

Dynamique des structures

Abdellatif MEGNOUNIF

e-mail: abdellatif_megnounif@yahoo.fr

Chap. 16

Eléments de conception en zone sismique

1. Introduction

Séisme ?



Construire pour fournir un degré de sécurité acceptable aux vies humaines

Or

Construire parasismique



Cout élevé

On ne peut pas construire « Parfait ».

Il faut juste prendre en considération les aspects suivants

- ✓ Evaluation du risque sismique et définition du séisme à prendre en compte.
- ✓ Comportement du sol et choix du type de fondations.
- ✓ Choix des matériaux.
- ✓ Choix du type de structure.
- ✓ Modélisation et analyse de la réponse d'une structure.
- ✓ Respect des règlements et des règles de l'art.

2. Risque sismique et séisme de calcul

Séisme ?

Quelle est l'intensité sismique au-delà de laquelle on renonce de se protéger ?



Que doit on sauvegarder une fois la limite est atteinte ?



Conception probabiliste

Partir de l'historique sismique de la région

Analyse statistique

Etablir les caractéristiques du séisme de calcul et du séisme le plus sévère possible

Données statistiques rares ?



Compléter avec des études géologiques pour détecter les failles et identifier les caractéristiques tectoniques



Etude sismologique

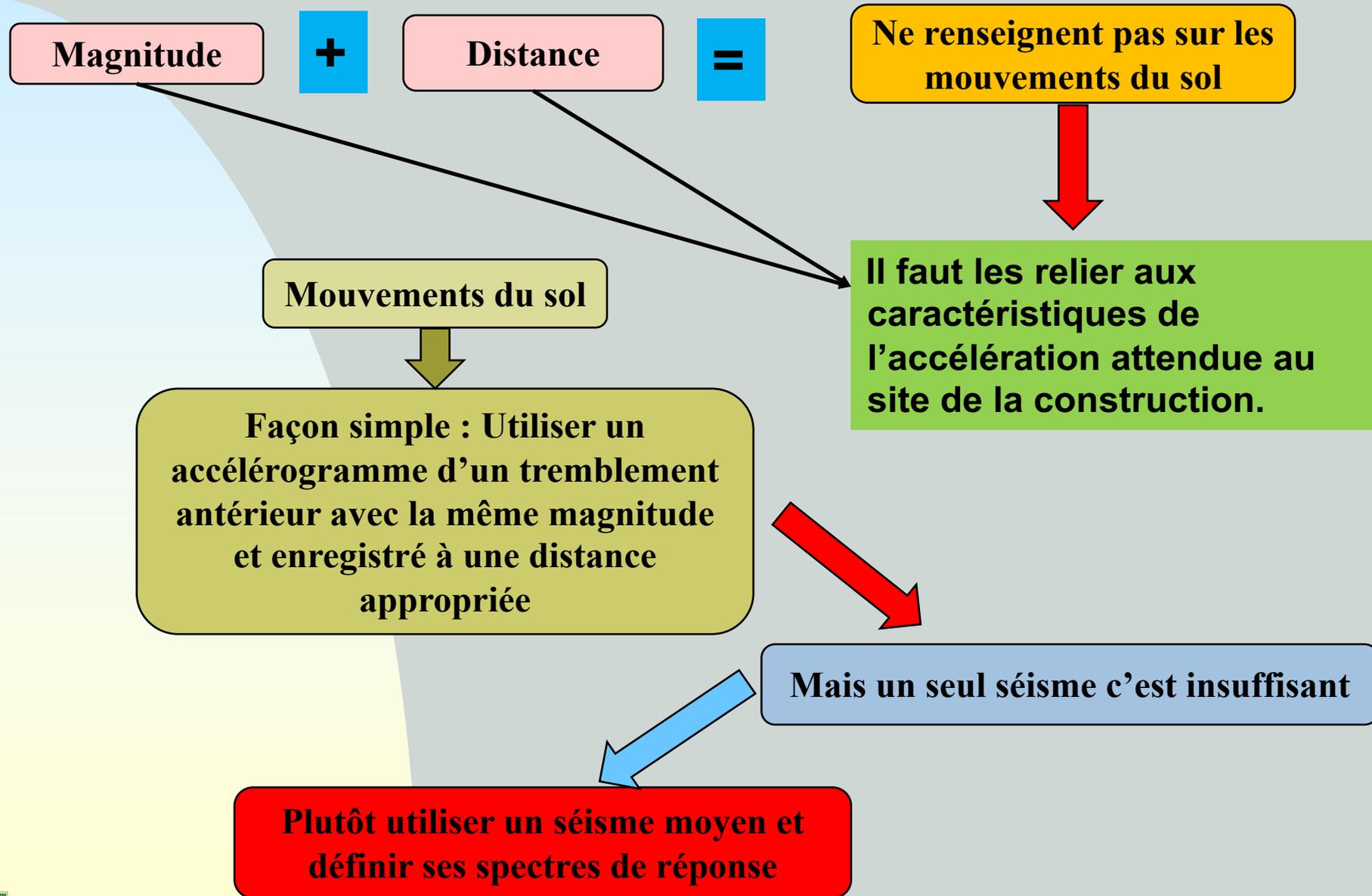
Prédire



Exemple

Qu'un séisme de magnitude 6,5 pourrait se produire le long d'une faille à 50 Km pendant 50 ans de vie de la construction

Au même endroit les secousses les plus sévères qui pourraient être dues à un séisme de magnitude 8 à une distance de 30 Km (même si avec une très faible probabilité d'occurrence), sans provoquer la ruine



3. Comportement des sols et choix des fondations

i. Influence du site

Par plusieurs observations

La distribution des accélérations dans une région n'est pas uniforme

Accélérations mesurées sur le substratum rocheux (Bedrock) plus importantes sur les crêtes qu'en zone plate

