

Chapitre 3 : Caractéristiques des bâtiments résistant aux séismes

Principe 1 – Simplicité de la structure

Le comportement d'une structure simple est plus facile à comprendre et à calculer, le risque d'omettre un phénomène particulier, comme une interaction entre parties de raideur différentes ou un cumul d'effets différents entre ces parties est faible.

La simplicité d'ensemble concourt à la simplicité des détails.

Principe 2 - Continuité.

Toute discontinuité dans le dessin d'une structure conduit à une concentration de contraintes et de déformations. Une structure discontinue est toujours mauvaise, car le mécanisme de ruine qu'elle fait intervenir est local. Or la dissipation d'énergie dans la structure devrait être maximale, ce qui est obtenu en faisant intervenir le maximum d'éléments, de manière à constituer un mécanisme de ruine global et non local. Le comportement non homogène d'une structure présentant des discontinuités majeures est toujours source de problème, car il rend délicat le calcul de la structure, dans son ensemble, et difficile le dessin correct des nœuds cruciaux où doivent se produire les grandes déformations.

Le principe de continuité a un impact sur le dessin d'ensemble des structures, et se traduit aussi dans les détails de structure et dans la surveillance de chantier.

Dans les détails de la structure, il faut :

- éviter les affaiblissements de section (âmes évidées)
- réaliser des poutres et colonnes d'axes concourants ;
- éviter les changements brutaux de directions des éléments porteurs
- éviter les changements brutaux de largeurs des éléments porteurs; d'où il découle que les largeurs des poutres et colonnes concourantes doivent être peu différentes
- soigner la conception des assemblages des éléments préfabriqués
- positionner les joints de montage (acier, système industrialisés en béton) ou les reprises (béton armé) en dehors des zones fortement contraintes.

Surveillance du chantier :

Il s'agit d'un aspect particulièrement important pour garantir la qualité réelle du travail effectué, en particulier :

- le positionnement des éléments préfabriqués en béton
- le bétonnage de leurs joints d'assemblage
- la mise en place correcte des armatures, l'exécution soignée des reprises, en béton armé ;
- la qualité des matériaux mis en œuvre.

Enfin, même si l'hyperstaticité élevée n'est pas toujours possible, il convient en tout cas d'éviter l'absence de toute liaison positive. Ainsi, des éléments simplement posés ne sont tenus en place que par le frottement et une fois celui-ci vaincu, des déplacements majeurs peuvent se produire. On peut résoudre ce problème par des liaisons souples ou des butées, qui entrent en action seulement en cas de séisme.

Principe 3 Régularité en plan :

a1. Le bâtiment doit présenter une configuration sensiblement symétrique vis à vis de deux directions orthogonales aussi bien pour la distribution des rigidités que pour celle des masses (RPA99/modif.2003).

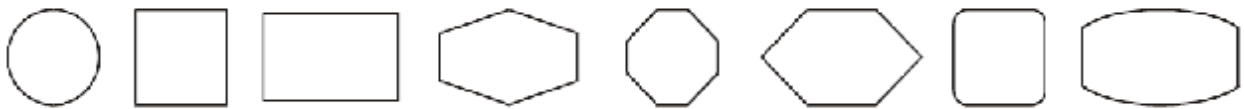


Figure 1. Formes favorables : plans simples à 2 axes de symétrie

a2. A chaque niveau et pour chaque direction de calcul, la distance entre le centre de gravité des masses et le centre des rigidités ne dépasse pas 15% de la dimension du bâtiment mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée (RPA99/modif.2003).

a3. La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal 4 (RPA99/modif.2003).

La somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans une direction donnée ne doit pas excéder 25% de la dimension totale du bâtiment dans cette direction. (Fig. 1) (RPA99/modif.2003).

