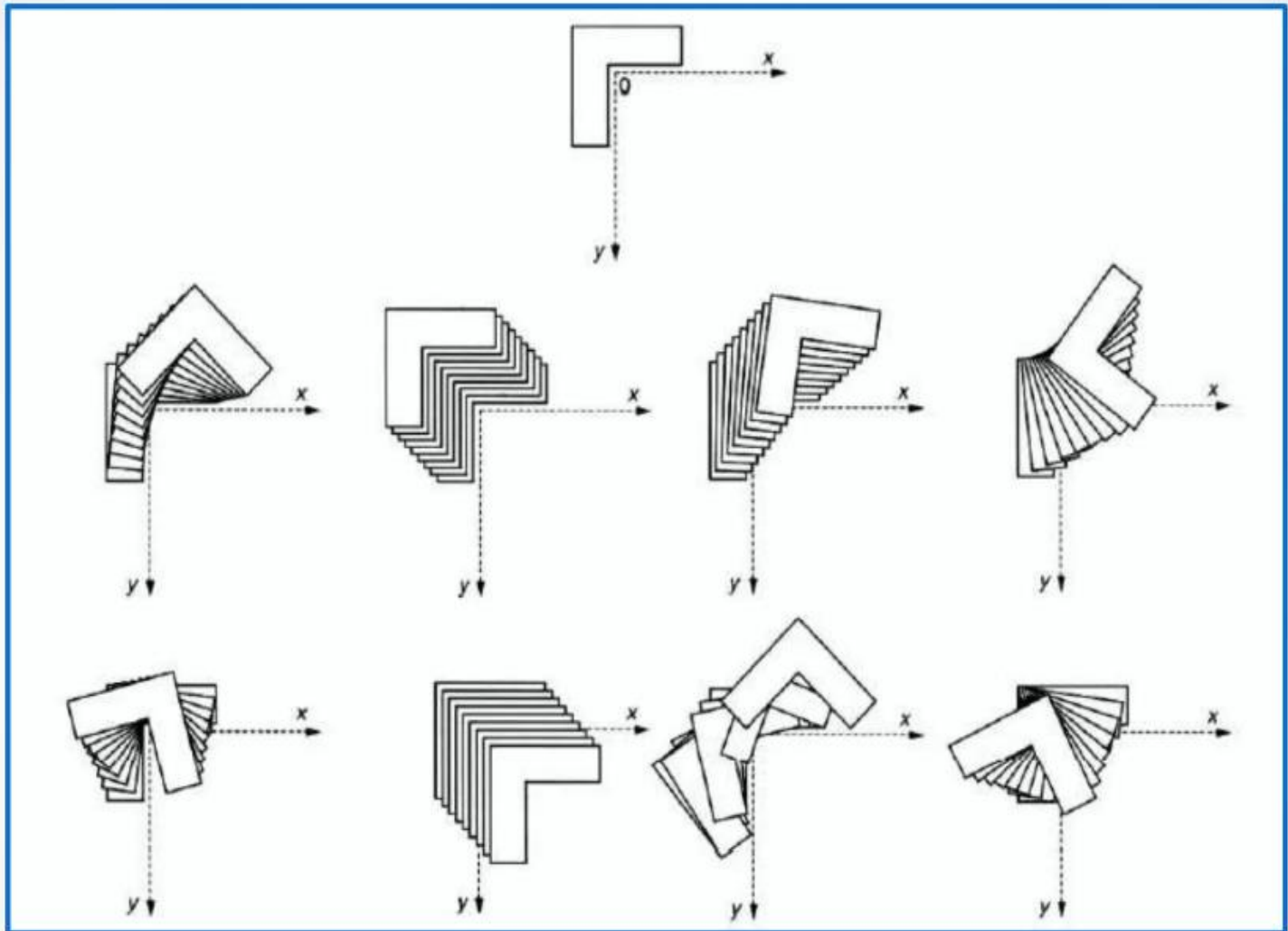
LE VOLET ARCHITECTURALE

1-Symétrie et Régularité:

Eviter les formes compliquées et les irrégularités dans la distribution des inerties et des raideurs.

Si l'on cherche à tenir ensemble des éléments structuraux ayant des repenses sismiques et des capacités de déformations très différentes, on doit s'attendre à ce que les liaisons entre ces éléments souffrent; de telles structures sont notamment très sensibles aux efforts de torsion; figure ci-dessous.

*La conception
parasismique*



Torsion d'un bâtiment irrégulier (modes propres d'un bâtiment en L)

La conception parasismique

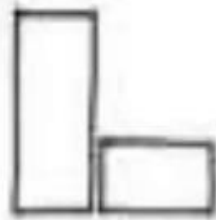
Lorsque la fonction de l'ouvrage impose l'adoption d'une structure fortement dissymétrique ,on peut, améliorer le comportement sismique en découpant la structure en sous structures relativement symétriques séparées par des joints.



Concentrations de contraintes locales
dans les angles pouvant entraîner la ruine

*La conception
parasismique*

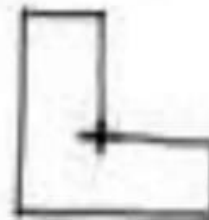
Il est souhaitable que les variations de rigidité
soient progressives en plan et en élévation.



- Joints parasismique



- Rigidifier les
zones
flexibles



- Renforcement de
l'angle
rentrant



- Variation
progressive
de la rigidité



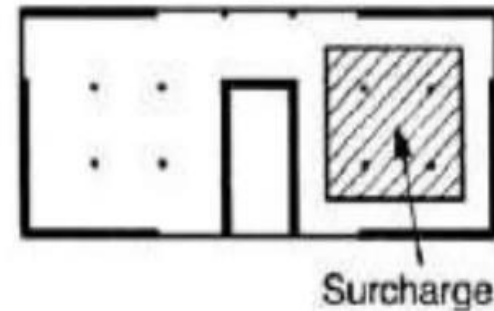
Tokyo, Japon



*La conception
parasismique*

L'attention doit être attirée sur le fait qu'un bâtiment de forme symétrique peut être fortement dissymétrique du point de vue de sa structure résistante ou de la distribution des masses(charges).

- (a) forme symétrique
contreventement symétrique
charges dissymétriques



- (b) forme symétrique
contreventement dissymétrique
charges symétriques



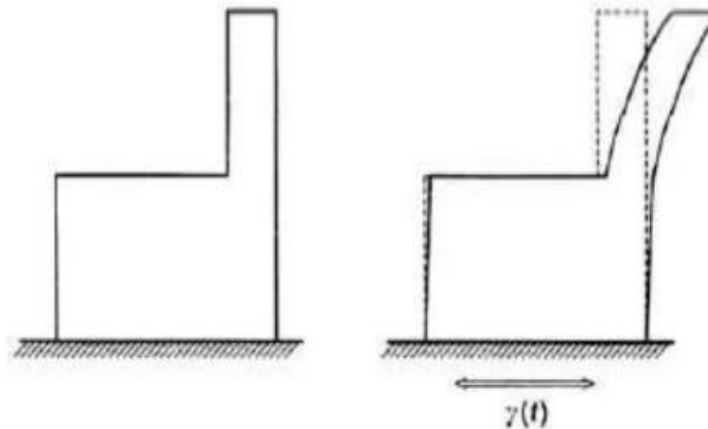
Forme symétrique et structure
dissymétrique