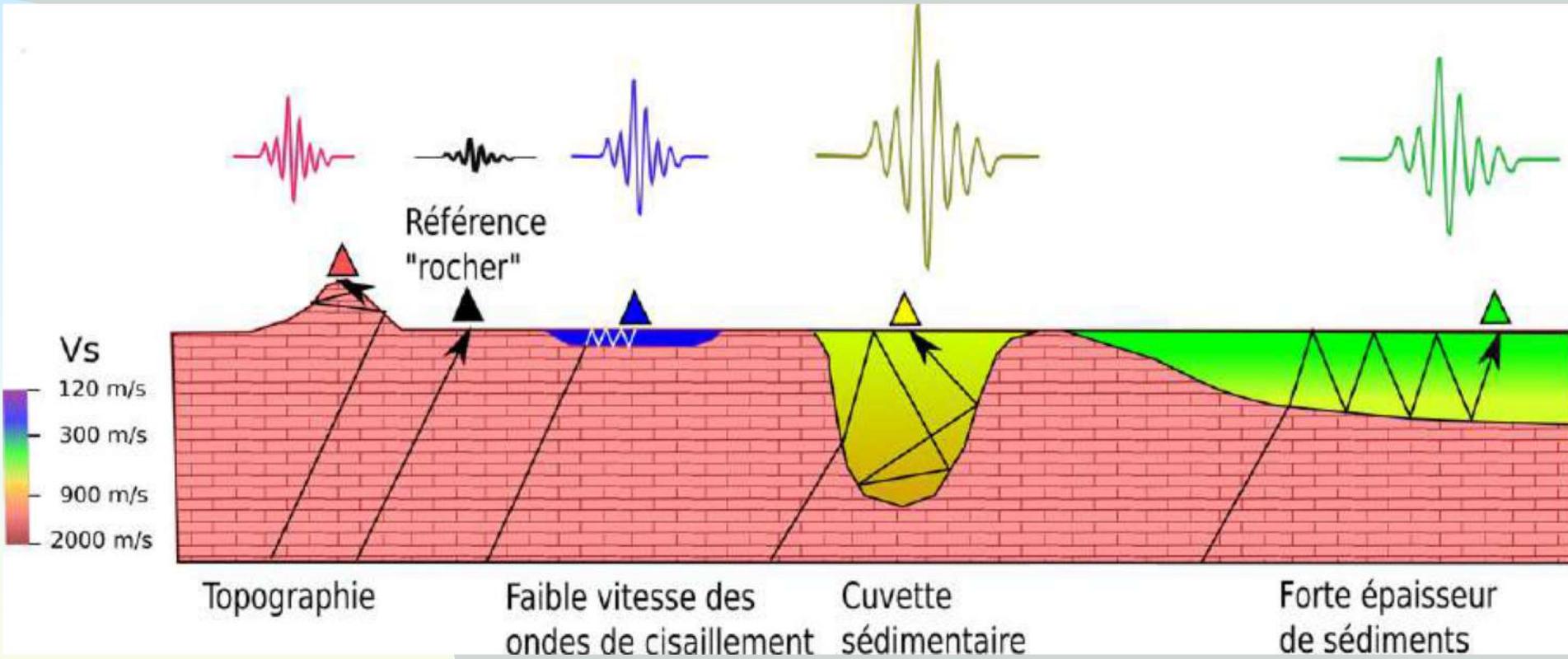
Plus importante à la frontière alluvion-substratum que dans le substratum lui-même.

Aussi ?

Pour un sol meuble, l'accélération est amplifiée du côté des grandes périodes et diminuée pour de faibles périodes

Conclusion

Choisir le bon site d'implantation



Modification de la propagation des ondes sismiques traversant différentes configurations géologiques locales

ii. Comportement des sols

Sables secs et sols peu compacts



Le passage d'une onde sismique peut provoquer des tassements par effet de vibration conduisant à l'instabilité de la structure

Sables fins saturés



Résistance au cisaillement d'un sol pulvérulent (cohésion nulle) saturé est (loi de Coulomb):

$$\tau = \sigma' \cdot \text{tg} \varphi = (\sigma - u) \text{tg} \varphi$$

Du au séisme, les grains solides ont tendance à se resserrer



« u » ↗



« σ' » → 0



« τ » → 0



Plus de contact entre les grains solides, le sol réagit comme un liquide.
Mouvements de grandes amplitudes

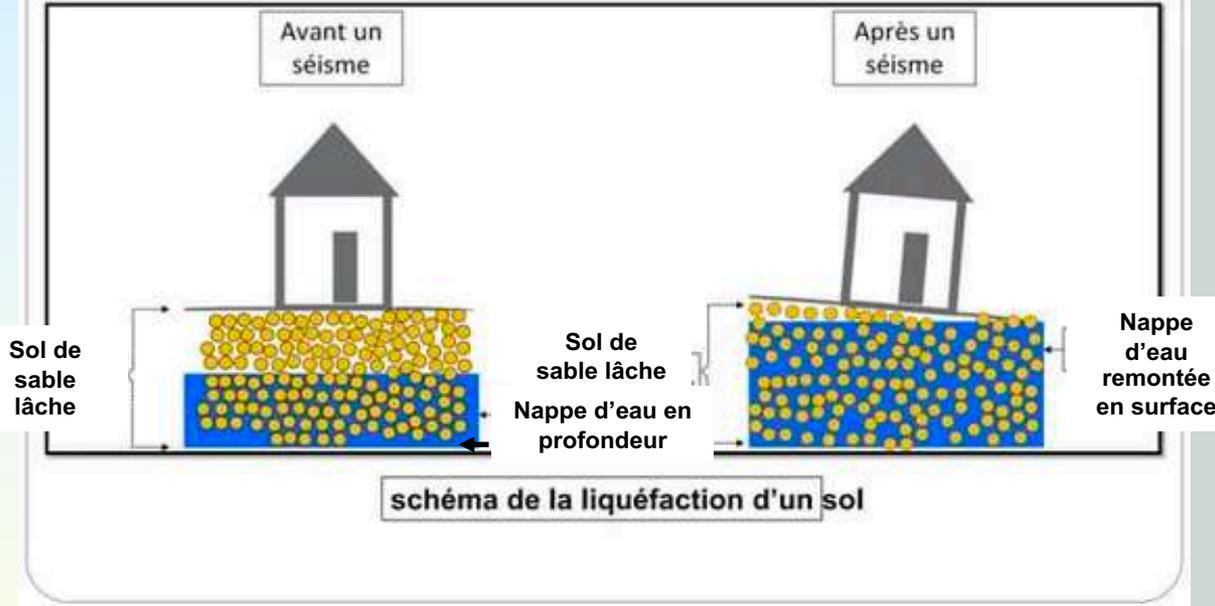


Déplacement (glissement) de plusieurs Km en site non horizontal

τ : Résistance au cisaillement
 φ : angle de frottement
 σ' : contrainte effective
 σ : contrainte totale
 u : pression interstitielle

LA DESCRIPTION DU PHÉNOMÈNE :

La liquéfaction est un phénomène dans lequel la résistance et la rigidité d'un sol sont réduites par les secousses sismiques ou d'autres chargements rapides. La liquéfaction et les phénomènes connexes ont été responsables d'énormes dégâts lors de tremblements de terre historiques dans le monde entier.



