

17/624.752

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Mémoire de Mastère

Présenté à l'Université de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie civil

Option : 3C

Présenté par : Badre Oqbi

Soualmia Aboubakr

Thème : Vulnérabilité des constructions

Aux séismes

Sous la direction de : Bendjaiche Robila

Juin 2012



Remerciements



Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à notre encadreur Mme Bendjaiche robila pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce projet.

Nous remercierons sincèrement pour avoir accepté d'être notre encadreur et pour m'avoir prodiguée des conseils précieux tout au long de notre travail.

Nous adressons nos vifs remerciements à l'ensemble des enseignants des départements de génie civil.



Dédicace

Au nom de Dieu le élément et miséricordieux

Je dédie ce mémoire à :

- Tous les cœurs qui pensé à mon avenir
- Tous ceux qui ont contribué à mon bonheur
- Mon père et ma mère que Dieu les garde
- Mes frères :Soltan .Younes.Abd almalek. Abd alrazek
- Mes soeurs : Safia .Aouatef
- Tous mes amis :Wahab .Amar .Hosam. Rabia. Zaki .Badis.
Farid .Isam. Ahd alkarim .Hicham
- Toutes les promotions de génie civil

Bader oqbi

Dédicace

Au nom de Dieu le élément et miséricordieux

Je dédie ce mémoire à :

- Tous les cœurs qui pensé à mon avenir
- Tous ceux qui ont contribué à mon bonheur
- Mon père et ma mère que Dieu les garde
- Mes frères :Ismail .Djaafer
- Tous mes amis : Jaber .Tayeb abd alah. Bodjihad .Nabil .Amar.
Wahab. Monir. Badis.Hamza .Radwane .
- Toutes les promotions de génie civil

Aboubakr Soualmia

RESUME

Parmi les catastrophes naturelles, les secousses sismiques ont les effets les plus destructeurs dans les zones aménagées et urbanisées. L'Algérie étant concernée par un tel risque, doit imposer dans les zones sensibles, la concrétion parasismique, c'est-à-dire celle qui même endommagée ne s'effondre pas.

L'accélération verticale observée lors des tremblements de terre, a amené les spécialistes du bâtiment à repenser les manières de construire et réhabiliter les éléments des structures. En effet, cette accélération se traduit lors d'un séisme par de fortes sollicitations fragilisant la structure.

Dans le but de quantifier les renforcements des bâtiments nous avons donné quelques techniques pratiques.

Les différents résultats obtenus ont permis de constater pour certaines méthodes de renforcement un gain non négligeable, et des solutions pratiques de mise en œuvre sont proposées.

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Affaissement et poinçonnement des ouvrages dus à une liquéfaction du sol.....	7
Figure 1.3	Rez-de-chaussée flexible.....	29
Figure 1.4	Etage supérieur flexible.....	29
Figure 1.5	Déformation des poteaux d'angle en cas de torsion d'axe vertical.....	30
Figure 1.6	Les discontinuités de stabilisation.....	31
Figure 1.7	Les sauts de rigidité et de résistance sont problématiques.....	32
Figure 1.8	Remplissage des cadres par de la maçonnerie.....	33
Figure 1.9	Cisaillement des colonnes courtes.....	33
Figure 1.10	Décomposition des volumes par des joints.....	34
Figure 1.11	Concevoir des joints entre deux bâtiments de façon appropriée.....	34
Figure 1.12	Dispositions constructives non conformes aux règlements.....	37
Figure 1.13	Mauvaise qualité des matériaux de construction et une mauvaise mise en.....	40
Figure 1.14	Essais de renforcement des poteaux avec des chemises de matériaux.....	46
Figure 1.15	Barre de recouvrement d'une base de poteau rectangulaire renforcé avec une chemise en acier [13].....	47
Figure 1.16	Renforcement des poteaux circulaires et rectangulaires avec des chemises en.....	48
Figure 1.17	Assemblage de chemises de poutre et de poteau [13].....	49
Figure 1.18	Renforcement d'un poteau circulaire à état de cisaillement dominant [13].....	50
Figure 1.19	Renforcement d'un poteau carré à état de cisaillement dominant [13].....	51

SOMMAIRE

INTRODUCTION

1. Généralité.....	1
2. Objectif.....	4

Chapitre 1 : Etude bibliographique sur séisme

1. Le séisme.....	5
2. Origine des séismes.....	5
2.1 Séismes naturels.....	5
2.2 Séismes induit.....	6
3. Reconnaissance des sols et des fondations.....	6
4. La réglementation parasismique.....	10

Chapitre 2: Les différents modes de ruines

1. Les différents modes de ruines et les dégâts occasionnés dans les ouvrages en béton armé par le séisme.....	11
2. Pathologie constatée.....	12