*La conception
parasismique*

Le principe de régularité en plan et en élévation:

La clef de son application est d'éviter les discontinuités ou la variation trop rapide dans la distribution des inerties et des raideurs, comme dans les exemples suivants:

-Parties supérieures souples surmontant des parties rigides; ces parties supérieures peuvent être fortement sollicitées par un effet **de couteau**



Effet de couteau
de fouet

*La conception
parasismique*



Solutions pour les retraits d'étage



Séisme de Kobé, Japon 1995



Tokyo, Japon

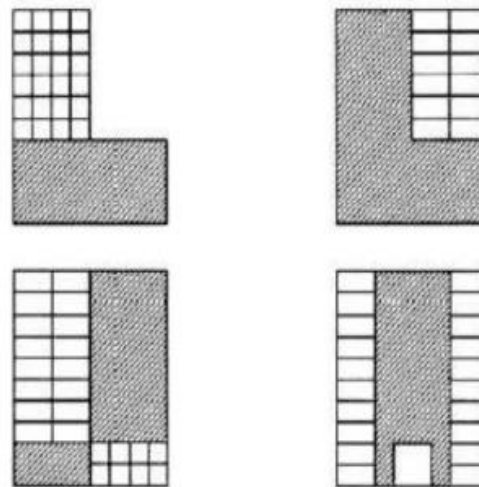
*La conception
parasismique*

-Etages en retrait ou en porte-a-faux, de telles irrégularités peuvent être sans conséquences exagérées défavorables si elles restent dans certaines limites

les porte-à-faux importants et lourdement chargés sont par contre très défavorables pouvant entraîner la ruine complète de la construction (mode de ruine en château de cartes).

*La conception
parasismique*

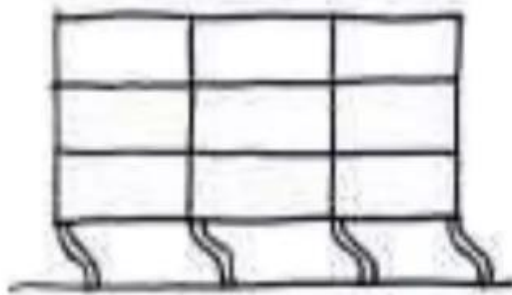
-Irrégularités dues au changement de structures a l'interieur du même bâtiment; passage d'un contreventement par voiles a un contreventement par portiques ou cohabitation de deux types de structures sur toute la hauteur .



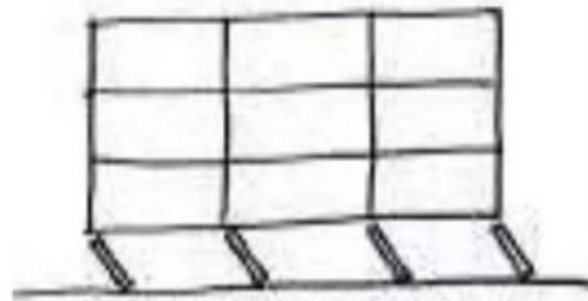
Changement du type de contreventement a l'interieur du même bâtiment

La conception parasismique

-bâtiments présentant des **niveaux transparents**, notamment au rez-de-chaussée, résultant de nécessités fonctionnelles (accès, stationnement de véhicules, etc.) ; les parties situées au-dessus du niveau transparent se comportent en **pendule inversé**, les éléments porteurs du niveau transparent sont très fortement sollicités et ont souvent été la cause d'effondrements partiels (pertes d'un étage) ou complet (château de cartes).



"Mise en S" des poteaux
à leurs extrémités



Rupture consécutive
des poteaux

*La conception
parasismique*

niveaux ouverts ou largement vitres préjudiciables lorsqu'il y a une grande différence de rigidité entre le niveau transparent et les autres niveaux (**effet de niveau souple**) a cause de l'absence de maçonneries participant a la rigidité.



Séisme de Boumerdes, Algérie 2003



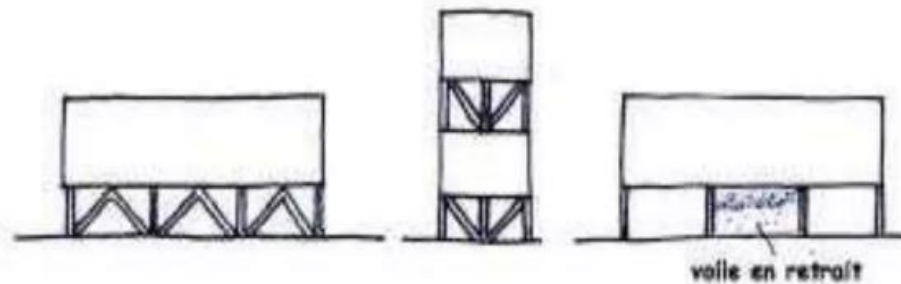
Ceyhan-Misis, Turquie 1998

Effondrement ,conséquence de la présence d'un niveau souple .

*La conception
parasismique*

Solutions visant à éviter l'effet de niveau souple

- Contreventement en façade ou en retrait
- Variation progressive de la rigidité horizontale