Un système de drain peut améliorer la sécurité. Il dissipe l'augmentation de la pression interstitielle et diminue la liquéfaction

Les injections améliorent la cohésion du sol et donnent une meilleure stabilité au sol

Essai de **stabilité d'un sol au phénomène de liquéfaction** : Essais (labo) de fatigue sur éprouvette **simplement cisailée** soumise ou au **triaxial** et par des mesures de **résistance à la pénétration** (Essai SPT)

iii. Conception des fondations

Eviter surtout les tassements dus au séisme ?

On a intérêt à fonder profondément et à rechercher le bon sol.

Cas des fondations superficielles et semi-enterrées, il convient



- ✓ D'assurer un bon ancrage dans le sol et de réaliser des chainages convenables entre les fondations afin de réduire le mouvement du sol.
- ✓ De fonder sur des massifs homogènes
- ✓ S'il y a discontinuité, il faut asseoir les fondations d'un même côté de cette discontinuité.
- ✓ D'adopter le même mode de fondation sous un même ouvrage.
- ✓ D'éviter les sols instables et susceptibles de grandes déformations.

Cas des fondations profondes



- ✓ Il n'y a pas d'approche raisonnable pour évaluer l'interaction latérale sols-pieux en régime dynamique

4. Choix des matériaux

Recherche à dissiper l'énergie
communiquée par le séisme



On a intérêt à avoir certains dispositifs constructifs et aussi utiliser des matériaux capables de grandes déformations avant de se rompre afin de dissiper le maximum d'énergie



Exemple : constructions en maçonnerie (faible ductilité) les plus exposées à l'effondrement grave

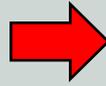
Qualités
souhaitées
du matériau ?



- ✓ Ductilité
- ✓ Rapport résistance/masse élevé
- ✓ Homogénéité
- ✓ Aptitude à des connexions correctes.

5. Choix des structures

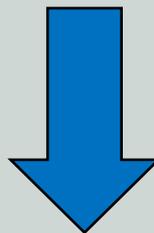
Choix de type de structure



La base de la protection parasismique

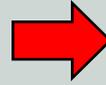
Une structure bien conçue et calculée de manière approchée est capable d'un meilleur comportement vis-à-vis de l'action sismique qu'une structure mal conçue et pour laquelle des calculs très précis ont été effectués.

Quelques principes de conception des structures en zone sismique



i. L'action sismique et la torsion des structures

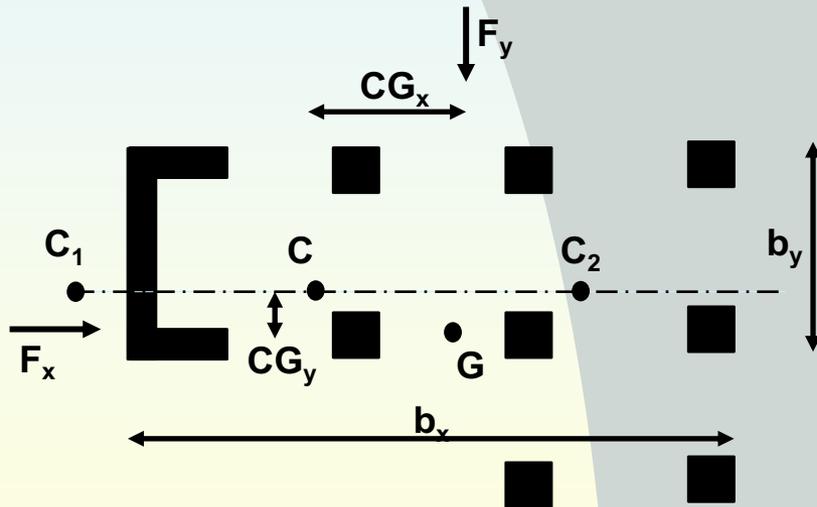
Action horizontale du séisme



La torsion mérite une attention particulière.

(La flexion et le cisaillement sont évidents)

Action sismique = forces d'inertie (centre de masse) en présence d'accélération



C_1 : centre de torsion du mur
 C_2 : centre de torsion des colonnes
 C : centre de torsion du bâtiment
 G : centre de masse.

En plan
 $C \neq G$

$$M_t = F_y \cdot CG_x$$

En hauteur
 G_i différent
 C_i différent
Et $C \neq G$

Torsion même à cause du décalage avec ou entre les niveaux supérieurs

ii. Principes généraux de conception des structures parasismiques

**12
principes**

Principe 1 : La simplicité

**La simplicité de l'ensemble concourt à la simplicité des détails.
Simplicité = facilité et maîtrise**

Principe 2 : La continuité

Eviter les singularités structurales et discontinuités = Pb de concentration de contraintes et déformations

Discontinuité : favorise le mécanisme de ruine local alors que le maximum de ductilité est atteint pour les mécanismes globaux.

Discontinuité : complexité dans les calculs.

Principe 2 : La continuité

Problème sur le dessin des détails et la surveillance du chantier

**Dessin des
détails ?**



- ✓ Eviter les affaiblissements de section (âmes évidées)
- ✓ Réaliser des poutres et colonnes d'axes concourants
- ✓ Eviter les changements brutaux de directions des éléments porteurs
- ✓ Eviter les changements brutaux de largeurs des éléments porteurs, les largeurs des poutres et des colonnes doivent donc être peu différentes.
- ✓ Soigner la conception des assemblages des éléments préfabriqués.
- ✓ Positionner les joints de montage (acier) ou les reprises (béton armé) loin des zones fortement sollicitées.