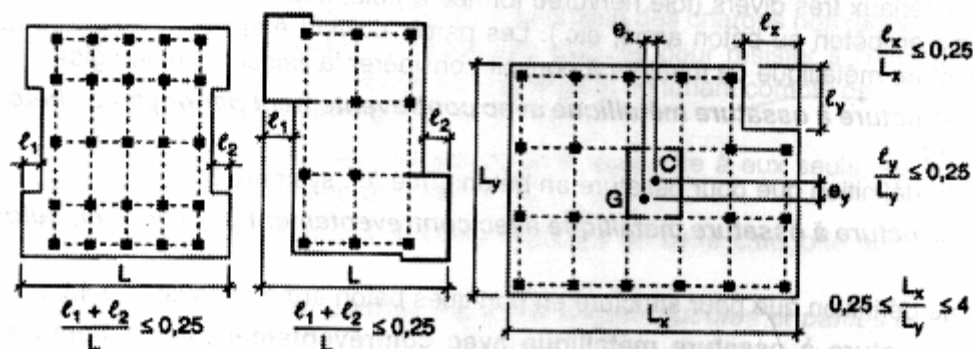


Fig. 2 : Limites des décrochements en plan

a4. Les planchers doivent présenter une rigidité suffisante vis à vis de celle des contreventements verticaux pour être considérés comme indéformables dans leur plan (RPA99/modif.2003).

Dans ce cadre la surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15% de celle de ce dernier.

Principe 4 : Régularité en élévation

b1. Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu, dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation (RPA99/modif.2003).

b2. Aussi bien la raideur que la masse des différents niveaux restent constants ou diminuent progressivement et sans changement brusque de la base au sommet du bâtiment (RPA99/modif.2003).

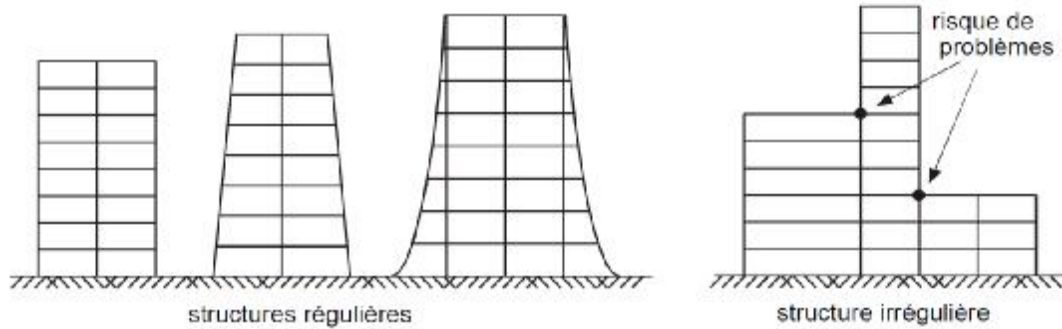


Fig. 3 Régularité en élévation

b3. Le rapport masse sur rigidité de deux niveaux successifs ne doit pas varier de plus de 25% dans chaque direction de calcul.

b4. Dans le cas de décrochements en élévation, la variation des dimensions en plan du bâtiment entre deux niveaux successifs ne dépasse pas 20% dans les deux directions de calcul et ne s'effectue que dans le sens d'une diminution avec la hauteur. La plus grande dimension latérale du bâtiment n'excède pas 1,5 fois sa plus petite dimension (RPA99/modif.2003).

Toutefois, au dernier niveau, les éléments d'ouvrage, tels que buanderies, salle de machines d'ascenseurs etc. pourront ne pas respecter les règles b3 et b4 et être calculés conformément aux prescriptions relatives aux éléments secondaires

D'une manière générale, se reporter aux schémas illustratifs ci-après (fig. 3) .

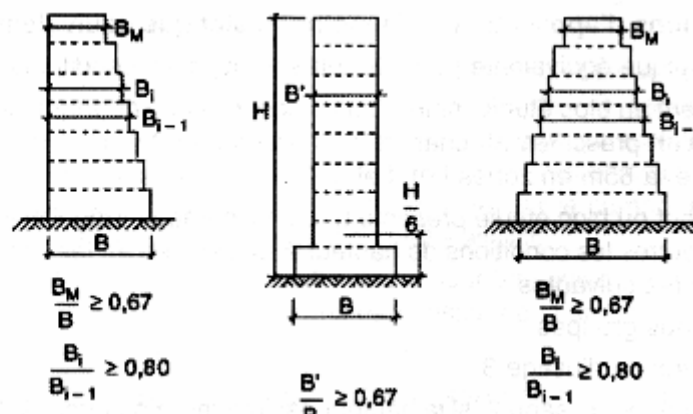


Fig. 4 : Limites des décrochements en élévation

Principe 5 : Eviter l'étage souple :

