

## La prise en compte du risque sismique dans les constructions

Le risque sismique est lié à l'aléa sismique et à la vulnérabilité de la construction, raison pour laquelle une **démarche globale de conception parasismique** dans la construction doit être mise en place. Elle doit s'appuyer sur trois points :

- **respect de la réglementation parasismique**
- **conception architecturale parasismique**
- **mise en œuvre soignée.**

L'action sismique subie par une structure est directement proportionnelle à l'accélération qui lui est imposée et à sa masse.

La masse peut être réduite en utilisant un matériau ayant non seulement une masse volumique faible mais ce qui est plus performant : un matériau possédant une contrainte spécifique élevée (rapport entre la contrainte de rupture et la masse volumique). Le bois arrive en tête devant l'acier et le béton armé.

La limitation de l'accélération peut se faire par une démarche réfléchie en commençant par éviter le risque de résonance avec le sol et d'une manière générale en appliquant les trois principes de base de conception suivante :

- la recherche à maximiser la capacité des constructions à stocker l'énergie.
- la recherche à favoriser la capacité des constructions à dissiper de l'énergie.
- la recherche à favoriser la résistance mécanique.

On peut également utiliser des appuis parasismiques appelés isolateurs.

### La réglementation parasismique

L'application **des règles parasismiques** actuelles "Règles PS92" concerne le calcul des charges sismiques et les dispositions constructives.

Leur application est obligatoire pour toutes les constructions abritant des personnes, situées dans toutes les zones sauf 0.

C'est en général l'ingénieur du bureau d'études qui est chargé d'appliquer ces règles et de dimensionner les éléments en béton armé, acier, bois ou bien mixtes.

Il existe néanmoins les règles propres aux constructions parasismiques des maisons individuelles dites "PS-MI 89 révisées 92" qui permettent aux architectes de s'affranchir d'un bureau d'étude pour ce type d'ouvrage. Leur application est facultative et concerne un domaine assez restreint.

**La philosophie des règles consiste à préserver les vies humaines ; avant tout, l'objectif est de prévenir les risques d'effondrement des planchers.**

Les règles admettent éventuellement des dommages structuraux dans des éléments tels que les poutres mais surtout pas au niveau des poteaux sous peine d'effondrement.



**Photo 1 : Rupture fragile des poteaux**

Le calcul de la résistance aux séismes d'une structure ne la protège pas contre les grands mouvements de sol (effets induits par la secousse) qu'il convient d'éviter :

- liquéfaction du sol
- glissements de terrains
- éboulement
- effondrement
- jeu de faille

**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

## **La conception architecturale parasismique**

La conception architecturale parasismique n'est pas obligatoire mais son rôle est fondamental dans la résistance des constructions aux séismes. Elle comprend trois volets : **le parti architectural, le parti constructif et le contreventement.**

### **Le parti architectural**

La **forme des bâtiments** est l'élément le plus important car elle peut éviter des désordres graves voir la ruine totale de l'ouvrage même si les règles PS 92 ont été respectées.

La **forme devrait être aussi simple, symétrique et régulière que possible** pour éviter des contraintes dues à la torsion d'ensemble dévastatrices qui reste bien souvent un facteur majeur de ruine.

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

Il est préférable de **fractionner les bâtiments à forme complexe par des joints parasismiques** suffisamment larges afin d'éviter des collisions entre blocs voisins.

Les **bâtiments en forme de L entraîne des concentrations de contraintes locales** dans les angles qui peuvent être très néfastes.

Le **principe de non-résonance entre le bâtiment et le sol** pour éviter l'amplification de l'accélération impose que la période propre de vibration du bâtiment doit être différente de celle du sol, il est donc préférable de construire une structure souple sur un sol dur et inversement une structure rigide sur un sol mou (sauf en cas d'utilisation d'isolateurs).

Par exemple une tour flexible de plusieurs dizaines d'étages convient très bien sur un sol rocheux.