Chapitre 3 : Synthèses des cause

1. Les causes pathologie sismique.....	28
1.1 Erreurs de conception	28
a) Rez –de- chaussée flexibles.....	28
b) étages supérieures flexibles.....	29
c) stabilisations non symétrique.....	30
d) fausses symétries.....	31
e) discontinuités de stabilisation.....	31
F) problème des sautes de rigidité et de résistance.....	32
g) remplissage des cadres par de maçonnerie.....	32
h) constructions en brique non armé.....	33
i) cisaillement des colonnes courtes.....	33
j) manque de plus de compact.....	34
k) absence ou non conforme au règlement des joints entre deux bâtiments.....	34
l) mauvaise cohésion des dalles.....	35
m) liquéfaction du sol.....	35
n) La rupture par cisaillement des nœuds.....	35
o) Problème de poteau faible poutre forte.....	38

P) Toitures ou planchers lourds avec des rigidités relatives.....	38
---	----

1.1 Erreur de calcul.....	39
---------------------------	----

1.2 Qualité de la réalisation.....	39
------------------------------------	----

Chapitre 4 : Les techniques de réparation des bâtiments

1. Renforcement des ouvrages existants.....	41
---	----

2. L'objectif de renforcement.....	41
------------------------------------	----

3. Les techniques de renforcement.....	42
--	----

3.1 Introduction.....	42
-----------------------	----

3.2 Amélioration de la résistance des éléments structuraux porteurs à l'aide du Matériaux Composites.....	44
--	----

3.2.1 Technique utilisée.....	45
-------------------------------	----

3.2.2 Poteaux.....	45
--------------------	----

3.2.3 Poutre.....	46
-------------------	----

3.2.4 Nœuds.....	46
------------------	----

3.2.5 Renforcement des murs de contreventement.....	47
---	----

3.3 Amélioration des éléments structuraux à l'aide de chemises en acier.....	47
--	----

3.3.1. Poteaux.....	47
---------------------	----

3.3.2. Assemblages poutre-poteau.....	48
---------------------------------------	----

3.4 Amélioration des poteaux en béton armé par précontrainte transversale.....	50
--	----

Chapitre 5 : Séisme et bâtiment question –réponse

1. Pourquoi il ne suffit pas qu'un bâtiment soit « costaud » pour résister aux séismes.....	52
---	----

2. Pourquoi étudier la façon dont les bâtiments se déforment.....	52
---	----

3. Pourquoi étudier la façon dont les bâtiments se déforment.....	53
---	----

4. Les bâtiments réagissent-ils d'une seule manière aux séismes.....	54
--	----

5. Quel comportement pour un bâtiment résistant aux secousses d'un séisme futur.....	56
--	----

➤ Le roseau.....	56
------------------	----

➤ Le chêne.....	56
-----------------	----

➤ « Mieux » que le chêne ou le roseau.....	57
--	----

6. Pourquoi ne pas faire uniquement des bâtiments garantis sans dommages.....	57
---	----

7. Pourquoi le bâtiment se déforme-t-il lorsqu'il est soumis à des secousses.....	59
---	----

➤ La déformabilité des éléments de la construction.....	59
---	----

➤ Les forces d'inertie.....	59
-----------------------------	----

➤ Peut-on prévoir la valeur des déformations.....	60
8. Comment éviter ou maîtriser la mise en résonance du bâtiment par les oscillations du sol.....	61
➤ Le problème : la mise en résonance de la structure.....	61
➤ Eviter la mise en résonance des structures.....	61
9. Quel est le rôle de l'architecte dans la construction parasismique.....	63
10. Des exemples de mauvaise conception architecturale en plan.....	63
11. Des exemples de mauvaise conception architecturale en élévation.....	65
12. Quelle est la différence entre un joint de dilatation et un joint parasismique.....	69
13. Peut-on isoler un bâtiment des secousses en le posant sur des caoutchoucs.....	71
➤ Avantages de l'isolation parasismique.....	72
➤ Inconvénients de l'isolation parasismique.....	73
➤ Incidence sur le coût.....	73
14. Il est préférable d'avoir une structure homogène et hyperstatique.....	75
15. Qu'appelle-t-on le contreventement.....	76
➤ Deux approches sont possibles.....	77
✓ Structures contreventées.....	77
✓ Structures autostables.....	77

CONCLUSION GENERALE

ANNEXE

BBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

1- Généralités

Les séismes constituent une menace sérieuse pour la population. Chaque année, un million de séismes de toute magnitude se produisent. Le bilan des tremblements de terre à l'échelle mondiale est lourd : des centaines, des milliers de morts, des constructions détruites, régression économique des régions touchées. Or les tremblements de terre sont inévitables. Il en produira à l'avenir de tout aussi violents que par le passé. Faute de pouvoir les éviter, on doit s'efforcer de prévenir ou du moins de limiter les dommages.