L'effondrement d'un bâtiment soumis à un tremblement de terre est souvent imputable au fait que si les étages supérieurs sont bien contreventés (parois ou autres), le rez-de-chaussée ne comprend que des colonnes porteuses en raison de l'usage : commerces, bureaux, réception dans les hôtels, parkings. Il en résulte un niveau « mou » («soft storey»), flexible dans le plan horizontal. Or les colonnes sont souvent incapables de suivre sans dégâts les déplacements relatifs entre le sol qui oscille et la partie supérieure du bâtiment qui tend à rester sur place. Les déformations plastiques, dites «rotules plastiques», qui apparaissent aux extrémités des colonnes déclenchent un mécanisme redouté dit «de colonnes» (ou «d'étage»), caractérisé par une concentration des déformations plastiques aux extrémités des colonnes. Il en résulte un comportement instable et l'effondrement du bâtiment est souvent inévitable.

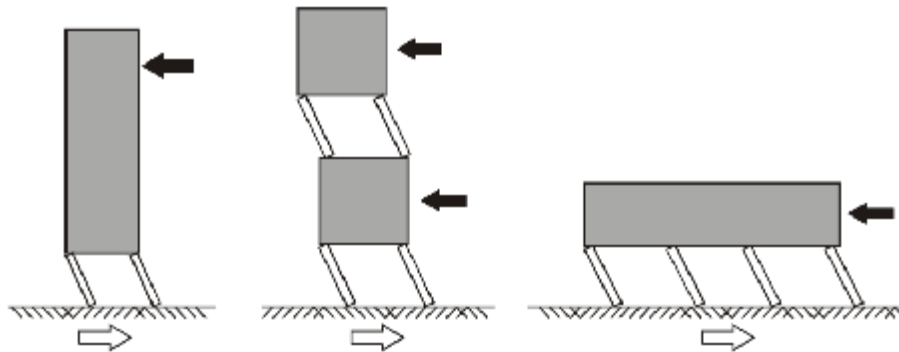


Fig.5 Bâtiments avec niveaux transparents « niveau souple »

Principe 6 - Raideur et résistance à la torsion

La distribution des contraintes dans un solide soumis à torsion est telle qu'il faut que les éléments susceptibles de donner la raideur/résistance torsionnelle à la structure soient portés le plus possible vers la **périphérie** du bâtiment pour atteindre leur effet maximal. Une résistance et une rigidité appropriées à la torsion sont nécessaires pour limiter les mouvements du bâtiment et les sollicitations des éléments structuraux dus à la torsion.

La disposition constructive, classique en zone non sismique, où un seul noyau central (cage d'escalier et ascenseur) constitue le seul contreventement, offre peu de raideur torsionnelle et peut conduire à des sollicitations élevées des portiques périphériques.

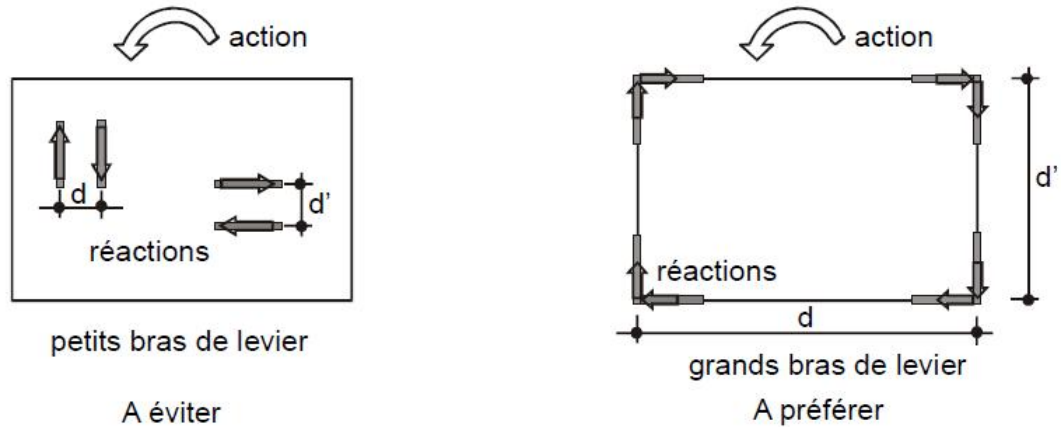


Fig. 6 Une grande distance entre les éléments parallèles favorise la résistance de la structure à la torsion grâce à un bras de levier important dans le plan horizontal.

