

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et de La Recherche
Scientifique

Université : **MOHAMED BOUDIAF M'SILA**

Faculté : **de Technologie**

Département : **Génie Civil**

Option : **structure**

Cours de Génie parasismique

Module : Génie parasismique

Option : Structure

Niveau : 2^{ème} Année Master

Présenté par: Dr MENASRI YUCEF

Objectifs de l'enseignement :

Fournir aux étudiants des connaissances en Génie parasismique afin que le futur cadre soit capable d'utiliser les méthodes usuelles de calculs parasismiques en prenant du recul sur le règlement en vigueur (RPA 2024 et Eurocode 8-1).

Chapitre 3 : Caractéristiques des bâtiments résistant aux séismes

1. Introduction

Ce chapitre présente une synthèse fondamentale de l'art de la conception parasismique des bâtiments, conformément aux exigences du RPA 2024. Il met en lumière les principes essentiels qui guident l'ingénieur dans la conception et la réalisation d'ouvrages capables de résister efficacement aux actions sismiques tout en garantissant la sécurité des occupants et la pérennité des structures.

La conception parasismique ne se limite pas à l'application mécanique de formules de calcul ; elle repose avant tout sur une philosophie de conception intégrée, combinant la compréhension du comportement dynamique des structures, le choix judicieux des systèmes résistants, et l'adoption de dispositions constructives appropriées.

Ainsi, ce chapitre expose les principes généraux à observer lors de la conception des bâtiments soumis à l'action des séismes. Ces principes concernent à la fois :

- la structure porteuse, dont la résistance et la ductilité doivent être assurées ;
- les éléments non porteurs, qui doivent être conçus de manière à ne pas compromettre la stabilité globale ni la sécurité des occupants en cas de tremblement de terre.

L'objectif fondamental de la conception parasismique est de garantir un comportement contrôlé de la structure sous l'effet des sollicitations sismiques, en évitant l'effondrement total tout en autorisant des dommages limités et réparables. Il s'agit donc d'un équilibre entre sécurité, économie et fonctionnalité, fondé sur la compréhension des mécanismes de dissipation d'énergie et des modes de défaillance acceptables.

En somme, l'art de la conception parasismique repose sur trois piliers essentiels :

1. **Une conception rationnelle** basée sur la régularité et la symétrie des structures.
2. **Une résistance adaptée** par le choix de systèmes de contreventement efficaces et ductiles.
3. **Des dispositions constructives appropriées**, assurant la continuité, la cohésion et la stabilité de l'ensemble.

2. Simplicité de la structure

La simplicité de la structure constitue l'un des principes fondamentaux de la conception parasismique. Une structure simple, régulière et bien proportionnée réagit de manière plus prévisible aux sollicitations sismiques et présente un comportement global plus sûr et plus efficace.

Une structure est dite simple lorsqu'elle possède une forme géométrique claire, une répartition uniforme des masses et des rigidités, ainsi qu'un chemin de transmission des efforts bien défini depuis les points d'application des forces jusqu'aux fondations. Cette simplicité permet d'éviter les concentrations locales d'efforts et de réduire les effets de torsion ou de déformation non désirés.