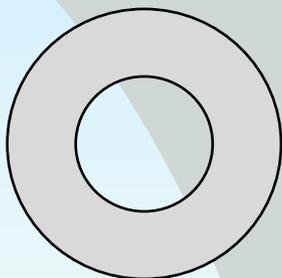
**Surveillance
du chantier ?**



- ✓ Positionnement des éléments préfabriqués en béton et le bétonnage de leurs joints d'assemblage
- ✓ Mise en place correcte des armatures dans les constructions en béton armé
- ✓ Exécution soignée des reprises avec nettoyage des faces de reprise en béton armé
- ✓ Qualité des matériaux mis en œuvre

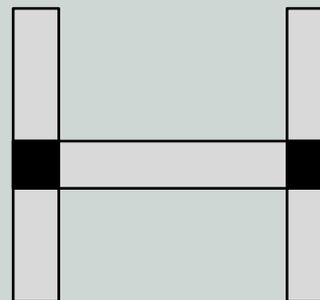
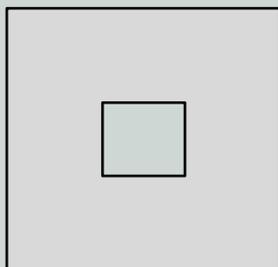
Principe 3 : La symétrie

Symétrie type axisymétrie (autour d'un axe) meilleure que la symétrie suivant 01 ou 02 axes



Symétrie axiale

Bon

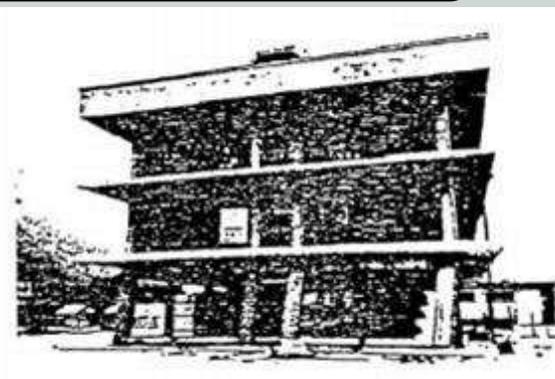
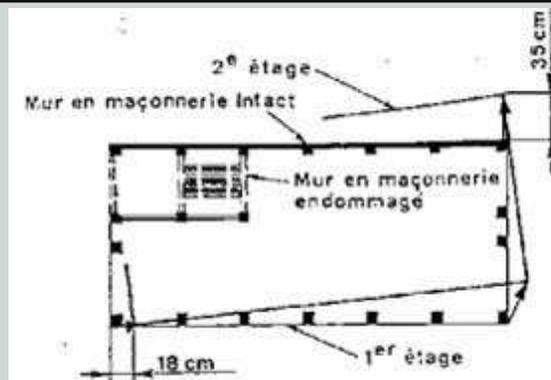


Double symétrie

Mauvais

Concentration des contraintes aux jonctions

Prévoir aussi symétrie dans la distribution en plan des éléments reprenant la torsion d'ensemble.



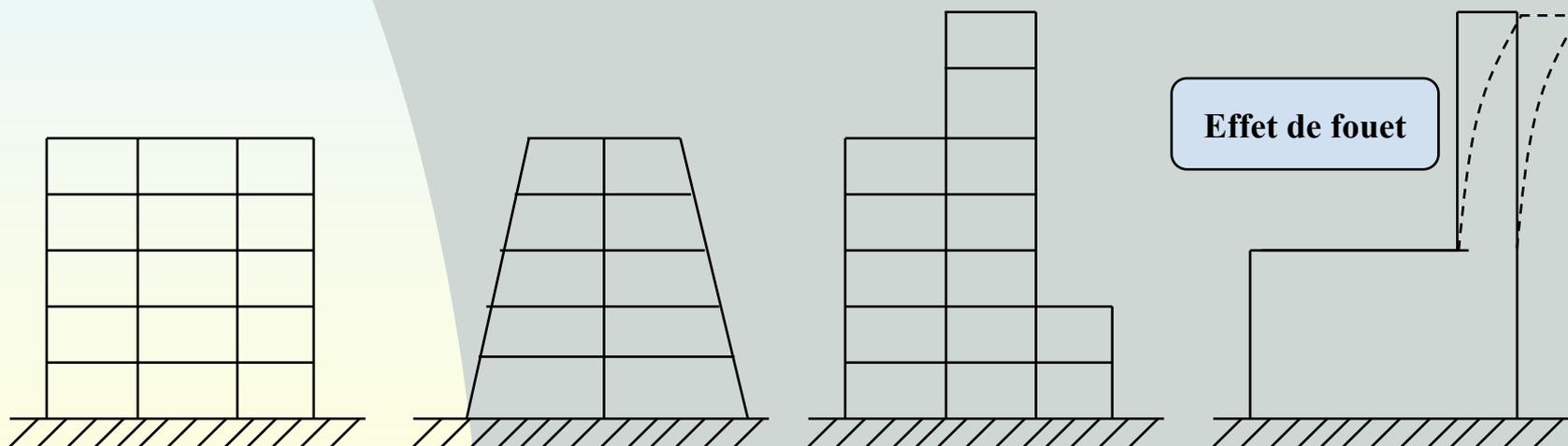
Torsion gauchie de la structure

Principe 4 : La régularité en élévation

Permet de respecter le principe de simplicité dans la vue en plan.

Eviter les variations brusques ou discontinuité dans la distribution des inerties et des raideurs pour éviter les concentrations de contraintes

Privilégier les variations progressives de la rigidité



Bon

Mauvais

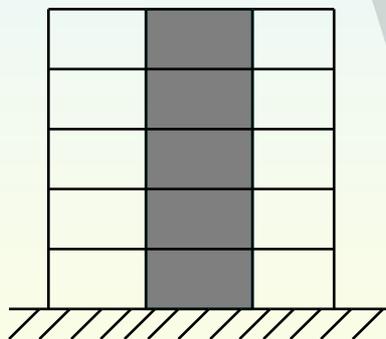
Principe 4 : La régularité en élévation

Assurer la continuité, des fondations jusqu'au toit de l'immeuble, des colonnes et des murs, même des murs de remplissage réputés non structuraux.