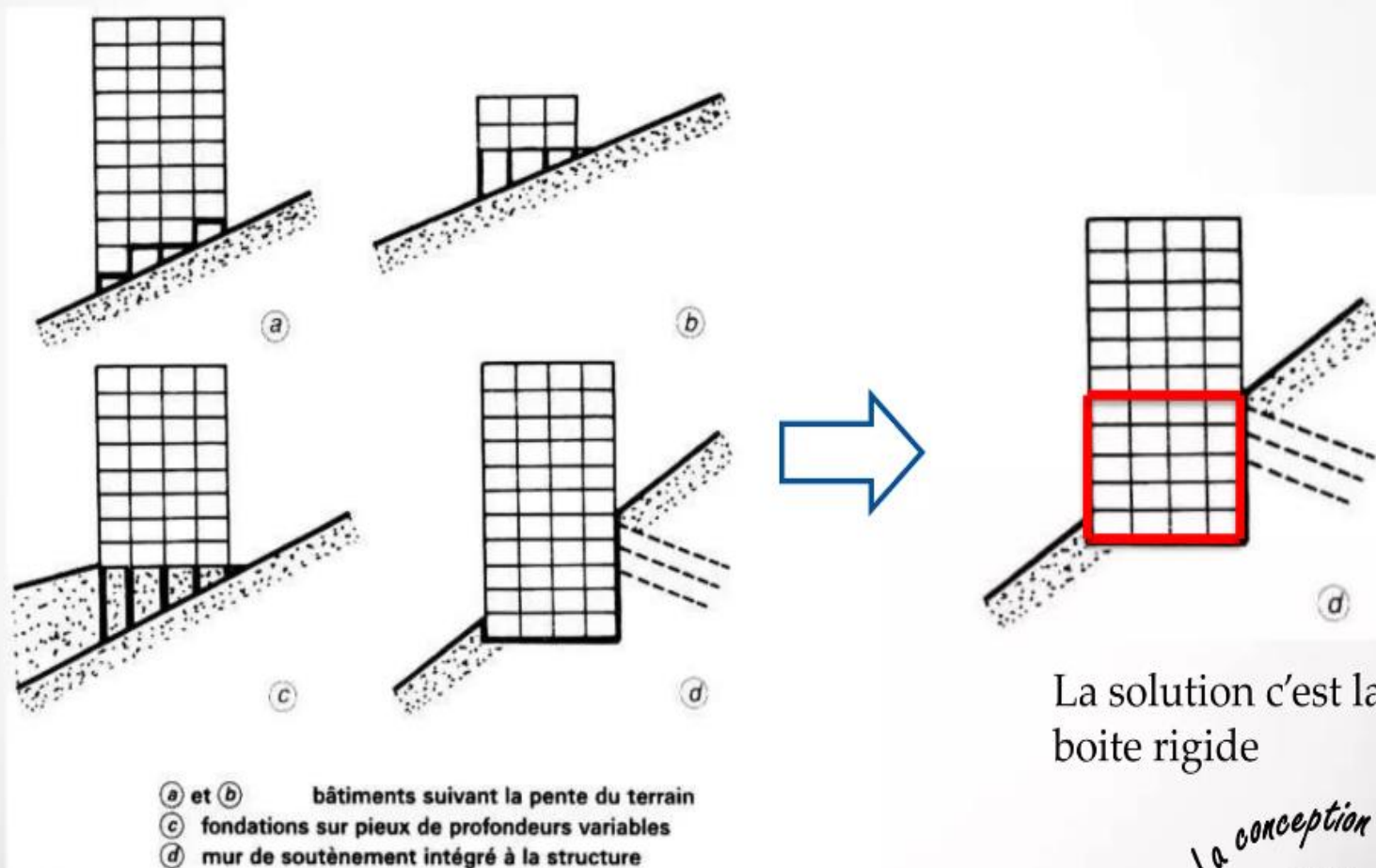


Exemple : le mur en rez-de-chaussée
a empêché l'effondrement d'une
partie du bâtiment



Séisme de Ceyhan-Misis, Turquie 1998

irrégularités à la base du bâtiment,
par exemple lorsque celui-ci suit la pente du terrain ou est fondé
sur des pieux de longueurs variables .

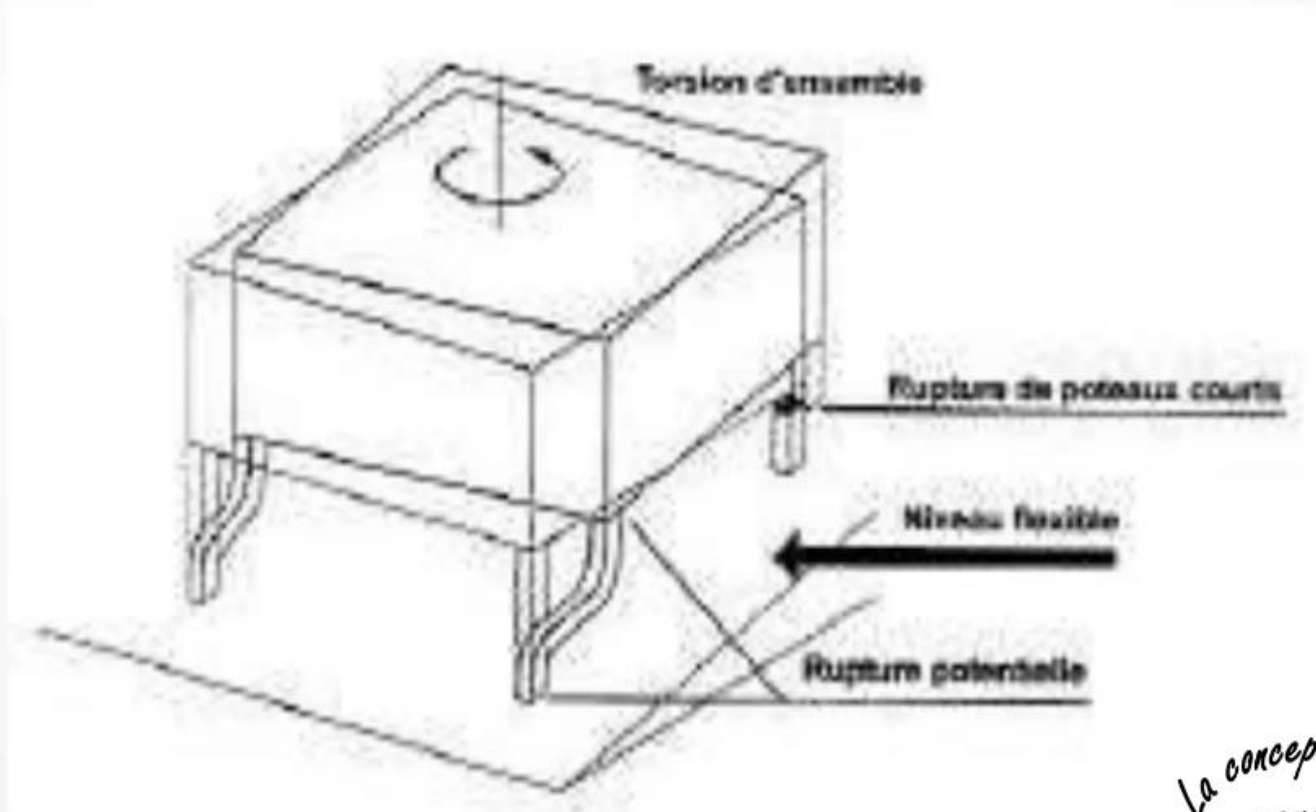


La solution c'est la
boite rigide

*La conception
parasismique*

Phénomènes destructeurs potentiels dans le cas de construction sur un terrain en pente :

- torsion
- effet de niveau souple
- effet de poteau court
- effets induits : glissement de terrain, éboulement



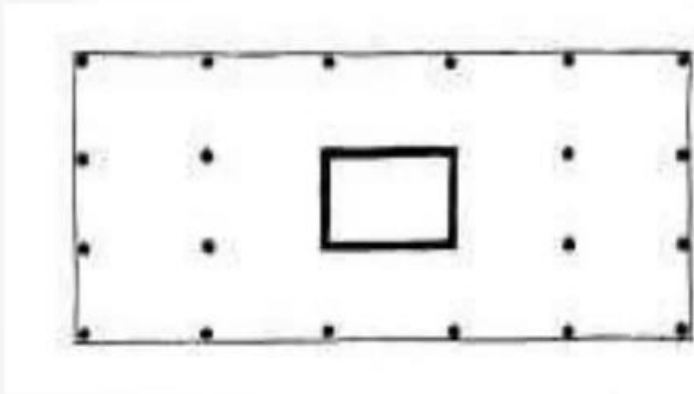
*La conception
parasismique*

Comportement dynamique

Solutions visant à éviter l'effet de poteau court

dû à la présence d'allèges rigides

- contreventement par voiles en façade ou à l'intérieur du bâtiment
- allèges (paroi de remplissage) non rigides en bois ou métal