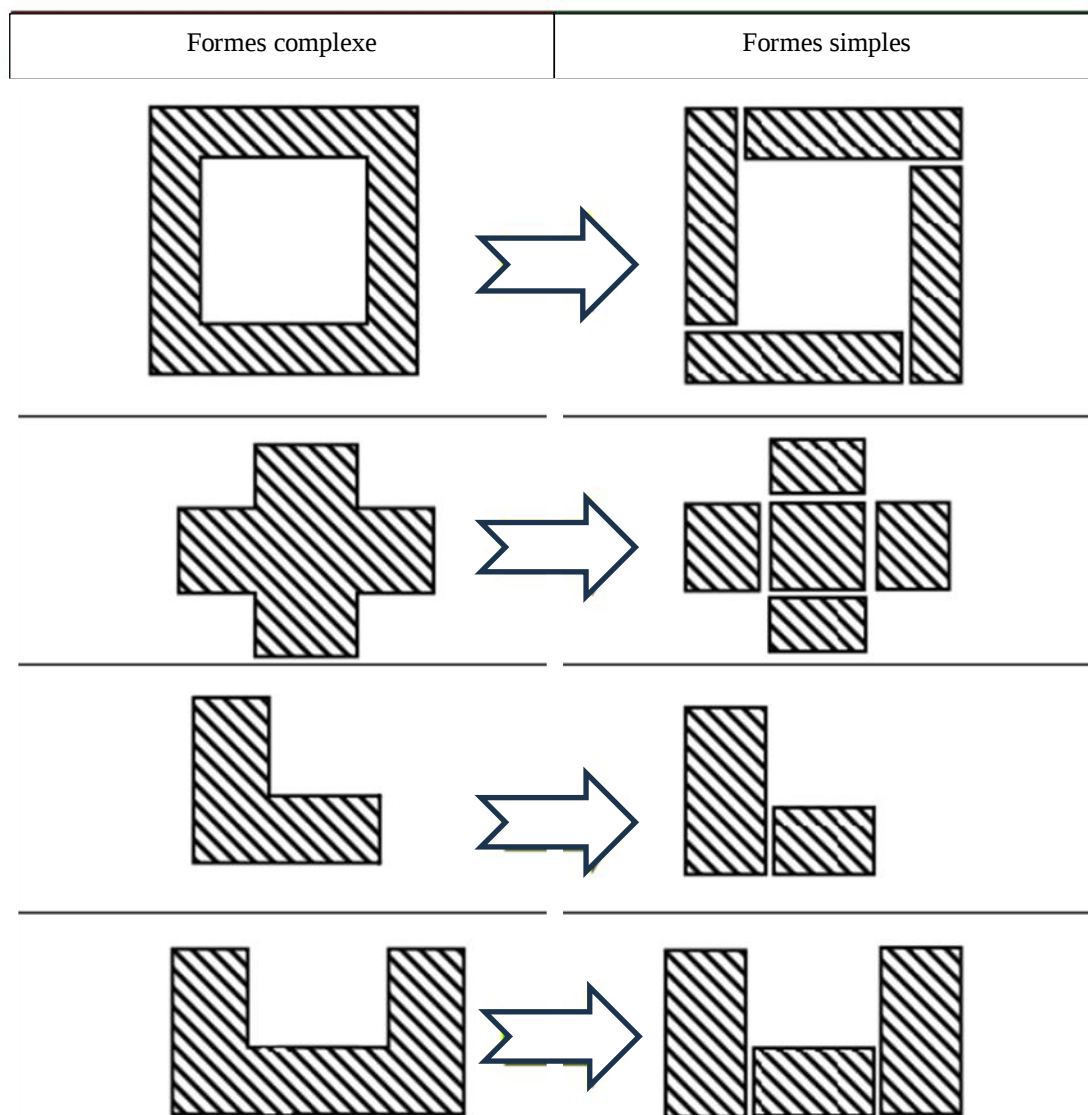


Figure 3.1 : Le comportement sismique est amélioré si une forme complexe est fragmentée en formes plus compactes par l'introduction de joints parasismiques.

Le RPA 2024 insiste particulièrement sur la recherche de **régularité en plan et en élévation**. Une structure régulière, sans décrochements importants ni variations brutales de rigidité ou de masse, se comporte de manière plus homogène et développe une résistance plus uniforme face aux mouvements sismiques. À l'inverse, une structure complexe — comportant des irrégularités, des porte-à-faux importants ou des changements soudains de rigidité — tend à présenter des **concentrations d'efforts** et des **mouvements différentiels** susceptibles d'engendrer des dommages localisés ou une rupture prématurée.