Au cours des nombreux tremblements de terre destructeurs qui ont frappé l'Afrique du nord en particulier l'Algérie, qui est toujours traumatisée par les séismes, ou l'histoire de la sismicité en Algérie est comme suit

- Alger, 03 janvier 1365, de magnitude forte. Destructeur, Alger complètement détruite. 100 répliques pendant la nuit. Une partie de l'Algérie fut inondée.
- Gouraya 15 janvier 1891, de magnitude $M_s = 7.5$ destructeur, dégâts importants : Gouraya et Villeboug ont été complètement détruites. 53 immeubles et maisons détruits ou endommagés. Dégâts à Cherchell, Kherba, Blida, El-Affroun, Mouzaia, Miliana, et Orléansville. Mouvement vertical observé à Gouraya. Ressenti à Saida et Djalfa. Rayon macrosismique 200 Kms.
- El Kalaa, 29 novembre 1897, de magnitude $M_s = 6.5-7.5$. Destructeur, El Kalaa et Dehba : une mosquée ainsi que plusieurs maisons ont été détruites. Thiouanet importants dégâts (80 maisons ont été complètement détruites). Ressenti à Oran, Arzew, Relizane, Mostaganem et Mascara. Forte réplique ressentie quelques minutes après.
- Sour El Ghouzlane (Aumale) 24 juin 1910, de magnitude $M_s = 6.4-6.6$. Dégâts importants à El Euch, Tablat et Masqueray. Les villages de la plaine de Gachtoula ont été complètement détruits. Répliques jusqu'en janvier 1911 fortes de magnitudes $M_s = 5.5$.
- A. El Hassan (Cavaignac), le 25 août 1922, de magnitude $M_s = 5.1$. Destructeur, Cavaignac complètement détruite. Mouvement vertical observé (1m). Ressenti à Flatters, Hanoteau, Ténés et à Orléansville, Cherchell.
- El At-El Ab (Carnot), le 04 septembre 1934, de magnitude $M_s = 5.0$. Dégâts à St. Cyprien et El-Attf. Des glissements de terrains ont observés au Nord. Ressenti à Alger. 92 répliques.

- Bejaia , 12 février 1960 , de magnitude Ms=5.6 . 100 maisons détruites

- Chelf (Orléans ville-El Asnam), le 09septembre 1954, de magnitude Ms=6.7. Destructeur : 20.000 habitations détruites. Effets observés : glissement de terrain et liquéfaction du sol. Mouvement vertical maximum (10) (1.33) au voisinage de Ouled Abbas. Plusieurs répliques FM : 254,30,266 .

- M'sila, le février 1960, de magnitude Ms=5.6 Dégâts à Melouza

- M'sila, le 01 janvier 1965, de magnitude Ms=5.5. 13000 maisons détruites. FM 19 3,9, 288.

- Mansourh, le 24 novembre 1973, de magnitude Ms=5.1. Dégâts à Mansourah, Medjana, El-Mehir et Tenient Enars. Répliques (24,25,26,11)

- Chlef , le 10 octobre 1980 ,de magnitude Ms=7.3, 70 des bâtiments détruites . Une faille invars sismogène a été observée (36 Km) Un mouvement vertical maximum (11) de 6 m a été mesuré entre Zebabdja et Ouled –abbas. Un forte réplique a été enregistrée une heure après le choc principal de magnitude Ms=6.5.

- Constantine,le 27 octobre 1985, de magnitude Ms=5.9. peu de dégâts à El-Aria et Béni-yakoub, plusieurs au voisinage du village d'El-Khoub. Ruptures de surface. Un faille de coulissage. Plusieurs répliques pendant plus d'un mois. FM 217,84,19.5,1024.

- El Affroun ,le 31 octobre 1988 , de magnitude Ms=5.4 .nombreux dégâts.

- Dj.Chenoua , le 29 octobre 1989 , de magnitude Ms =6.00 . nombreux dégâts à Sidi-Moussa (prés de la ville de Tipaza) au voisinage de l'épicentre et Nador. Peu de dégâts à Alger (la Casbah). Fille inverse. Plusieurs répliques durant 3 mois. FM : 246,56,86,8.0,1024.

- Mascara, le 18 Aout 1994, de magnitude Ms =5.6. ce séisme survenu la nuit a été largement ressenti, l'intensité VII a été atteinte à Hacine et Shadlia , ou d'importants dégâts ont été occasionnées, des destructions ont été observés dans les villages avoisinants et ceci sur un rayon de 15 Km autour de Hacina.

- Alger, le 04 septembre 1996, de magnitude $M_s=5.7$. ce séisme qui a été ressenti jusqu'à Dellys à l'Est, Menaceur à l'Ouest et Barrouaghia au Sud, a atteint l'intensité VII à Ain Benian, Cheraga et Staoueli, appartenant à la région épiscopale. Le rayon macrosismique moyen est de 140Km.

- Ain-Temouchent, le 22 décembre 1999, de magnitude $M_s=5.8$. ce séisme a atteint une intensité maximale de VII a occasionné dans la région Pléistoseiste qui regroupent Ain-Témouchent, Ain-Tolba, Ain-Kihal et Sidi-Ben-Adda , des dégâts matériels importants , la surface macrosismique dépasse 260Km de rayon.

- Béni-ouartilane , le 10 novembre 2000, de magnitude $M_s=5.4$. Ce séisme a occasionné dans la région pleistoseiste qui regroupent Béni-Ouartilane, Fréha et El-Main, des dégâts matériels. Des fissurations superficielles des maisons en maçonneries traditionnelles ont été observées dans les localités citées ci-dessus.

- Boumerdes, le 21 mai 2003, de magnitude $M_s=6.8$

2-OBJECTIFS

Le niveau de sécurité de la constructure et de ses éléments constatifs est en relation, d'un part, avec l'intensité sismique correspondant à une période déterminée de retour et, d'autre part, avec le degré d'endommagement et de dégradation des caractéristiques mécanique des éléments structuraux de construction.