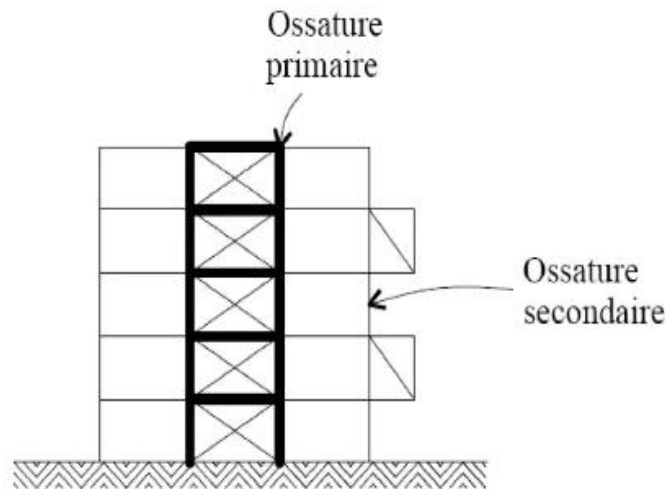
contreventement par voiles



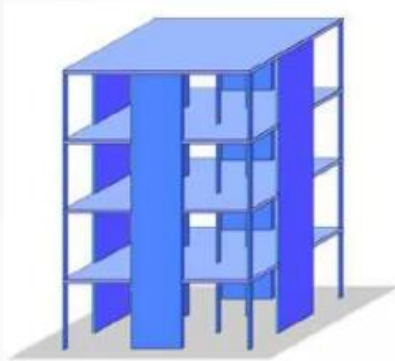
contreventement en facade

*La conception
parasismique*

Les considérations sur la symétrie et la régularité ne doivent pas laisser croire que la conception parasismique exclut nécessairement toute recherche architecturale vue que ces principes de conception s'appliquent seulement à l'ossature "primaire", ce qui laisse à l'architecte beaucoup de liberté dans son projet. En particulier, la liberté d'aspect de la structure "secondaire" qui peut constituer le facteur déterminant de l'aspect extérieur est pratiquement totale.

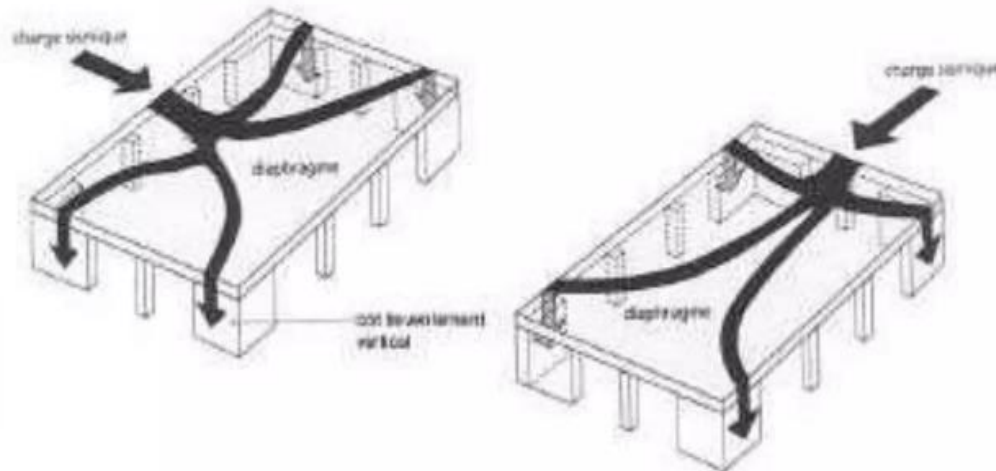


*La conception
parasismique*



CONTREVENTEMENT

Élément de la structure fournissant la résistance latérale. Dans le but de reprendre les efforts et les moments dus à action sismique, il y'a intérêt de doter les constructions d'une maille structurale régulière, à éviter de recourir à la torsion des pièces pour équilibrer certains efforts, à faire en sorte que les éléments porteurs se superposent convenablement d'un étage à l'autre et que les éléments de contreventement soient disposés en plans.



*La conception
parasismique*

Types de contreventement:

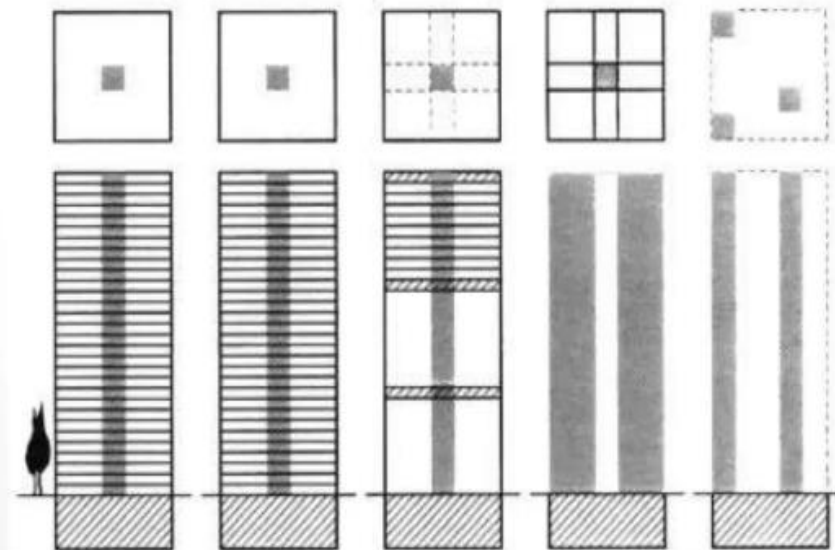
Le contreventement par voiles : généralement très raide, ce qui présente l'avantage de limiter à des valeurs très petites les déformations imposées aux éléments non structuraux (remplissages, cloisons, fenêtres).

Le contreventement par ossatures: beaucoup plus souple que le contreventement par voiles ; il impose donc des déformations importantes aux éléments non structuraux, ce qui peut compromettre leur tenue ; par contre, il conduit à des efforts sismiques plus faibles et présente, en général, une meilleure ductilité (capacité de déformation au-delà du comportement élastique. Il peut être particulièrement avantageux dans les cas de fondation sur rocher, sous réserve que la tenue des éléments non structuraux ne soit pas critique.

On trouve ainsi le principe selon lequel **il faut construire souple sur sol raide et raide sur sol souple.**

*La conception
parasismique*

Le contreventement par noyaux: souvent utilisé pour les immeubles de grande hauteur. Les noyaux qui correspondent aux cages d'escaliers ou d'ascenseurs peuvent être combinés avec des éléments de contreventement situés en façade ; on obtient ainsi des structures tubulaires comportant des tubes intérieurs pleins (noyaux) et un tube extérieur ajouré (façade) ; celui-ci doit bien entendu être lié aux tubes intérieurs par des structures rigides de manière à assurer la participation au contreventement de l'ensemble des éléments résistants. Ces structures rigides de liaison peuvent être présentes à tous les niveaux du bâtiment (par exemple, en remplaçant systématiquement certains cloisons par des refends) ou seulement à certains niveaux.



*La conception
parasismique*

Il est préférable de créer des escaliers portés par des voiles ou à structure indépendante de l'ossature.

Les mezzanines pourront être aussi traitées par une structure légère et aussi indépendante.