Ainsi, la simplicité n'est pas seulement une question d'esthétique ou de facilité de construction, mais une **condition essentielle de la sécurité sismique**. Elle facilite la conception, le calcul, la mise en œuvre, et surtout le **contrôle du comportement global de la structure** lors d'un séisme.

En résumé, une structure simple est :

- **Régulière** en plan et en élévation ;
- **Symétrique** autant que possible ;
- **Continue** dans la transmission des efforts ;

La simplicité structurelle représente donc la première étape vers une conception parasismique réussie, garantissant à la fois **efficacité, robustesse et fiabilité** du comportement sismique.

3. 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

4. Résistance et rigidité dans les deux directions – Effet de la torsion

Pour assurer un comportement sismique satisfaisant, une structure doit posséder une **résistance** et une **rigidité suffisantes dans les deux directions principales horizontales**. Cette exigence découle du caractère tridimensionnel du mouvement sismique, qui provoque des sollicitations simultanées suivant plusieurs axes.

Une structure bien conçue doit être capable de **résister aux efforts horizontaux** engendrés par le séisme **quelle que soit leur direction**. Ainsi, le système de contreventement doit être disposé de manière à offrir :

- une **résistance équivalente** dans les deux directions principales (X et Y) ;
- une **rigidité équilibrée**, évitant les déformations excessives ou asymétriques.

Cette condition permet d'assurer un comportement global stable, limitant les déplacements latéraux et la déformation des étages. Une structure présentant une rigidité ou une résistance très différente entre les deux directions est vulnérable : elle tend à se déformer davantage dans la direction la plus souple, ce qui peut entraîner des **dommages localisés**, voire un **effondrement partiel**.

5. Critères de régularité de la structure

La régularité de la structure est un principe fondamental de la conception parasismique. Une structure est dite *régulière* lorsqu'elle présente une répartition harmonieuse des masses, des rigidités et des résistances, de sorte que son comportement dynamique reste prévisible et uniforme sous l'action du séisme.

Le RPA 2024 impose des critères précis pour évaluer la régularité des bâtiments, tant en plan qu'en élévation, car une structure irrégulière peut engendrer des concentrations

d'efforts, des déformations localisées et des mouvements de torsion susceptibles de provoquer des dommages importants.