Cependant la réparation et le renferment des ouvrages endommages constituent assurément l'un des problèmes les plus délicates que rencontre actuellement le domaine de la construction dans notre pays

Le renforcement a pour but d'améliorer les caractéristiques du système structural remettre aux normes les constrictions et dans la plupart des cas, leur redonne leurs capacités initiales.

Le but principal de ce travail est la conception, et la mise au point d'un technique de renforcement pour augmenter le niveau de service et en particulier d'augmenter la capacité résistent des bâtiments vis-à-vis des sollicitations accidentelles

- Notre étude comporte 5 chapitres :
 - 1. Etude bibliographique sur le séisme**
 - 2. Les différents modes de ruine**
 - 3. Synthèses des causes des ruines**
 - 4. Renforcement et réparation des bâtiments**
 - 5. Séisme et bâtiment question –réponse**

CHAPITRE

1

Etude bibliographique sur le séisme

1. LE SÉISME

Un séisme est une libération brutale de l'énergie potentielle accumulée dans les roches par le jeu des mouvements relatifs des différentes parties de l'écorce terrestre lorsque les contraintes dépassent un certain seuil; une rupture d'équilibre se produit et donne naissance aux ondes sismiques qui se propagent et atteignent la surface du sol [1].

Les dégâts observés en surface sont fonction de l'amplitude, la fréquence et la durée des vibrations.

Les sismologues distinguent :

- Les séismes superficiels à moins de 60 Km ;
- Les séismes intermédiaires de 60 à 300 Km ;
- Les séismes profonds de 300 à 700 km.

Il est à noter que :

- 95 % des tremblements de terre dans le monde ont lieu à une profondeur inférieure à 60 Km ;
- 05 % seulement ont une profondeur supérieure à 60 Km.

2. ORIGINE DES SEISMES

2.1 Séismes Naturels

La plupart des tremblements de terre des causes naturelles prennent naissance dans la croûte terrestre, qui mesure entre 60 et 100 Km d'épaisseur, les différents segments de cette écorce terrestre sont continuellement en mouvement les uns par rapport au autres. Souvent, ces mouvements induisent des déformations qui, à leur tour, sont emmagasinées sous forme d'énergie élastique. Une rupture ou un glissement le long d'une faille cause alors une dissipation soudaine de cette énergie sous forme de choc sismique, qui se traduit par une propagation de différentes ondes sismiques [2].

Les dommages directs causés par un séisme proviennent de deux sources [2] :

- Le mouvement de la faille (unidimensionnel) ;
- Les vibrations du sol (tridimensionnel) : les vibrations du sol son responsable de la majorité des dommages causés aux structures.

2. 2 Séismes Induits

Certaines activités humaines influencent l'amplitude et la distribution des contraintes dans l'écorce terrestre qui, dans certains cas, engendrent des tremblements de terre importants. Ces séismes induits proviennent entre autres de :

- La mise en eau de réservoirs artificiels ;
- L'exploitation de mines souterraines ;
- L'exploitation de carrières de grande envergure ;
- L'injection à haute pression de fluides pour la génération d'énergie géothermique ;
- La production pétrolière ;
- Les explosions nucléaires souterraines.

Parmi ces activités, la mise en eau de réservoirs artificiels est responsable des séismes induits les plus importants. Ces séismes peuvent atteindre une magnitude 6 sur l'échelle de Richter. Dans le monde il y a 70 tremblements de terre induits par la mise en eau de réservoirs de barrages [2].

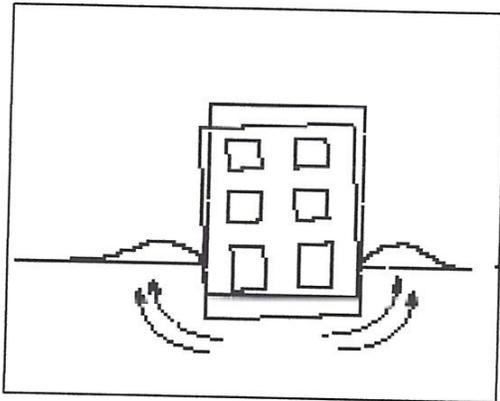
3 RECONNAISSANCE DES SOLS ET DES FONDATIONS

Les séismes se manifestent à la surface du sol par un mouvement de va et vient, horizontal et vertical. Le mouvement est caractérisé par la valeur des déplacements, vitesses et accélérations du sol. Ces séismes induisent diverses modifications du sol à savoir :

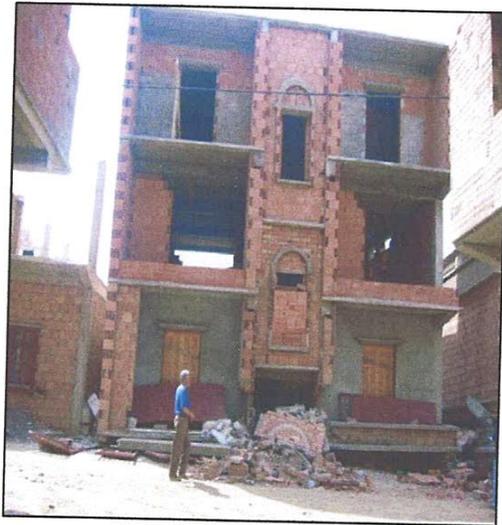
- **des mouvements latéraux du sol**
- **des affaissements du sol**
- **la liquéfaction du sol**