Non respect

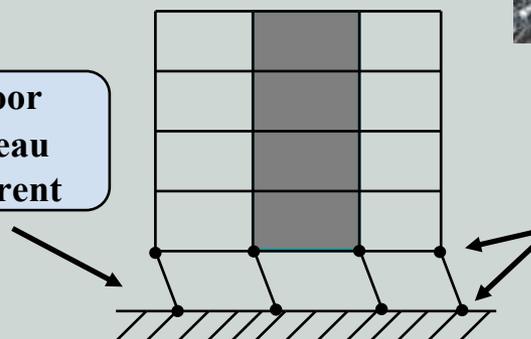


Soft floor (étage mou »



Régularité en élévation

Soft floor
Ou niveau transparent



RDC flexible

RDC: Commerces, bureaux, réception d'hôtels, parking...

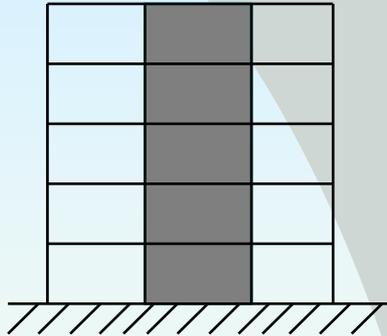
Rotules plastiques

Effondrement du soft floor

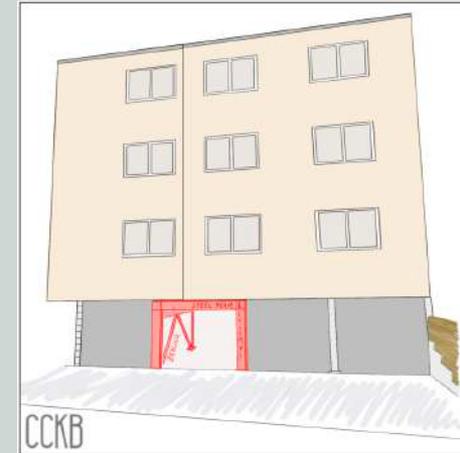
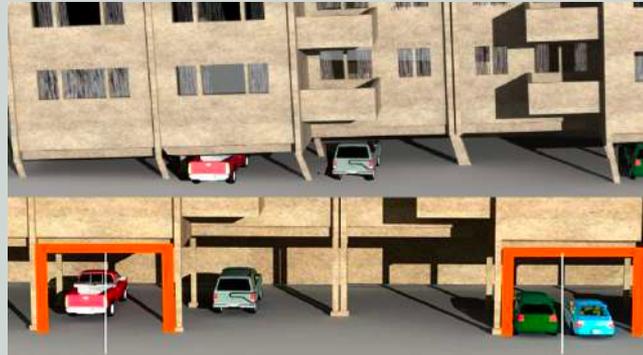
Effondrement du bâtiment

Principe 4 : La régularité en élévation

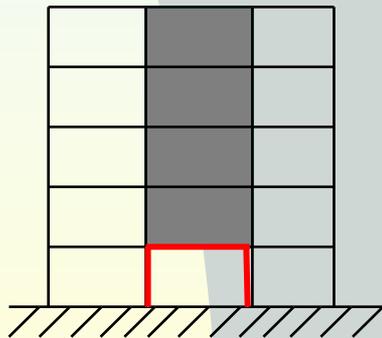
Quelques solutions ?



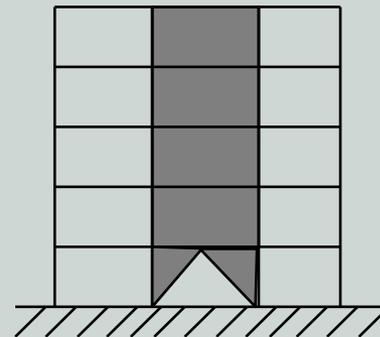
Rendre la structure régulière



Contreventement en façade ou en retrait



Séparer les éléments par ajout de joints (Horizontal et verticale)



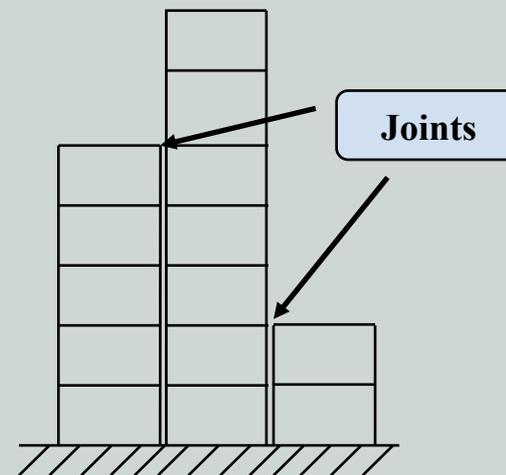
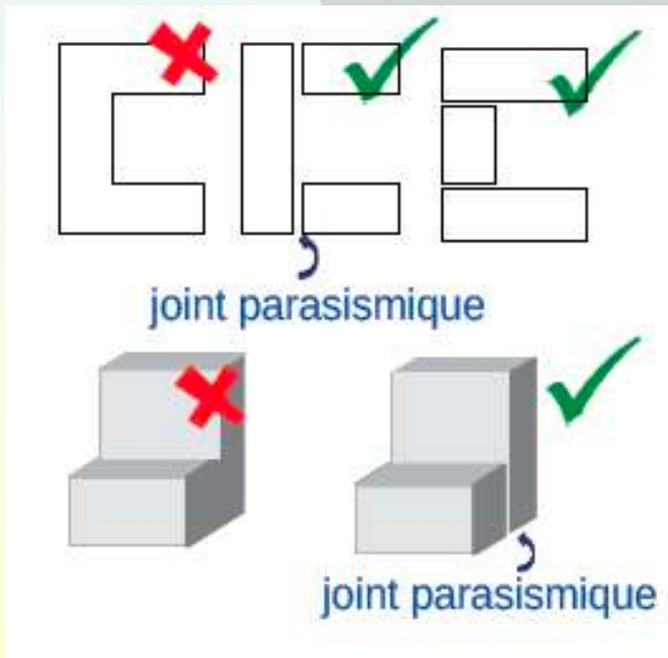
Variation progressive de la rigidité

Principe 5 : Le partitionnement en sous structures

Changer les « L » et « U » en blocs rectangulaires au moyen de joints verticaux.