**Photo 2 : maçonnerie courbe vulnérable et tour en voile béton armé faisant coque résistante**

La position du centre de gravité devrait être la plus basse possible avec **une distribution uniforme des masses**.

**Les éléments d'architecture** doivent s'adapter à des dispositions particulières notamment en règle générale il est déconseillé :

- la présence de poteaux courts vulnérables aux charges sismiques (ex : rupture par des allèges rigides)
- des angles vifs aux changements de direction et intersection d'éléments porteurs.
- les variations brusques des sections
- les percements trop importants dans les murs porteurs.

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.

Ces éléments d'architecture peuvent revêtir une importance primordiale dans le comportement dynamique de la structure s'ils sont mal positionnés ou mal dimensionnés.

Dans le même esprit, il ne faut pas négliger la fixation des éléments de façade ainsi que la résistance des cheminées comme cela a été le cas à Annecy où beaucoup se sont effondrées.

### Le parti constructif

Il concerne le choix du système porteur et de sa disposition ; un choix judicieux va permettre de minimiser les coûts de la protection parasismique qui pour un ouvrage neuf ne devrait pas excéder 5% du prix du gros œuvre.

L'efficacité du comportement parasismique est directement liée à la nature du système porteur : les structures métalliques conviennent bien en toute zone, de même les ossatures en bois et celles en béton armé de type voile.

Par contre certains systèmes tels que les maçonneries non chaînées ou non armées sont à proscrire, les portiques en béton armé avec murs de remplissage en maçonnerie ont quant à eux un comportement médiocre.



Photo 3 : angle vulnérable sans chaînage horizontal et vertical

L'architecte devrait veiller à **assurer une bonne continuité mécanique** aussi bien verticalement grâce à une descente de charges en alignant les poteaux pour éviter l'effet baïonnette qui cisaille les poutres, qu'horizontalement en ancrant les planchers correctement dans les murs.

De même il devra **favoriser la symétrie en plan et en élévation ainsi qu'une homogénéité dans les systèmes porteurs et les matériaux.**

Un principe de base à respecter est de **stocker et de dissiper de l'énergie en cherchant la redondance structurale** c'est à dire un degré d'hyperstaticité maximal. La poutre sur deux appuis simples est à proscrire, il vaut mieux multiplier les appuis et les assemblages de type encastrement. Une autre façon de dissiper l'énergie d'oscillation est de **favoriser la ductilité** aussi bien au niveau des matériaux qu'au niveau de la structure.

La solution "poteau fort - poutre faible" permet cette démarche.

Il est nécessaire aussi de se préoccuper dans les terrains en pente ou pour un soubassement de résoudre l'effet "poteaux courts" qui risqueraient d'être cisailés et entraîneront l'effondrement.

Le système qui permet la meilleure sauvegarde des personnes pour un rez-de-chaussée avec un étage maximum est la construction en murs porteurs à ossature bois avec une couverture légère. Il peut résister aux secousses très violentes sans dommages graves.

### 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, les planchers et toitures faisant office de diaphragme rigide ne devraient 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 devrait 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 un rez-de-chaussée transparent d'un immeuble devront être contreventés correctement.

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



Structure poteau-poutre avec remplissage en maçonnerie.  
Cisaillement des poteaux et effondrement en mille-feuilles.

### La mise en œuvre de qualité

Enfin sans une **mise en œuvre de qualité** de la part de l'entrepreneur, la construction par des points faibles au niveau de la qualité des matériaux ou par des assemblages d'éléments précaires peut s'effondrer comme cela a été encore le cas récemment dans des immeubles en Turquie en 1999 et en Inde en 2001.

Le respect des dispositions constructives impose un rôle des bureaux de contrôle très important pour les ouvrages publics et un rôle de l'architecte fondamental pour la conception notamment celle des maisons individuelles.

## Ouvrages existants

Tout ce qui précède est valable pour les ouvrages neufs, en ce qui concerne les ouvrages existants c'est à dire la majorité, et notamment ceux construits avant l'apparition des règles les plus modernes dites "PS 92" (édition 1992), le problème est à la fois complexe au niveau politique, économique, juridique et technique.