Certain sol sablonneux à teneur en eau plutôt élevée de faible cohésion sont très stables et supportent bien les charges statiques, mais se comportent subitement comme un liquide sous l'effet de vibrations lors d'un tremblement de terre. Les glissements latéraux de sols légèrement inclinés entraînant des déplacements horizontaux pouvant atteindre plusieurs mètres sont des phénomènes courants. Ce qui peut aboutir à un effondrement total des ouvrages en béton armé. Les bâtiments peuvent:

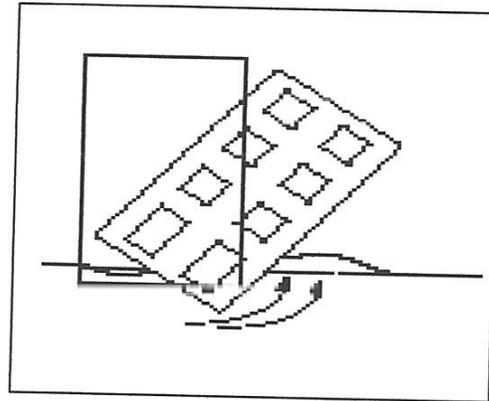
- s'affaisser (Figure 1, Cas 1) ;
- s'incliner si le sol est inhomogène ou lors d'une liquéfaction inégale (Figure 2, Cas 2).



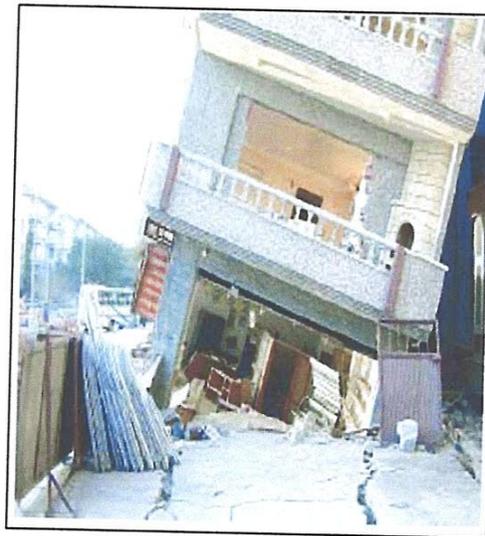
Cas 1: Sol homogène, affaissement de l'ouvrage



Cas1 : Affaissement de la fondation suite à la liquéfaction du sol (séisme du 21 mai 2003 en Algérie).



Cas 2: Sol inhomogène ou liquéfaction Inégale



Cas2 : Poinçonnement de la fondation suite à la liquéfaction du sol (séisme du Turquie "Kocaeli" en 17 août 1999).

Figure 1.1 Affaissement et poinçonnement des ouvrages dus à une liquéfaction du sol

Les parties de construction solidaires du sol suivent ces déplacements, par inertie les parties en élévation ne suivent pas instantanément le mouvement et il s'ensuit une déformation de la structure. Si les constructions gardent leurs propriétés élastiques, elles reprendront leur position initiale et se mettront à osciller. C'est ce que l'on ressent dans un immeuble soumis à une secousse relativement faible (séisme de faible intensité, ou distance suffisante de l'épicentre).

Si le mouvement sismique était de courte durée les oscillations cesseraient rapidement, mais les séismes ont en général une durée de plusieurs secondes, donc les oscillations sont entretenues et leurs effets sont amplifiés pouvant ainsi entraîner la ruine des constructions.

La première protection d'un ouvrage est sa propre conception. • ce titre :

- l'étude de reconnaissance géotechnique du sol qui permet d'éviter les risques liés aux mouvements des fondations sous charges sismiques tel que les tassements, dislocation, le glissement.
- Le choix du type de fondations et des matériaux est primordial, donc Les fondations sont l'élément clé d'un ouvrage en béton armé parce qu'elles transmettent les mouvements d'un séisme à la superstructure. Pour limiter les déplacements, un ouvrage peut être « isolé » du sol au moyen des dispositifs spéciaux ou fondés à l'aide des pieux pour éviter les ruptures du sol. Côté matériaux, le béton armé ou précontraint est le mieux adapté aux zones sismiques. En complément, les ouvrages peuvent être équipés de dispositifs auxiliaires de protection parasismiques passifs ou actifs comme des appareils d'appui, dont le coût est variable selon la structure, les matériaux et le pays.

4 LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE

Pour sauver des vies humaines lors d'un tremblement de terre, la seule protection efficace, c'est la construction parasismique aussi bien construction des bâtiments neufs, que le renforcement préventif des bâtiments existants.

Le bâtiment sera parasismique si on le fait conforme aux règles parasismiques?