Dimensions des joints suffisantes pour permettre des vibrations en opposition de phase des blocs .

Prévoir des passerelles souples entre les unités



Bon

Choix des structures *Principes généraux de conception des structures parasismiques*

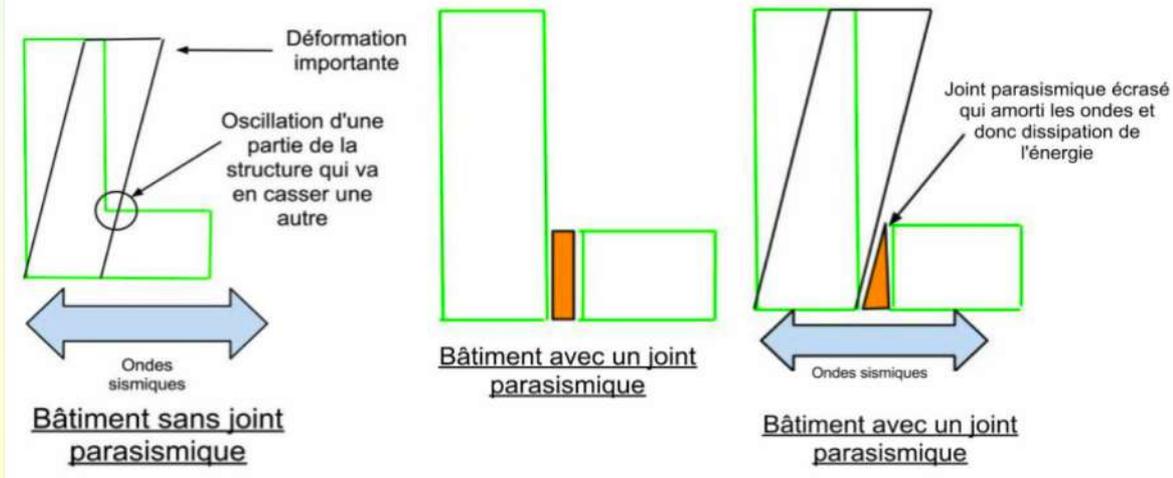
Principe 5 : Le partitionnement en sous structures



Joint parasismique entre deux bâtiments



Deux bâtiments qui se sont entrechoqués en l'absence de joints parasismiques



Principe 6 : La distribution rationnelle des actions de service

Eviter de concentrer les poids morts de service dans des zones où leur mise en mouvement entrainerait des sollicitations de flexion, ou de rotation importantes.

Les zones fortement chargées (salle d'archives, bibliothèques, équipements lourds,...) doivent être prévues au sous-sol ou RDC afin de minimiser la flexion

Aussi, le plus près du centre de torsion pour éviter au maximum la torsion

Réduire autant que possible les masses.

Principe 7 : Les rotules plastiques dans les poutres plutôt que dans les poteaux

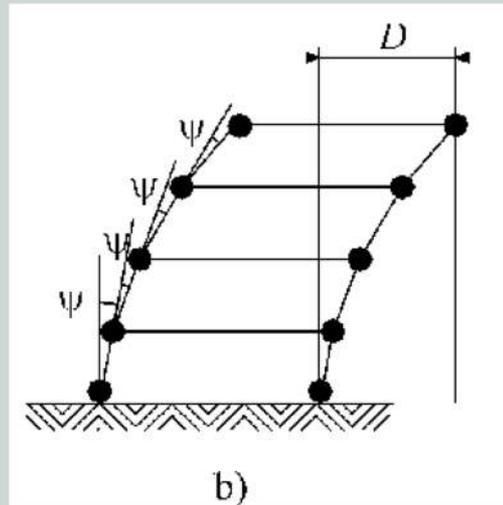
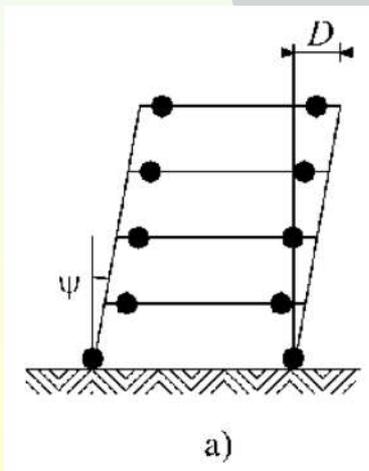
Poutres faibles – Poteaux forts.

Ça retarde l'effondrement de la structure par effet $P-\Delta$.

Les planchers et les poutres fortement endommagés ne s'effondrent pas individuellement alors que des colonnes dégradées entraînent un effondrement d'ensemble

Eviter les poutres voiles (de hauteurs importantes) continues sur colonnes légères.

Un parapet doit être interrompu (joint) à proximité des colonnes.



Moment plastique des poteaux $>$ celui des poutres.