**Problème technique** car intervenir en renforcement sur un ouvrage existant suppose connaître par simulations informatiques son comportement avant renforcement pour estimer sa réponse et après renforcement pour valider l'efficacité des travaux à envisager.

Cette phase de diagnostic est très délicate à gérer,

Elle passe par une campagne d'investigations, c'est à dire des reconnaissances au niveau de l'identification de la qualité des matériaux et de la géométrie des éléments en place

La précision du diagnostic est donc directement liée au nombre et à la position des sondages dont l'accès est parfois difficile voir impossible.

Les hypothèses de calcul seront donc pessimistes par défaut pour aller dans le sens de la sécurité, mais cela pourra pénaliser le montant de l'opération.

La gestion de ces incertitudes doit être prise en compte dans l'établissement des scénarios de renforcement qui s'orienteront vers deux solutions

- Réduction des charges sismiques
- Amélioration de la résistance et (ou) de la rigidité de l'ouvrage

Les techniques de renforcement actuellement disponibles sont classées par objectif et technologie :

- Traitement du sol (injection, micropieux, vibroflottation, cloutage etc.)
- Renforcement par addition ( chaînage, mur de contreventement, contrefort etc.)
- Augmentation de section et confinement( béton projeté, composite collé, chemisage et corsetage acier etc.)
- Réalisation d'ancrages (plancher-chaînage, charpente-chaînage, fondation-ossature)

**Problème juridique** car la réglementation en vigueur est encore floue sur le calcul de renforcement de ces ouvrages et les responsabilités ne sont pas encore bien définies, ce qui rend frileux les bureaux d'études susceptibles d'intervenir en expertise.

**Problème politique** car la décision devrait être éclairée par trois aspects :

- **L'aspect de la perte humaine** liée au nombre de victimes concernées (fonction de la classe de l'ouvrage et de l'heure d'occupation).
- **L'aspect de la perte financière** liée à la perte d'exploitation et au coût des travaux de réparation.
- **L'aspect du niveau d'endommagement** ayant des conséquences sur les conditions d'exploitation.

Pour illustrer le contexte actuel, comment est pris en compte le risque sismique aux Antilles ?

L'aléa étant très important (zone III), la décision a été prise de renforcer en priorité les ouvrages de classe D ( écoles, hôpitaux, centre de communication, réservoir d'eau, etc.) ; sachant que si demain un séisme comparable à celui du siècle dernier se produit, la majorité des victimes, estimés à plusieurs milliers à Point à Pitre pour un séisme comparable à celui de 1994, seraient issues principalement de logements d'habitation collective et de maisons individuelles (classe B et C). C'est un choix politique.

Bien souvent le **problème économique** malheureusement prime devant tous les autres problèmes simplement parce que la quantité d'ouvrages construits avant les règles PS, sans se soucier des

risques sismiques, est tellement importante en France que le montant des travaux pour diminuer leur vulnérabilité sera donc considérable.

Il devra donc s'étaler sur des décennies si d'autres priorités ne viennent pas s'intercaler.

Espérons que pendant ce laps de temps, la croûte terrestre restera stable dans nos régions.

## **Conclusion**

Le choix d'un bon terrain sur un bon sol avec des fondations adaptées et le respect des mesures de prévention imposées et recommandées permettra de limiter les dommages en cas de sinistre.

Malheureusement les études de sol ne sont pas obligatoires sauf pour les ouvrages publics et le nombre d'architectes et d'ingénieurs sensibilisés à la conception parasismique reste faible en France.

La formation à cette démarche globale de conception parasismique n'est pas obligatoire que ce soit en école d'ingénieur ou en école d'architecture. Quelques écoles montrent néanmoins l'exemple comme à LYON, à GRENOBLE et à MARSEILLE-LUMINY.

*Ouvrage à consulter :*

*CONSTRUIRE PARASISMIQUE de Milan ZACEK aux Editions Parenthèses*