On a des exemples des bâtiments, qui ont été construits suivants les règles parasismiques récentes :

- Un bâtiment supposé être parasismique au Etat Unis n'a pas été encore mis en service c'était imminent et puis il s'est effondré [17]. l'Etat Unis est un pays qui a les moyens de mettre en œuvre des règles parasismique de qualité.
- Un bâtiment supposé être parasismique au Japon, qui a perdu complètement un étage [17]. on sait que les Japonais vivent avec les séismes en permanence et ils apportent un grand soin à la construction parasismique.

Donc les règles parasismiques ne garantissent pas l'absence de dommages graves parce que :

les plus grands séismes ont une longue période de retour, ça peut être 2000 ans, 3000 ans, 4000 ans et quand on construit un bâtiment aujourd'hui on ne le protège pas contre des événements qui pourront éventuellement se produire plus tard, donc on se protège contre les séismes plus faibles.

- Les règles doivent être faciles à appliquer donc simples.
- Il ne faut pas que les règles entraînent un coût excessif, car ne seront pas réalisables.

Les règles parasismiques sont excellentes et elles assurent un bon comportement des bâtiments en cas de séisme. Mais un ouvrage en béton armé n'est pas parasismique que si les 03 conditions suivantes sont satisfaites :

- 1) La conception architecturale parasismique est fondamentale sur la position de l'implantation et l'orientation de l'immeuble sur le terrain, ou dans le site et la conception adéquate elle-même :
 - La séismicité de la nature du sol ;
 - La conception générale ;
 - Les éléments composant l'ouvrage.

- 2) Les normes de construction sont obligatoires, un ouvrage en béton armé doit être calculé suivant des règles parasismiques.

- 3) La qualité des matériaux et la mise en œuvre, l'exécution des travaux qui doit être soignée, il ne faut pas tricher sur les matériaux et la qualité du travail.

CHAPITRE

2

Les différents modes des ruines

1- LES DIFFERENTS MODES DE RUINES ET LES DEGATS OCCASIONNES DANS LES OUVRAGES EN BETON ARME PAR LE SEISME

Le séisme est un risque naturel majeur qui cause le plus de dégâts : de 1970 à 1979 les séismes ont fait 430.000 victimes et 12 milliards de dollars de pertes estimées [3].

Les séismes récents les plus destructeurs sont :

- Mexique (Mexico) en 1985 (M=8).

- Arménie (Spitak) en 1988 : plus de 25.000 morts, 500.000 sinistrés et des pertes directes chiffrées à 14 milliards de dollars ; la Ville de Spitak, 30.000 habitants été détruite à 100%.

- Turquie (Erinçan) en 1992.

- Loma Prieta en 1989 (M=6.9) : perte significative, la plupart des structures endommagées étaient les bâtiments avec maçonneries non renforcées.

- Northridge en 1994 (M=6.7) : ce séisme a montré certaines accélérations les plus élevées jamais enregistrées. Avec l'endommagement de divers types de structures.

- Algérie (Boumerdes) en 2003 (M=6.8) : plus de 2.500 morts et plus de 10.000 blessés, les immeubles résidentiels et commerciaux de plusieurs étages et des constructions récentes et anciennes ont subi les dégâts les plus dramatiques.

Les années dernières, l'Algérie a été épargné par des séismes meurtriers, comme le cas pour les pays au monde, il y a énormément de dégâts, des dommages graves.

La quasi-totalité des pertes en vies humaines est due à l'effondrement des bâtiments. Il n' y a pas de précipices, pas des failles qui s'ouvrent dans un terrain et qui se refermeraient sur des personnes, ça n'existe pas ce sont les constructions qui tuent. Le problème c'est que nous n'avons jamais appliqué, des dispositions parasismiques au bâti courant, on a un bâti relativement ancien, et donc il est vulnérable.

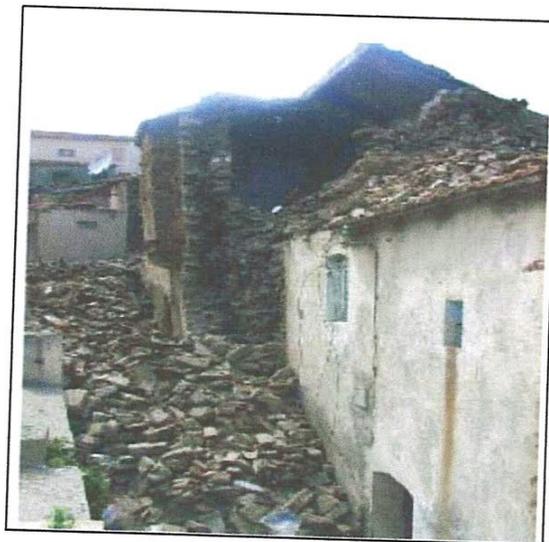
2-Pathologique constatée

Les principaux cas de pathologie de la construction en maçonnerie et en béton armé qu'on a pu constater dans le monde et surtout en Algérie suite au séisme sont :

- Maçonneries non chaînées ; angle vulnérable sans chaînage horizontal et vertical.



- Des ouvrages anciens en maçonnerie étaient réalisés avec des moellons taillés et hourdés avec un mortier de chaux ou à la terre. Les angles en maçonnerie sont très vulnérables et s'effondrent par accumulation de contraintes (Le séisme d'Algérie 2003).) [4] , exécution médiocre.