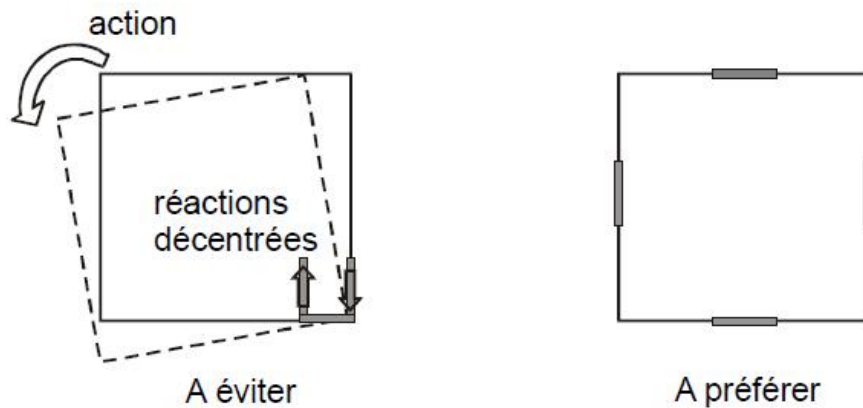


Fig. 7 Une position décentrée des éléments de contreventement est à l'origine d'une sollicitation du bâtiment en torsion (en plus d'un bras de levier très faible)

Principe 7. Diaphragmes efficaces

Les diaphragmes d'un bâtiment sont les structures horizontales qui reportent l'action horizontale, résultant de la mise en mouvement des masses des planchers et de leurs charges, vers les structures verticales de contreventement.

Les diaphragmes doivent être peu déformables dans leur plan, de manière à assurer une distribution efficace de l'action horizontale entre les différentes structures verticales. Idéalement, ils assurent à chaque niveau où ils sont présents une absence de déplacement horizontal relatif entre les structures verticales.

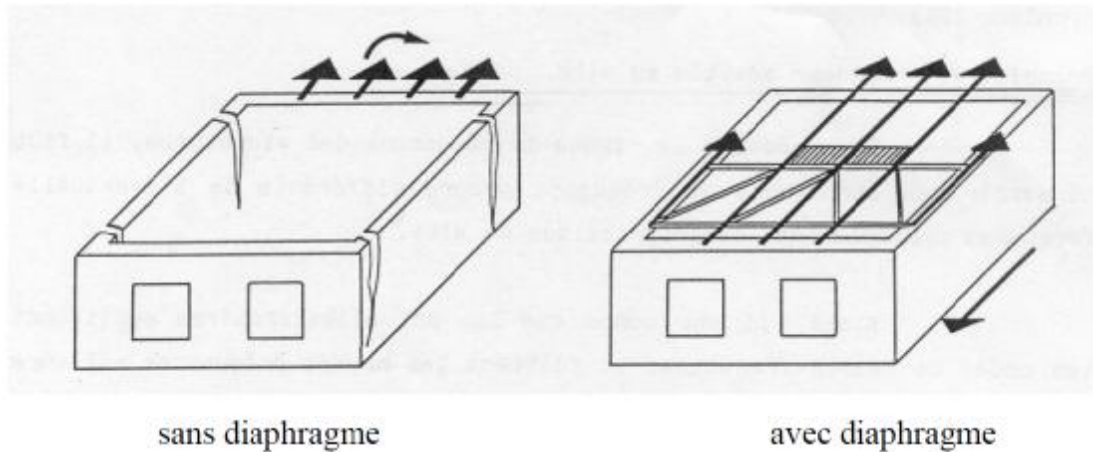


Fig. 8 Effet d'un séisme sur une construction en maçonnerie sans (à g.) et avec (à dr.).

Dans ce cas, l'action horizontale résultante à un niveau se répartit sur les contreventements verticaux proportionnellement à la raideur relative de ces derniers. Les éléments verticaux les plus rigides supportent ainsi les charges les plus importantes.