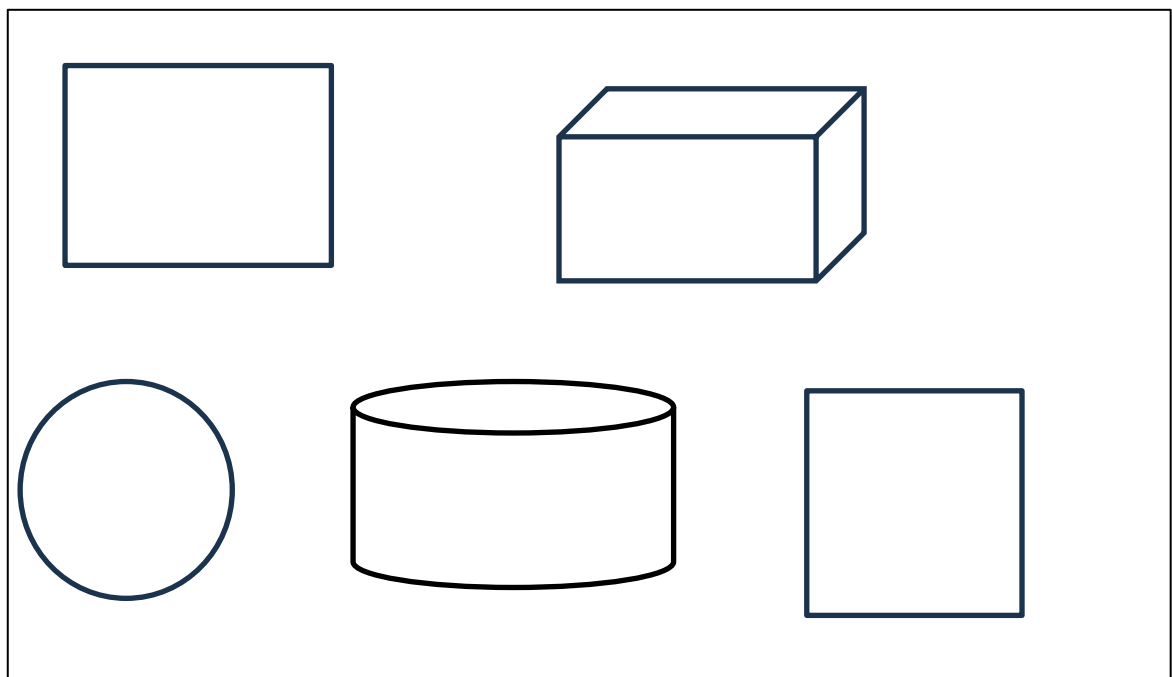
5.1 Critères de régularité en plan

La **régularité en plan** concerne la configuration géométrique horizontale du bâtiment, c'est-à-dire la forme et la distribution des masses et rigidités au niveau de chaque étage.

Une structure est considérée régulière en plan lorsque :

- sa **forme est compacte et simple**, de préférence rectangulaire ou carrée ;
- les **masses et rigidités** sont **distribuées de manière uniforme** autour du centre de gravité ;
- les **centres de masse et de rigidité** sont **proches ou confondus**, afin de réduire l'**effet de torsion** ;
- il n'existe pas de **grandes ouvertures**, de **porte-à-faux** ou de **décrochements prononcés** susceptibles de déséquilibrer la répartition des efforts.

Les plans réguliers typiques sont de **forme rectangulaire, carrée ou symétrique**.



- Les plans **irréguliers** sont souvent en **L, T, U** ou **H**, présentant des zones faibles où se concentrent les efforts sismiques.

Le RPA 2024 recommande d'éviter ces formes irrégulières ou, lorsqu'elles sont inévitables, de les dilater en sous-blocs indépendants par des joints parasismiques, afin de limiter les interactions dynamiques entre parties du bâtiment.

Ainsi, la régularité en plan permet de :

- Garantir une distribution homogène des forces sismiques entre les éléments verticaux
- Réduire les effets de torsion accidentelle ;

- Assurer un comportement global cohérent et symétrique du bâtiment.

5.1.2 Conditions de Régularité en plan selon Le RPA 2024

- 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.
- a₂ : A chaque niveau et pour chaque direction de calcul x et y, les excentricités

Structurales e_{ox} et e_{oy} doivent vérifier les deux conditions suivantes (RPA2024) :

$$\begin{cases} e_{ox} \leq 0.30r_x \\ r_x \geq l_s \end{cases}$$

et

$$\begin{cases} e_{oy} \leq 0.30r_y \\ r_y \geq l_s \end{cases}$$

- a₃ : La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal à 4 (cf. Figure (3.8)). 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 (cf. Figure (3.8)).
- a₄. Les planchers doivent présenter une rigidité suffisante vis à vis de celle des colonnes verticales pour être considérés comme indéformables dans leur plan. Dans ce cadre, la surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15% de celle de ce dernier