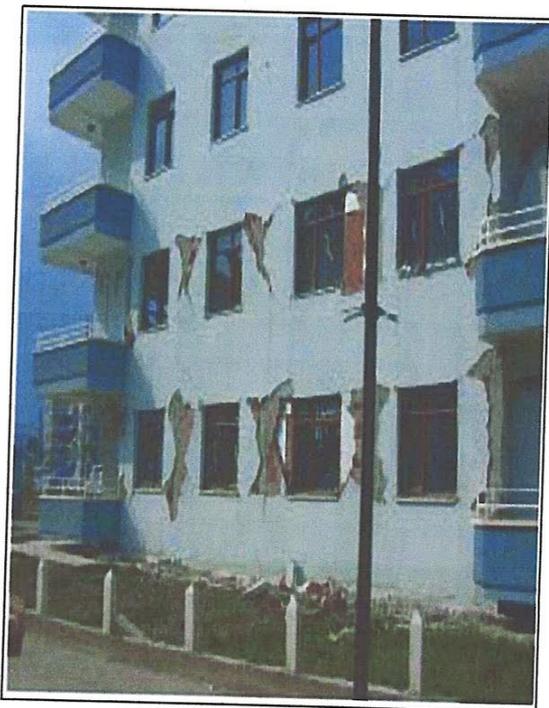
Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- Toitures ou planchers lourds avec des rigidités relatives " poutre- poteau" trop déséquilibrées.



Séisme d'El-Asnam Algérie en 1980

- La rupture par cisaillement des murs en maçonnerie (fissures en croix). Des fissures croix s'ouvrent dans un mur de remplissage en maçonnerie, ces fissures sont symptomatique de la fragilité de ces murs (manque de ductilité). Une fissuration en X dans le panneau de maçonnerie implique que le portique a été calculé et réalisé suivant les règles parasismiques.



Dégâts modérés à un immeuble de cinq étages.

Séisme de Kocaeli en Turquie en 1999



Dégâts modérés à l'hôpital de Dellys (Ville de Boumerdes).

Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- En général pour les murs de remplissage les plus fortes sollicitations sismiques touchent les étages inférieurs.

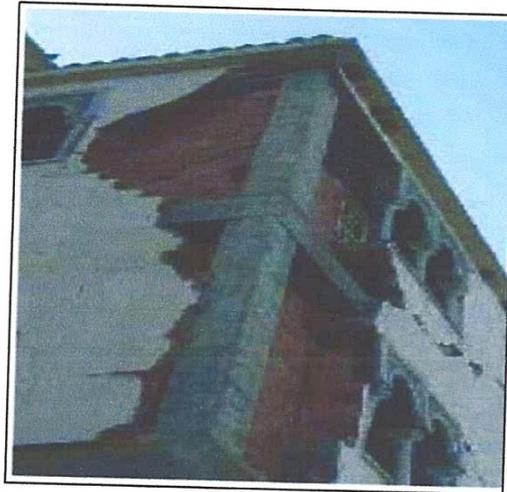


Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie



Séisme de Turquie en 1999

- Des maçonneries n'ont pas servi de panneaux de contreventement. Elles ont été fissurées et tombées, car elles sont situées hors plan de travail des portiques. Il n'y a pas interaction entre les panneaux et les poteaux. Ce sont donc les portiques qui ont supporté toutes les sollicitations dynamiques horizontales et verticales [4]. Ce cas est rencontré qu'au séisme de Boumerdes en Algérie.



Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- Détail courant des panneaux de remplissage non conformes aux Règles RPA 99, mur de remplissage : 10 cm + 20 cm (vide) + 10. [4].



Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- Placage en façade avec de la brique de 10 cm et brique d'épaisseur 5 cm non conforme aux Règles RPA 99. [4].



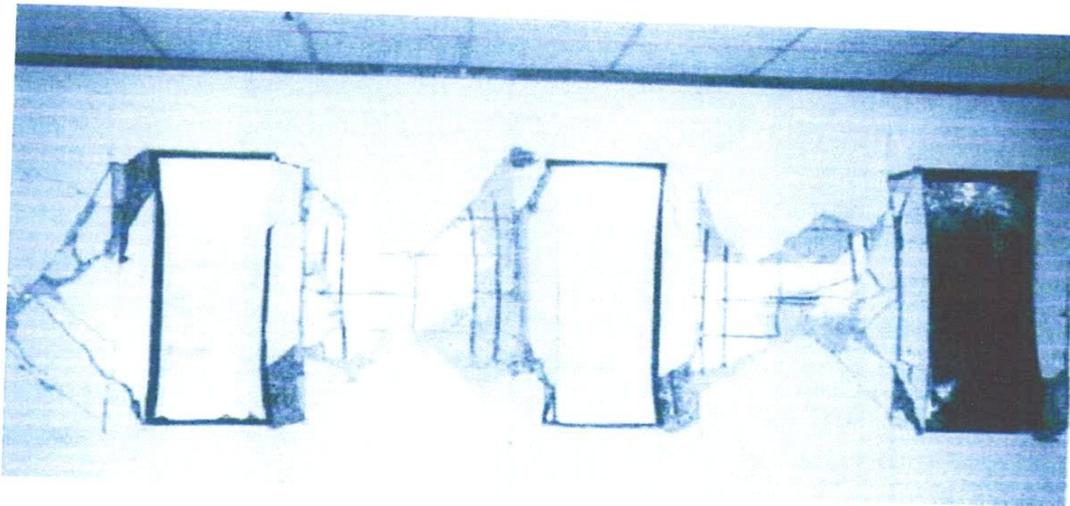
Brique d'épaisseur 10 en façade



Brique d'épaisseur 5 cm devant le poteau sur 6 étages

Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- La rupture par cisaillement des murs armés : Des fissures en croix s'ouvrent dans un mur armé [8]