Lorsque la raideur d'un contreventement vertical diminue à cause de fissurations ou de sa ruine, les efforts qu'il ne peut plus reprendre sont automatiquement redistribués par le diaphragme horizontal sur les autres contreventements verticaux. Il est donc souhaitable que le nombre de contreventements verticaux soit supérieur au minimum nécessaire à la stabilité de la structure.

Principe 8. Créer les conditions d'un mécanisme plastique global

C'est le principe « poteaux forts – poutres faibles » pour la formation des rotules plastiques dans les poutres plutôt que dans les colonnes des ossatures en portique.

Dans les bâtiments dont l'ossature primaire est faite de portiques qu'on souhaite faire travailler dans le domaine plastique sous séisme de projet (projets DCM ou DCH), il est fondamental pour la sécurité de développer les déformations plastiques dans les poutres et non dans les poteaux.

Plusieurs raisons justifient cette option:

- c'est une condition nécessaire pour former un mécanisme plastique d'ossature de type global impliquant la formation de nombreuses rotules plastiques ; au contraire, la formation de zones plastiques dans les colonnes peut se limiter au seul niveau des premières rotules formées.
- l'effet $P - \delta$ est moins important dans ce cas. Fig.8.

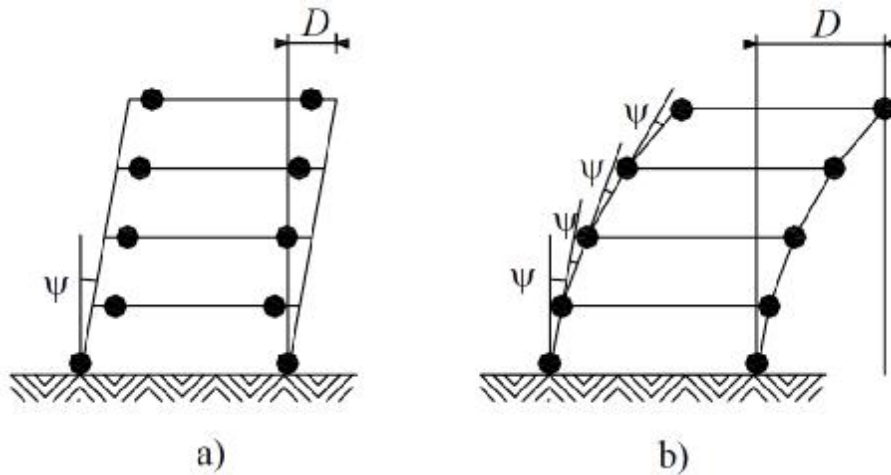


Fig.9 a) L'objectif de projet "poutres faibles – poteaux forts" b) Les rotules plastiques dans les poteaux entraînent des effets du second ordre plus importants.

- des planchers et des poutres même fort endommagés ne s'effondrent pas individuellement, ils restent suspendus par les armatures ou les parties restantes des assemblages, alors que les dégâts aux poteaux entraînent facilement un effondrement d'ensemble.
- la ductilité est plus facilement réalisable dans des éléments purement fléchis.

Principe 9. Largeur des contreventements.

Les forces horizontales équivalentes au séisme sont équilibrées en base de la structure par une résultante de cisaillement et un moment de flexion. Ce dernier entraîne :

- des tractions dans les poteaux ou voiles ;
- des compressions dans les poteaux ou voiles.

On peut réduire les contraintes correspondant à ces sollicitations dans la structure en élargissant le contreventement (voile en béton armé, ossature triangulée) : le bras de levier des efforts dans le plan vertical est augmenté, ce qui, à action constante, réduit les sollicitations (Fig.9).