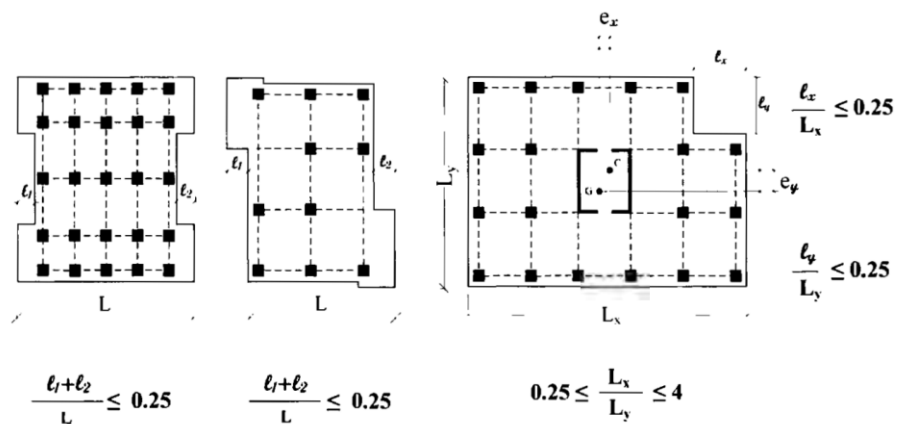


Figure 3.8: Limites des décrochements en plan

5.2 Régularité en élévation

Les irrégularités verticales induisent souvent des **effets de concentration d'efforts** et des **déformations excessives** localisées, pouvant conduire à une **rupture progressive** de la structure.

5.2.1 Conditions de Régularité en élévation selon Le RPA 2024

- **b1.** Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu, dont la charge ne se transmet pas directement à la fondation.
- **b2.** Aussi bien la raideur que la masse des différents niveaux restent constantes où diminuent progressivement et sans changement brusque de la base au sommet du bâtiment.
- **b3.** Le rapport de 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.

Toutefois, au dernier niveau, les éléments du bâtiment, tels que buanderies, salle de machines d'ascenseurs, etc., pourront ne pas respecter les règles b3 et b4 et être calculés

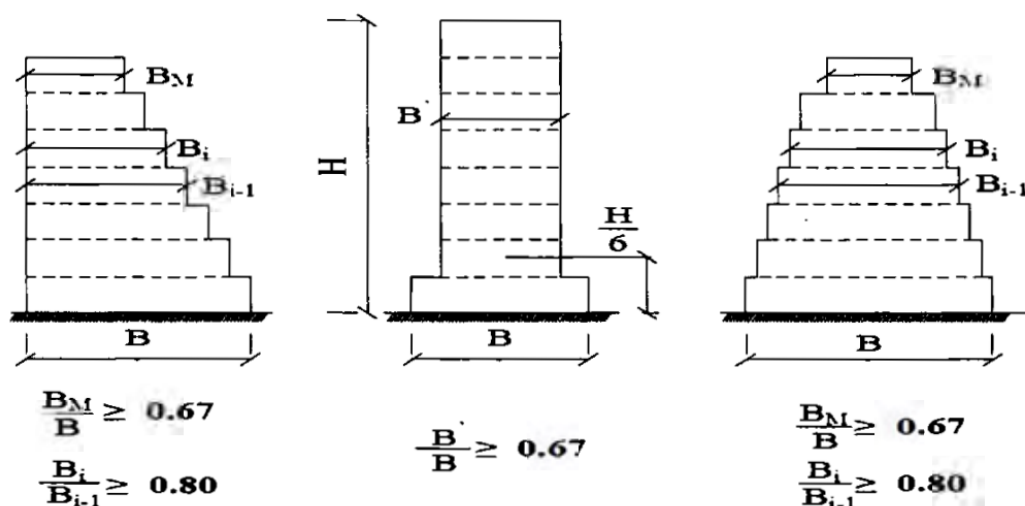


Figure 3.9: Limites des décrochements en élévation

6. L'effet de la torsion

Outre les déplacements de translation, les bâtiments peuvent subir des **rotations autour de leur axe vertical** lorsque le centre de masse et le centre de rigidité ne coïncident pas. Ce phénomène est appelé **effet de torsion**.

La torsion induit des **déplacements différentiels** entre les points de la structure : certaines parties subissent des déplacements accrus et des efforts de cisaillement plus importants que d'autres. Ces **concentrations d'efforts** peuvent provoquer des fissurations prématurées, voire la rupture d'éléments porteurs latéraux.