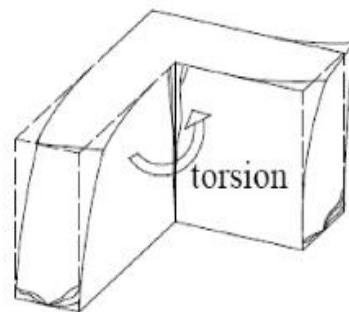
Les baies d'ouvertures dans les façades seront plus favorables si elles sont superposées et de dimensions modérées.

*La conception
parasismique*

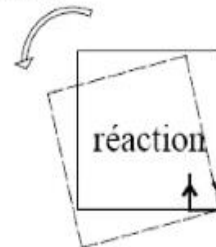
Conclusion générale



Formes favorables dans le plan



action

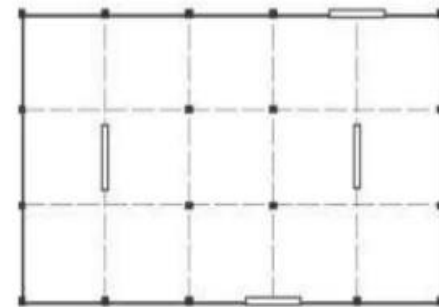
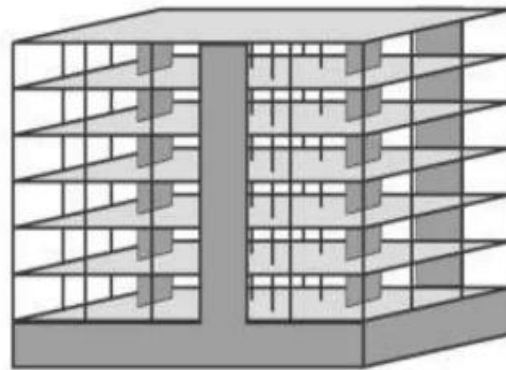


A éviter



A préférer

*La conception
parasismique*



Dans les bâtiments stabilisés par des murs de refend, deux refends élancés en béton armé par direction principale suffisent souvent !

Le choix du contreventement

Le contreventement permet d'assurer une stabilité horizontale et verticale de la structure lors des secousses

qui, rappelons-le, ont des composantes dans les trois directions.

Le rôle du contreventement horizontal est de transmettre les actions latérales aux éléments verticaux

appelées palées de stabilité.

Pour assurer le contreventement horizontal au niveau des planchers et des toitures faisant office de

diaphragme rigide ne devra pas être affaiblis par des percements trop grands ou mal placés pouvant nuire à

leur résistance et leur rigidité. Les diaphragmes flexibles devraient être évités pour combattre le

déversement des murs notamment en maçonnerie.

Le contreventement vertical par palées devra répondre à des critères spécifiques tels que :

leur nombre : **au moins trois palées non parallèles et non concourantes par étage.**

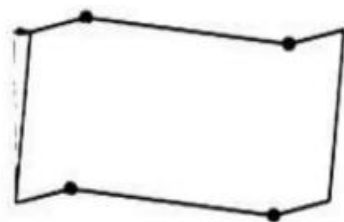
leur disposition : elles seront situées le plus symétriquement possible par rapport au centre de gravité des planchers et de préférence aux angles avec une largeur suffisante. leur distribution verticale : être régulière ; les palées seront de préférence superposées afin de conférer aux différents niveaux, une rigidité comparable aussi bien en translation qu'en torsion.

Les niveaux souples comme par exemple un rez-de-chaussée transparent d'un immeuble devront être contreventés correctement si possible par des voiles de cisaillement.

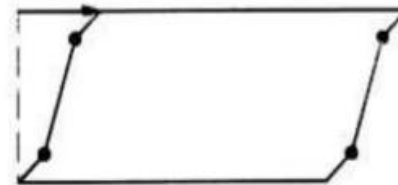
Une mauvaise disposition des palées de stabilité pourra entraîner des effondrements dus à des déformations trop importantes.

Ordre d'apparition des rotules plastiques

Les comportements inélastiques étant acceptés dans la parasismique, il convient que le projeteur optimise la capacité résistante de la structure en agissant sur l'ordre d'apparition de ces comportements dans les différents éléments. À cet égard, il est recommandé de **privilégier la conception poteaux forts/poutres faibles dans laquelle la formation des rotules plastiques** dans les éléments porteurs verticaux ne peut précéder la formation de rotules dans les éléments transversaux (figure 21). De cette manière, la structure est capable de dissiper de l'énergie sans dégradation de sa capacité porteuse, alors que dans la conception inverse (poteaux faibles-poutres fortes) celle-ci pourrait être compromise, notamment sous l'effet des moments du second ordre résultant de la grande déformation des éléments verticaux [24].



poteaux forts
poutres faibles



poteaux faibles
poutres fortes

REGLES GENERALES DE CONCEPTION SELON LE RPOA

- La prise en compte des effets sismiques dès le stade de la conception du projet du pont est importante, même pour les régions à faible sismicité.
- Lors de l'étude du site de l'ouvrage, une attention particulière doit être portée aux conditions défavorables ou pénalisantes telles que la présence de failles tectoniques potentiellement actives et/ou de **zones liquéfiables**.
- Le potentiel de liquéfaction du sol de fondation doit faire l'objet d'investigations conformément aux dispositions de l'article 7.6.3
- Il convient d'éviter la proximité immédiate **d'une faille active** (à moins de 500m) où les mouvements sismiques sont particulièrement violents et mal représentés par les spectres réelementaires.

- Dans le cas de ponts passant au-dessus de ***failles tectoniques*** potentiellement actives, la discontinuité probable des déplacements du sol doit généralement être évaluée et prise en compte, soit par une flexibilité appropriée de la structure, soit par une disposition convenable des joints de dilatation.
- La conception parasismique de l'ouvrage porte essentiellement sur les appuis (***pires et culées***) et notamment, l'interface entre les appuis et le tablier. Elle doit faire l'objet d'une étude spécifique pour éviter toute rupture fragile des fûts des piles. Les ouvrages monolithiques (ponts cadres ou portiques) ont généralement un bon comportement sous séisme ;

- Les efforts horizontaux mis en jeu dépendent principalement de la souplesse des piles et du type de liaison retenue entre le tablier et les piles et les culées. Le choix du **système de liaison tablier/appuis** a pour objectifs de limiter les déplacements du tablier ainsi que les efforts dans les appuis.
- Deux approches pour la conception des appuis :
 - Concevoir **des appuis élastiques** (piles et culées) sous réserve d'un choix judicieux d'appareils d'appui au niveau de l'interface tablier/appuis.
 - Concevoir **des appuis ductiles** (piles) sous réserve d'une conception détaillée des rotules plastiques dont la formation doit être confirmée par calcul.

- Les efforts horizontaux mis en jeu dépendent principalement de la souplesse des piles et du type de liaison retenue entre le tablier et les piles et les culées. Le choix du **système de liaison tablier/appuis** a pour objectifs de limiter les déplacements du tablier ainsi que les efforts dans les appuis.
- Deux approches pour la conception des appuis :
 - Concevoir **des appuis élastiques** (piles et culées) sous réserve d'un choix judicieux d'appareils d'appui au niveau de l'interface tablier/appuis.
 - Concevoir **des appuis ductiles** (piles) sous réserve d'une conception détaillée des rotules plastiques dont la formation doit être confirmée par calcul.