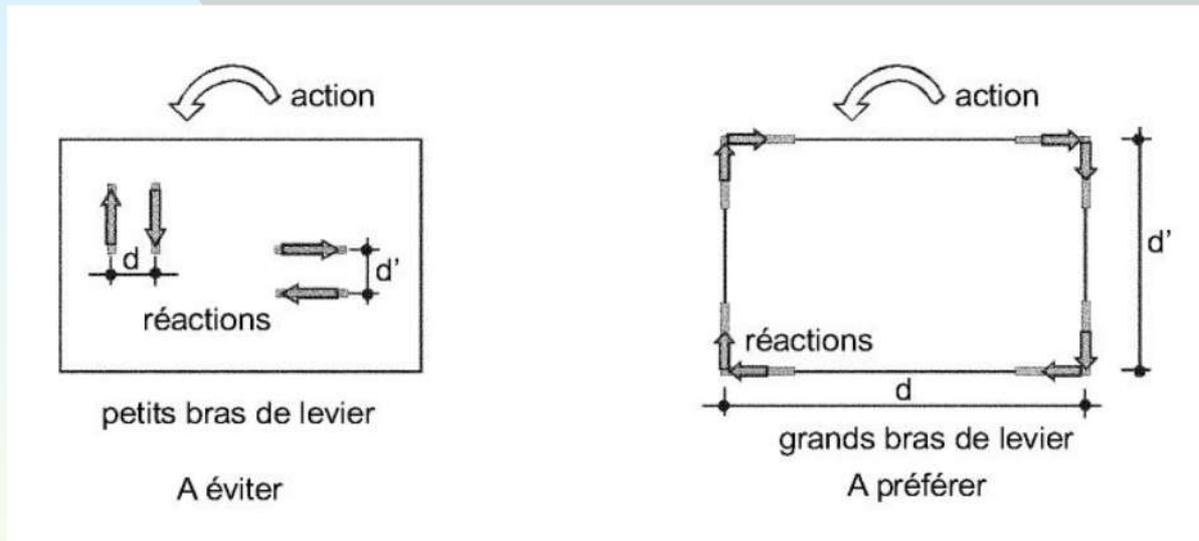
Principe 8 : La capacité de travail alterné

La capacité de la structure à absorber l'énergie communiquée par un séisme dépend essentiellement de la capacité des éléments de ses zones dissipatrices au travail alterné post-élastique

On peut utiliser des éléments de structure peu ductiles en dehors de ces zones dissipatrices, mais on doit s'assurer de la correspondance fidèle entre la structure réelle et son modèle mathématique.

Principe 9 : Raideur et résistance à la torsion

Il faut positionner les éléments susceptibles de donner à la structure sa rigidité torsionnelle, plus proche de la périphérie du bâtiment.

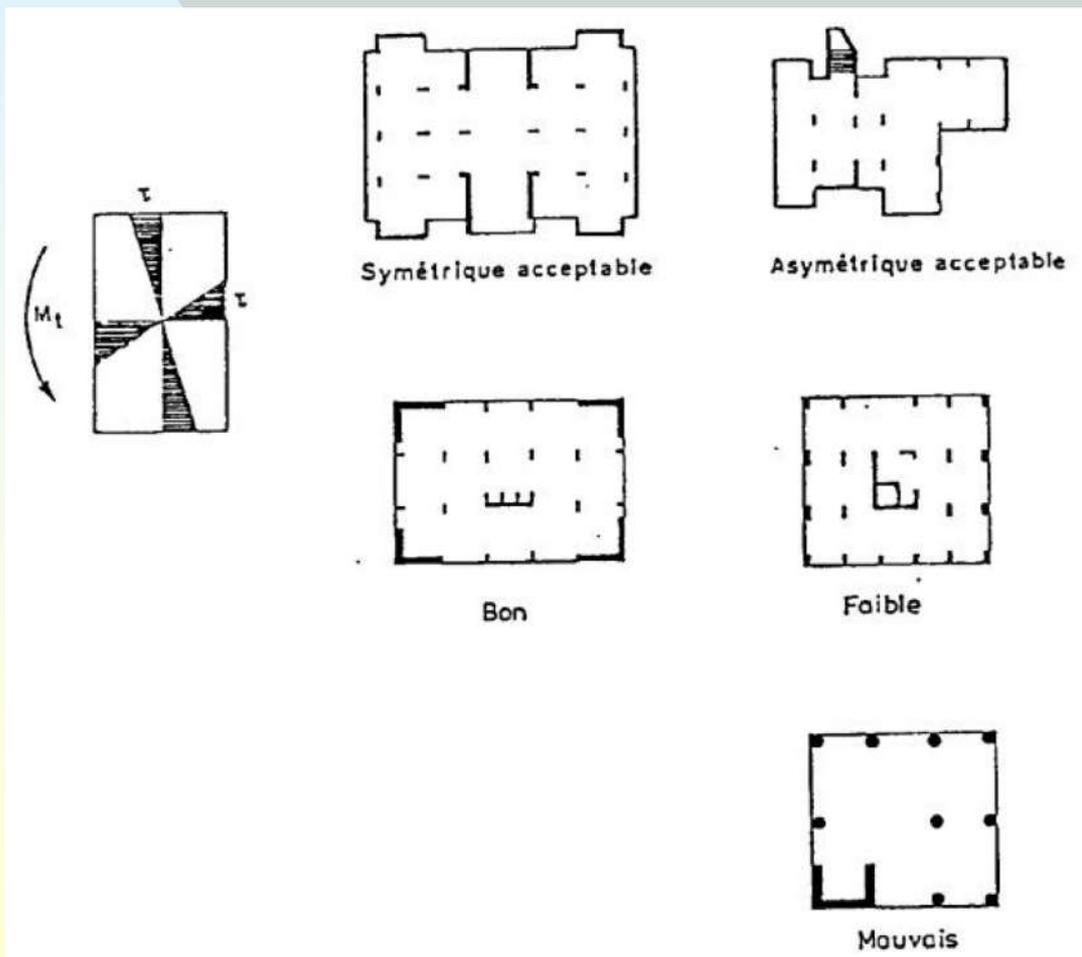


Une grande distance entre les éléments parallèles favorise la résistance à la torsion grâce à un bras de levier important dans le plan horizontal

La rigidité à la torsion est nécessaire pour limiter les mouvements du bâtiment et les sollicitations des éléments structuraux dus à la torsion.