Prévention et contrôle de la torsion

Pour limiter les effets de torsion, le RPA 2024 recommande :

- de distribuer uniformément les masses et les rigidités sur tout le plan de la structure ;
- d'éviter les irrégularités en plan, telles que les formes en L, T ou U, qui favorisent les rotations ;
- d'assurer une symétrie géométrique et mécanique autant que possible ; et, lorsque la torsion est inévitable, de renforcer les éléments les plus sollicités pour compenser les effets rotationnels. Le règlement impose également la prise en compte de la torsion accidentelle, en majorant les déplacements latéraux par un décalage conventionnel du centre de masse, afin de garantir une marge de sécurité supplémentaire.

7. Action des diaphragmes au niveau des étages

Les diaphragmes représentent les éléments horizontaux — généralement les planchers — qui jouent un rôle essentiel dans le comportement sismique global des bâtiments. Leur fonction dépasse largement le simple support des charges verticales : ils assurent la liaison, la répartition et la transmission des efforts horizontaux entre les éléments verticaux résistants (voiles, portiques, contreventements, etc.).

Rôle fondamental des diaphragmes

Lors d'un séisme, les masses des planchers subissent des accélérations horizontales. Ces dernières génèrent des forces d'inertie qui doivent être transférées efficacement vers les systèmes de contreventement verticaux.

Le diaphragme agit Comme un distributeur des efforts :

- Il collecte les forces horizontales dues à l'inertie des masses des étages ;
- Il les redistribue entre les éléments verticaux en fonction de leur rigidité relative ;
- Et il assure la cohérence du déplacement de l'ensemble de la structure.

Sans diaphragme rigide et bien connecté, chaque élément résistant se déplacerait indépendamment, entraînant une perte de compatibilité des déformations et un risque d'effondrement partiel.

Rigidité et comportement du diaphragme

Selon leur rigidité en leur plan, les diaphragmes peuvent être classés en trois catégories :

- Diaphragmes rigides : leur déformation dans leur plan est négligeable ; ils distribuent les efforts proportionnellement à la rigidité des éléments verticaux.
- Diaphragmes semi-rigides : leur déformation est notable, mais ils conservent une capacité de redistribution des efforts.
- Diaphragmes flexibles : leur rigidité est faible ; les efforts sismiques sont alors transférés principalement vers les éléments verticaux les plus proches.

Les diaphragmes jouent également un rôle de liaison structurelle entre les différents éléments résistants, en assurant une cohérence des déplacements horizontaux à chaque niveau. Ils contribuent ainsi :

- à la stabilité latérale globale de la structure ;
- à la distribution uniforme des efforts de torsion ;
- et à la réduction des déformations différentielles entre les systèmes de contreventement.

8. Fondations adéquates

Les fondations constituent l'interface essentielle entre la superstructure et le sol. Dans le cadre de la conception parasismique, leur rôle ne se limite pas à supporter les charges verticales ; elles doivent également transmettre les efforts horizontaux et les moments sismiques au sol de manière sûre, homogène et équilibrée. Une conception de fondations inadéquate peut compromettre l'efficacité du système structural global, même si la superstructure est correctement dimensionnée.

Rôle des fondations en conception parasismique

En situation sismique, les fondations sont soumises à des efforts alternés complexes :

- des forces horizontales dues à l'inertie de la superstructure ;
- des moments de renversement engendrés par les oscillations ;
- et parfois des soulèvements partiels lorsque la base est inégalement sollicitée.

Les fondations doivent donc :

- Transmettre uniformément les charges au sol sans provoquer de tassements différentiels excessifs ;
- Prévenir les ruptures locales du sol sous l'effet des efforts sismiques ;
- Assurer la stabilité globale de la structure face aux mouvements de basculement et de glissement.

Une bonne conception parasismique exige que la structure et le sol interagissent harmonieusement, garantissant un comportement global cohérent.

Choix Types de fondations

Le type de fondation dépend de la nature du sol, du type de structure et de la magnitude de l'action sismique. Dans tous les cas, les liaisons entre la superstructure et la fondation doivent être rigides, continues et capables de transmettre sans rupture les efforts de cisaillement et de traction.