- Dans les zones à sismicité modérée ou forte, le choix du comportement ductile est en général approprié.
- Dans le cas d'appuis ductiles, l'emplacement des points de dissipation de l'énergie (rotules plastiques) doit être choisi de manière à assurer leur accessibilité pour le contrôle et les réparations.
- Le comportement sous séisme des tabliers de ponts courants demeure généralement, dans le domaine élastique.
- En général, **les structures continues** se comportent mieux dans les conditions sismiques que les ponts ayant de nombreux joints

- Les critères de choix du type d'ouvrage porte essentiellement sur les points suivants :
 - Un tablier léger pour minimiser les actions sismiques sur les appuis,
 - Eviter autant que possible et notamment en **zone de forte sismicité, les travées isostatiques**.
 - Etudier le mode de liaison tablier/appuis et comparer entre encastrement et appuis simples.
- Un équilibre doit en général être maintenu entre les prescriptions de résistance et de déformabilité pour les supports horizontaux. Une grande déformabilité réduit le niveau de l'action sismique de calcul, mais augmente le mouvement aux joints et aux appuis mobiles.

- Pour la maîtrise des déplacements, deux systèmes de butées existent
 - **Les butées de sécurité**, destinées à empêcher le tablier de quitter ses appuis sous séisme ultime,
 - **Les butées de blocage**, destinées à limiter fortement le déplacement relatif du tablier par rapport à ses appuis sous séisme sont utilisées en complément à des appareils d'appui en élastomère fretté ou à des appareils d'appui spéciaux glissants.

- Les fondations sont à dimensionner conformément à l'article 7.6, en particulier :
 - Les culées fondées superficiellement **en tête de remblai** sont à priori interdites, sauf justifications particulières sur la stabilité au glissement du remblai en tenant compte des actions sismiques.
 - Les fondations superficielles sur **des sols granulaires lâches** ou des sols cohérents mous (catégorie S4) sont interdites, des fondations profondes sont alors recommandées.
 - En présence de **couches superficielles liquéfiables**, des fondations profondes ancrées dans les couches du sol
- Les dispositions constructives  doivent être cohérentes avec le fonctionnement de la structure sous séisme.
- Dans le cas de ponts de **longueur exceptionnelle**, ou de ponts traversant des formations de sol non homogènes, on doit décider du nombre et de l'emplacement des joints de dilatation intermédiaires.

ACTIONS SISMIQUES

1 CRITÈRES DE CLASSIFICATION

2. DÉTERMINATION DES ACTIONS

SISMIQUES ÉLASTIQUE

3 DISCONTINUITÉ MÉCANIQUE

4 DÉPLACEMENTS

Détermination des actions sismiques

- L'action sismique résulte des mouvements du sol qui sont pris en compte sous deux aspects :
 - ***une translation d'ensemble*** (tous les points du sol se déplacent en phase) dans chacune des trois directions de l'espace ;
 - ***un déplacement différentiel*** entre points du sol dans chacune des trois directions de l'espace.
- Ce déplacement différentiel dépend de la distance entre les points et des caractéristiques géotechniques et topographiques du site.

Détermination des actions sismiques

- Pour le mouvement sismique de calcul, la translation d'ensemble est définie par
 - le coefficient d'accélération de zone A,
 - **un spectre de réponse horizontal** valable pour les deux composantes horizontales du mouvement
 - **un spectre de réponse verticale** valable pour la composante verticale du mouvement.
- Le déplacement différentiel entre points du sol est défini par le même coefficient d'accélération de zone A et les spécifications de l'article 3.4.2.
- Les spectres de réponses, élastiques ou de dimensionnement, qui dépendent de
- la catégorie du site de l'ouvrage,
- du coefficient d'accélération de zone (A)
- et du taux d'amortissement critique (ξ) par le biais du facteur de correction d'amortissement
$$(\eta = \sqrt{7 / (2 + \xi)})$$
 - quand ce taux est différent de 5% sont définis en paragraphes suivants

Spectre de réponse élastique

- Le spectre de réponse élastique constitue généralement la donnée de base pour le calcul sismique.
- 3.2.1.1 Composante horizontale
- Le spectre de réponse élastique (S_{ae}) pour les deux composantes horizontales est donné en fonction de la période élastique (T) et du taux d'amortissement (ε) de l'ouvrage par :

g : accélération de la pesanteur
($=9,81\text{m/s}^2$)

A : Le coefficient d'accélération de zone

T_1, T_2 : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site données dans le tableau ci après

S : Le coefficient de site,

η : facteur de correction de l'amortissement $\eta = \sqrt{7/(2+\varepsilon)}$

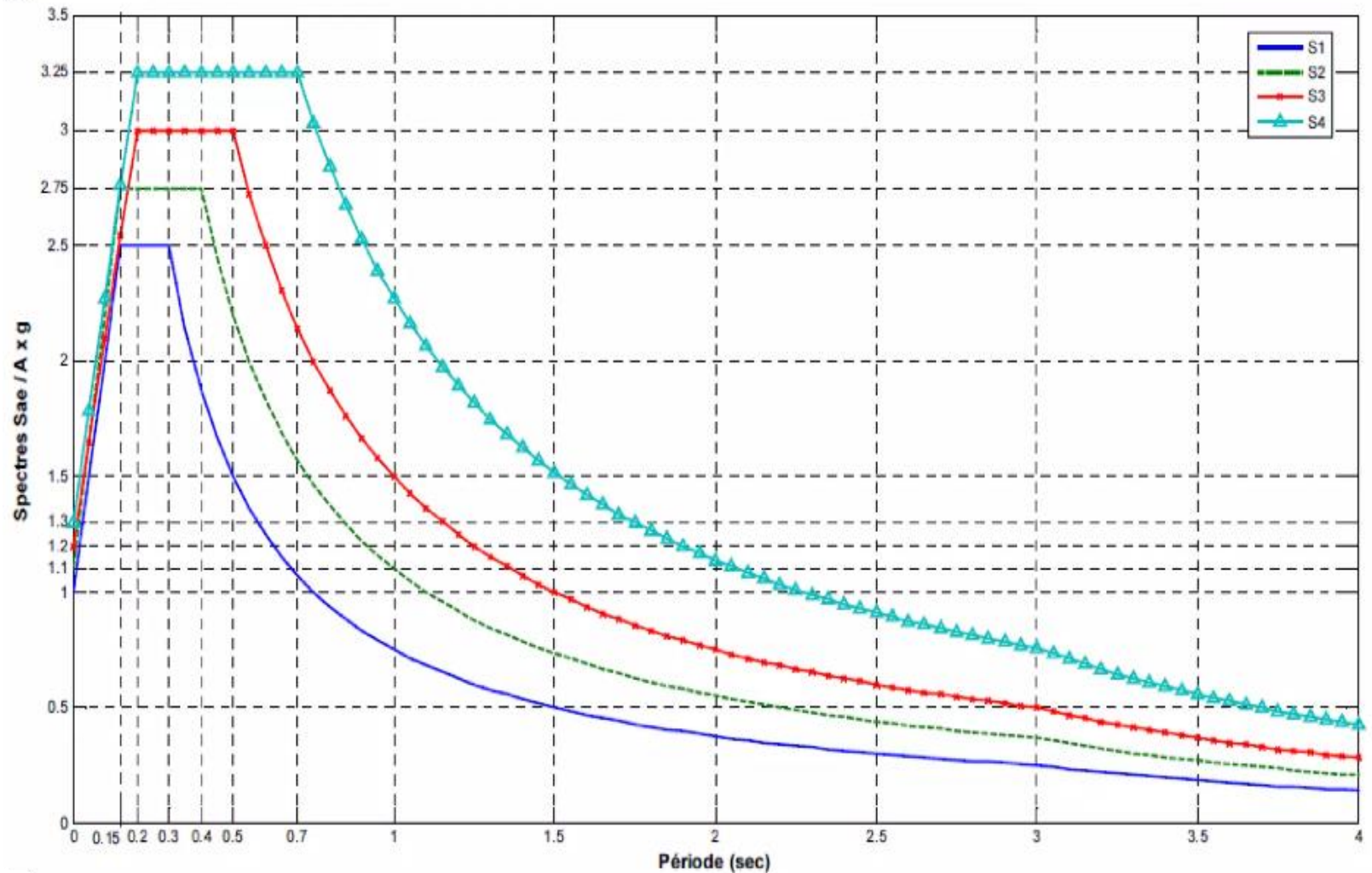
ε : taux d'amortissement défini en [4.2.4](#)