Principe 9 : Raideur et résistance à la torsion

Le contreventement par le noyau central uniquement (cage d'escalier, ascenseur) offre peu de raideur torsionnelle et conduira à des sollicitations élevées des portiques périphériques

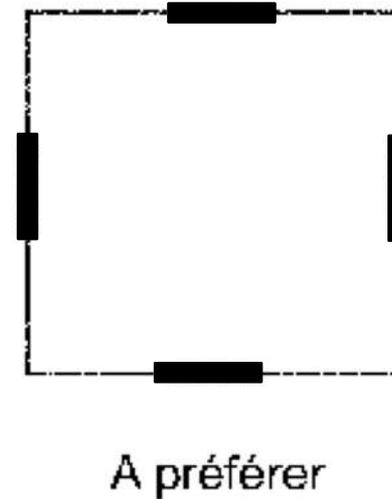
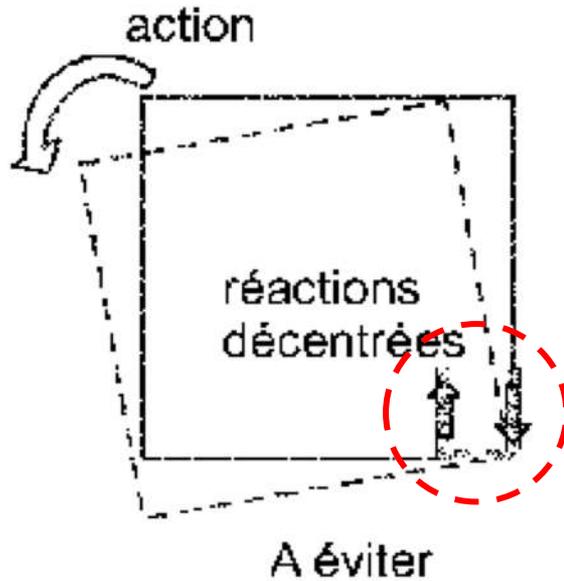


Il faut donc bien positionner les contreventements ?

Disposition des contreventements pour la reprise de la torsion

Principe 9 : Raideur et résistance à la torsion

Position décentralisée du contreventement favorise la torsion (en plus d'un bras de levier très faible)



Principe 10 : La nécessité de diaphragmes

Diaphragmes : structures horizontales qui reportent l'action horizontale résultant de la mise en mouvement des masses des planchers et leurs charges vers les structures verticales de contreventement.

Ils doivent être peu déformables pour une distribution efficace de l'action horizontale entre les différentes structures verticales.

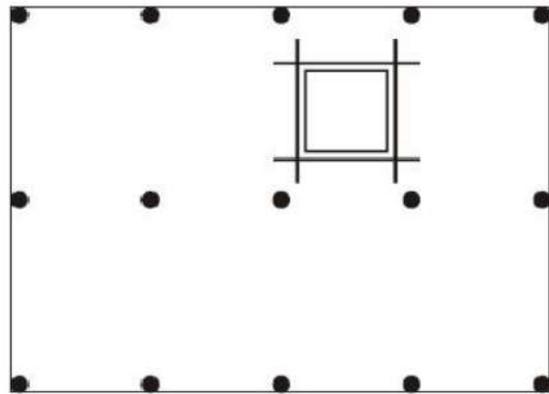
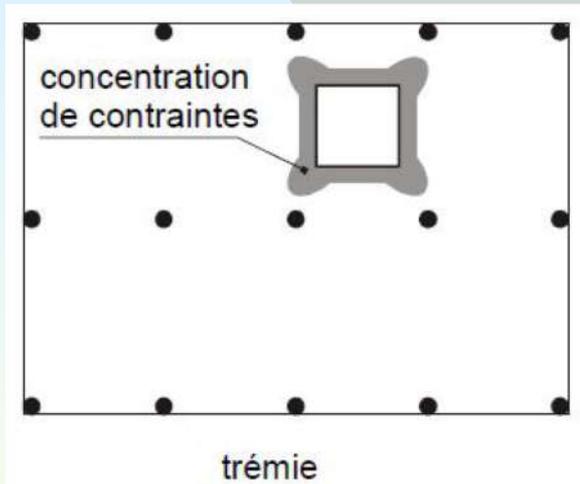
Il est souhaitable que le nombre de contreventements verticaux soit supérieur au minimum nécessaire à la stabilité de la structure.

Exemples ?

Planchers en béton armé, les planchers mixtes, les grillages de poutres contreventées, les treillis spatiaux et les portiques horizontaux

Principe 10 : La nécessité de diaphragmes

Rigidité des diaphragmes dépend de ?



armatures de renforcement en périphérie de la trémie

- ✓ **Leur forme** : les diaphragmes longs et étroits sont flexibles. Les diaphragmes présentant des angles rentrants peuvent subir des concentrations de contraintes conduisant à la ruine
- ✓ **Des rigidités respectives du diaphragme et du contreventement**. Si la rigidité du contreventement vertical est importante (voile ou mur en maçonnerie), il faut limiter la flexibilité du diaphragme en optant pour des portées modérées.
- ✓ **Leur matériau** : un plancher en solives en bois est un diaphragme rigide pour la structure en bois mais flexible pour la structure en maçonnerie.
- ✓ L'efficacité de **la solidarité** de leurs éléments constituants.
- ✓ **L'importance des ouvertures** (trémies) qui devrait être minimisée (problème de concentration de contraintes). Les ouvertures doivent être les plus petites possibles et leur contour renforcé.

Principe 11 : Une raideur adaptée au site

Réduire le risque de résonance:

Concevoir des structures de fréquence propre différente de l'éventuelle fréquence prépondérante du site

Exemple:

les zones alluvionnaires amplifient les basses fréquences et filtrent les hautes fréquences.



Principe 12 : Une bonne correspondance entre la structure réelle et le modèle

En prenant les bonnes hypothèses, le modèle doit refléter le plus fidèlement que possible le comportement réel de la structure.

En conception parasismique, la rupture doit être orientée vers les zones dissipatrices pour des raisons de ductilité. Or on sous estime souvent les limites de résistance des matériaux ? La rupture peut se faire dans une zone non dissipatrice (Danger).

Il faut une bonne modélisation du comportement des matériaux.

Il faut aussi vérifier les caractéristiques des matériaux livrés et celles utilisées dans les calculs.

Merci. Fin du chapitre 16

Dynamique des structures

Abdellatif MEGNOUNIF

Prochain Cours

Chap. 17

**Règles Parasismiques
Algériennes (RPA 99 Version 2003)**