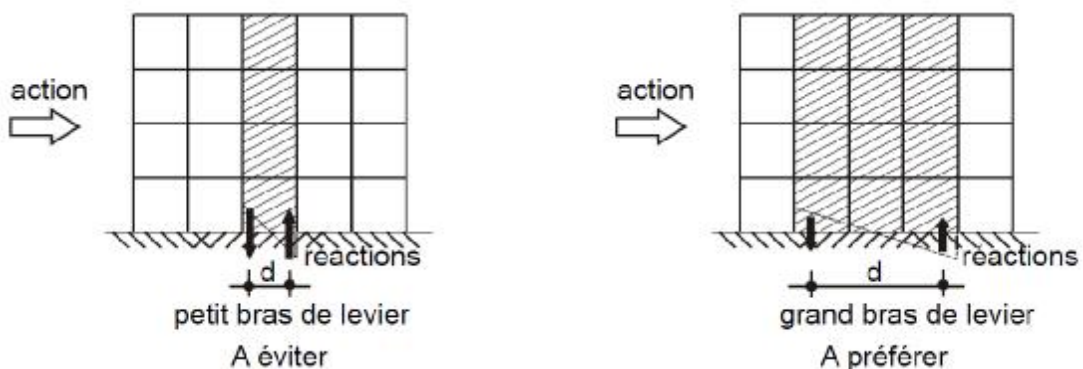


Fig. 10

On notera toutefois que ce principe est à nuancer par la considération du spectre de réponse e accélération :

- pour une structure dont la période T correspond à la branche descendante du spectre, l'augmentation de raideur résultant de l'augmentation de largeur des contreventements entraîne une augmentation de la résultante de cisaillement horizontal, de sorte qu'il n'y a pas nécessairement réduction des sollicitations

- pour une structure dont la période T correspond au palier du spectre, la résultante de cisaillement horizontal est indépendante de la raideur et la réduction de sollicitation est à coup sûr effective.

Principe 10. Largeur des fondations.

Les forces horizontales équivalentes au séisme sont équilibrées en base de la structure par une résultante de cisaillement et un moment de flexion. Ce dernier entraîne :

- des tractions à la fondation
- des compressions à la fondation
- un risque de soulèvement en base du côté traction

Comme pour les éléments de la structure de contreventement, on peut réduire les sollicitations à la fondation en réalisant un radier général raidi par des murs en béton armé plutôt que de multiples fondations sur semelles. Ce radier répartit les réactions sur la plus grande surface possible, ce qui réduit les contraintes appliquées au sol, en cas de fondation directe, ou les efforts dans les pieux (Fig.10). Ceci est vrai quel que soit le type de contreventement utilisé : ossature en portique, voiles ou triangulation. Cette option de réduction des contraintes à la fondation est intéressante, car :

- elle facilite le respect de la condition «contrainte calculée $\leq$ contrainte admise»
- des fondations fractionnées (semelles indépendantes) offrent plus de risque d'un comportement hétérogène et tassement différentiel, car les capacités portantes du sol sont souvent variables, même sur la largeur d'un bâtiment ;
- il y a toujours des incertitudes sur le niveau exact des sollicitations appliquées à la fondation, pour plusieurs raisons.

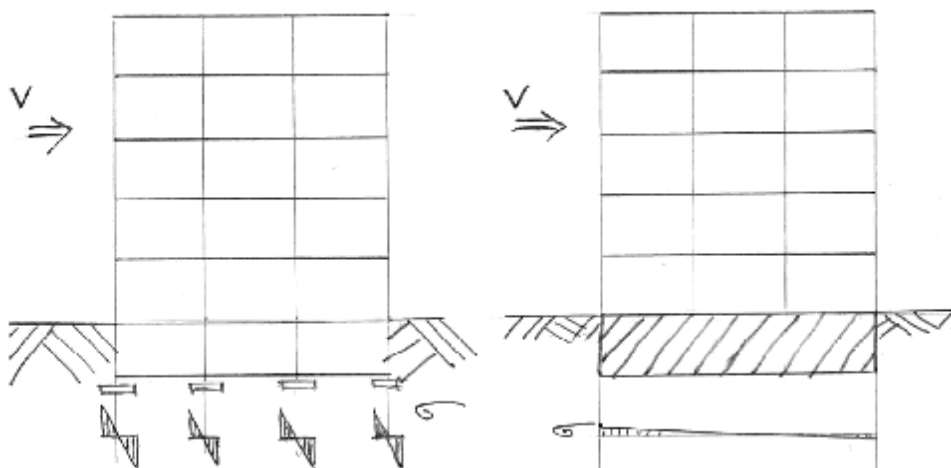


Fig.11 Un radier général raidi par les murs de sous-sol base réduit les contraintes à la fondation.