$$S_{ae}(T, \xi)_{(m/s^2)} = \begin{cases} AgS(1 + \frac{T}{T_1}(2.5\eta - 1)) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta AgS & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta AgS \left(\frac{T_2}{T}\right) & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta AgS \left(\frac{3T_2}{T^2}\right) & T \geq 3.0s \end{cases}$$

Site	S1	S2	S3	S4
T_1	0,15	0,15	0,20	0,20
T_2	0,30	0,40	0,50	0,70
S	1	1,1	1,2	1,3

valeurs de T_1, T_2 et S pour la composante horizontale

spectre de réponse élastique- composante horizontale- 5% d'amortissement



• 3.2.1.1 Composante Verticale

- Le spectre de réponse élastique pour la composante verticale est donné en fonction de la période élastique (T) et du taux d'amortissement (ε) de l'ouvrage par :

$$S_{ae}^v(T) \text{ (m/s}^2\text{)} = \begin{cases} \alpha A g \left(1 + \frac{T}{T_1} (2.5\eta - 1) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5 \alpha A g \eta & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5 \alpha A g \eta \left(\frac{T_2}{T} \right) & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5 \alpha A g \eta \left(\frac{3T_2}{T^2} \right) & T \geq 3.0s \end{cases}$$

g : accélération de la pesanteur ($=9,81\text{m/s}^2$)

A : Le coefficient d'accélération de zone

α : coefficient qui tient compte de l'importance de la composante verticale en zone de forte sismicité :

$\alpha = 0,7$ pour les zones sismiques I, IIa et IIb

$\alpha = 1,0$ pour la zone sismique III.

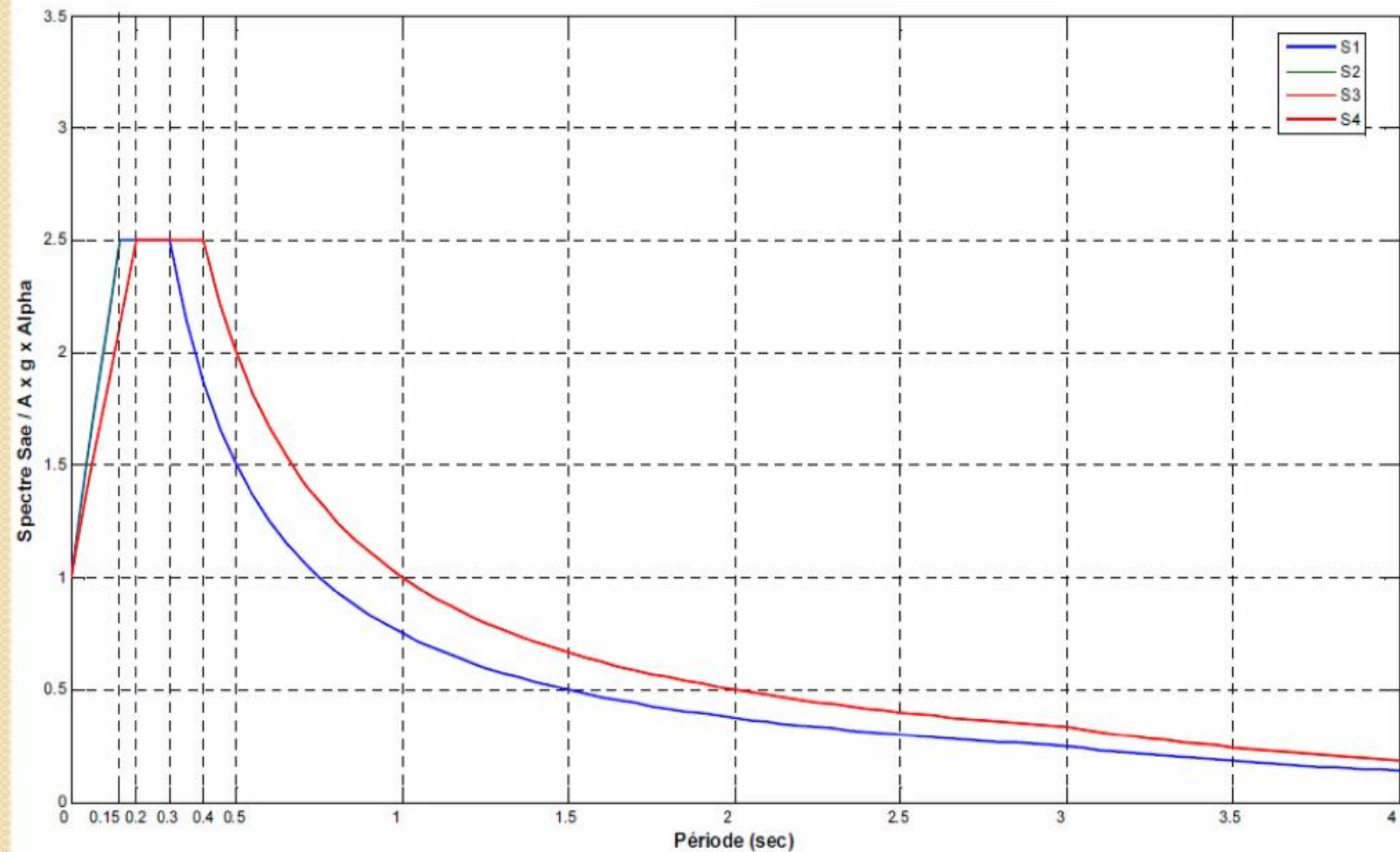
T_1, T_2 : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site données dans le tableau ci après

- Le coefficient de site, dans le cas de la composante verticale, est pris égal à 1

Site	S1	S2	S3	S4
T_1	0,15	0,15	0,20	0,20
T_2	0,30	0,40	0,40	0,40

valeurs de T_1, T_2 et S pour la composante verticale

spectre de réponse élastique- composante verticale 5%



Spectre de dimensionnement

- Le spectre de dimensionnement pour les deux composantes horizontales à utiliser, pour le calcul de résistance (approche du comportement inélastique par un calcul élastique équivalent), avec un coefficient de comportement (q) est donné par :

g : accélération de la pesanteur ($=9,81\text{m/s}^2$)

A : Le coefficient d'accélération de zone

T_2 : périodes caractéristiques associées à la catégorie de site données dans le tableau ci après

S : Le coefficient de site,

η : facteur de correction de l'amortissement

$$\eta = \sqrt[4]{7/(2+\varepsilon)}$$

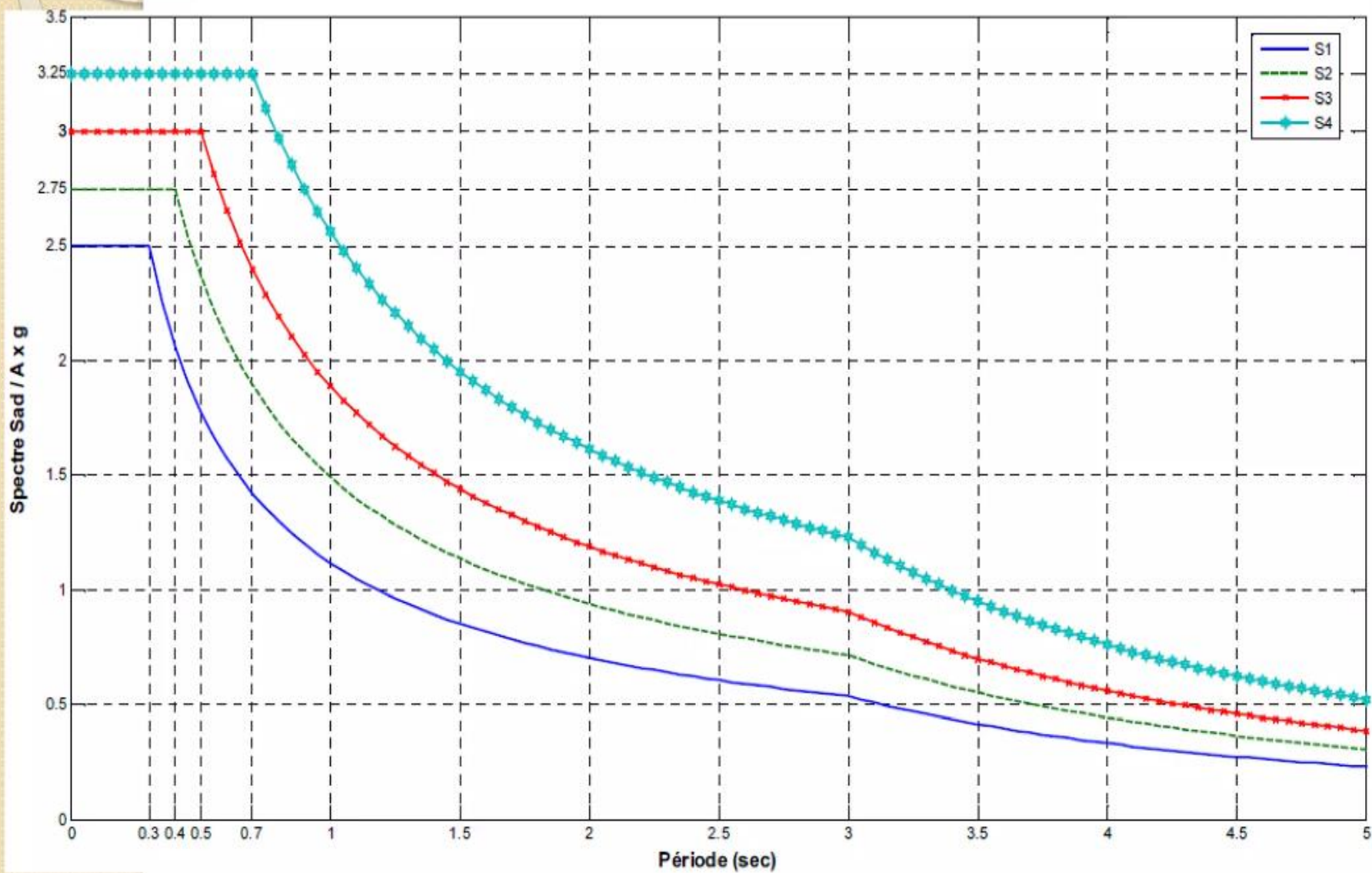
ε : taux d'amortissement défini en [4.2.4](#)

$$S_{ad}(T, \xi) = \begin{cases} 2.5\eta AgS & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta AgS \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta AgS \left(\frac{T_2}{3.0}\right)^{2/3} \left(\frac{3.0}{T}\right)^{5/3} & T \geq 3.0s \end{cases}$$

Site	S1	S2	S3	S4
T_1	0,15	0,15	0,20	0,20
T_2	0,30	0,40	0,50	0,70
S	1	1,1	1,2	1,3

valeurs de T_1 , T_2 et S pour la composante horizontale

• spectre de dimensionnement- 5% d'amortissement



Dans le cas où l'on a plusieurs sites différents à considérer pour un même ouvrage, le mouvement d'ensemble à retenir pour l'ouvrage est obtenu en combinant, au moyen d'une méthode scientifiquement validée, les mouvements des différents sites. A défaut, l'enveloppe des spectres des différents sites peut être retenue

3.4.1 Déplacements absolus horizontal $D_M(H)$ et vertical $D_M(V)$

- L_M est la distance au delà de laquelle les mouvements des deux points peuvent être considérés comme indépendants.
- Les déplacements D_M sont donnés pour une accélération unité (1m/s^2).

Site	S1	S2	S3	S4
L_M (m)	600	500	400	300
$D_M(H)$ (m)	0.03	0.05	0.07	0.09
$D_M(V)$ (m)	0.02	0.04	0.06	0.08

3.4.2 Déplacement différentiel

- Sur un site sans discontinuité mécanique accusée, le déplacement différentiel maximal d entre deux points distants de X , en fonction du coefficient d'accélération de zone A , est égal à :

$$d = \eta AgX \quad \text{si } X < L_M \quad \text{avec} \quad \eta = \frac{D_M}{L_M} \sqrt{2}$$

$$d = AgD_M \sqrt{2} \quad \text{si } X \geq L_M$$

Valeurs de η

Site	S1	S2	S3	S4
$10^4 \eta$ en horizontal	0.7	1.4	2.5	4.2
$10^4 \eta$ en vertical	0.5	1.1	2.1	3.8

- Dans le cas où les deux points appartiennent au même type de site, mais sont situés de part et d'autre d'une discontinuité topographique accusée (vallée), en l'absence d'une démarche appropriée définie, la valeur de d est à majorer de 50%.
- Dans le cas où les deux points sont situés de part et d'autre d'une discontinuité mécanique (faille), le déplacement différentiel d est calculé par la relation :

$$d = Ag\sqrt{D_{M,1}^2 + D_{M,2}^2}$$

- $D_{M,1}$ et $D_{M,2}$ étant les déplacements absolus des deux points.