Séisme northridge en 1994

- Plastification due à la flexion des nœuds en tête et (ou) pied de poteaux. Ce mode de ruine conduit à un effondrement en planchers mille-feuilles [4] , [9].



Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie



Séisme Northridge en 1994

- Cisaillement, rupture fragile des poteaux et effondrement en mille feuilles pour une structure poteau-poutre avec remplissage en maçonnerie.



Effondrement total d'un bâtiment
de 6 étages

Séisme du 21 mai 2003 en Algérie

- Un effondrement de type mille-feuilles s'est produit à proximité quand la petite dimension était parallèle à la faille [10].



Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- La section des poteaux étant souvent équivalente à celle des poutres, la plastification des nœuds s'est produite en tête ou en pied de poteau (rotule plastique des nœuds) [10],[14].



Séisme du Turquie en 1999

- Endommagement à cause de l'absence d'armatures transversales au cœur du nœud à l'intersection poteau-poutre [10].



Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- Effondrement à cause de l'absence d'armatures transversales dans le nœud et dans la zone critique du poteau [4].



Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- Rupture par cisaillement à l'extrémité des poteaux. [10]. Le ferrailage des poteaux est généralement réalisé par 8 armatures filantes en diamètre 14 mm avec des cadres espacés tous les 15 cm en partie courante et 10 cm dans la zone nodale conformément au RPA 99.



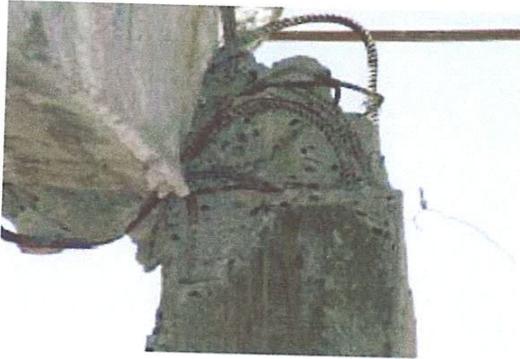
Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- Espacement constant des cadres du poteau [10].



Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- Destruction de l'extrémité du poteau du fait de l'absence des armatures transversales dans la zone critique du poteau [4].



Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- Destruction de l'extrémité du poteau du fait de la présence de la talonnette et l'insuffisance des armatures transversales [4].



Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- Destructions par cisaillement des poteaux courts, sont Souvent liées à des discontinuités des murs de remplissages en maçonnerie (dues à la présence des fenêtres ou d'interruptions des murs à mi hauteur, par exemple). Pour suivre les déplacements horizontaux des dalles, les colonnes ne peuvent pas se déformer que sur une partie de leur hauteur, ce qui augmente l'effort tranchant qu'elles subissent et engendre des rotules plastiques ou elles n'avaient pas été prévues. La ductilité de la structure s'en trouve considérablement réduite, ainsi que sa capacité à tolérer des inversions de la direction des sollicitations (charges cycliques) [7].



La présence de l'allège a limité le déplacement du poteau sur la hauteur libre et a provoqué son endommagement.



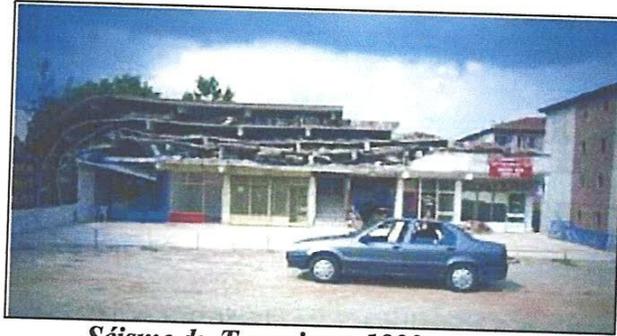
Cisaillement des poteaux courts sur la hauteur des fenêtres.
Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- Les étages souples, les rez de chaussées sont les plus exposés à l'effondrement, le RDC est souvent très sollicité, parce qu'un bâtiment quand il oscille c'est à la base qu'il y a le plus dégât si on l'affaiblit avec des poteaux, des pilotis, des vitrines comme RDC commercial sans murs, sans cloisons, il n'y avait que des poteaux. Des étages avec des chambres, beaucoup de cloisons, donc corps rigide repose sur RDC qui se comporte comme des jambes flexibles. Autrement dit les éléments de stabilisation latérale sont discontinus au rez de chaussée [14].



Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- L'inverse et aussi possible que les étages supérieurs sont des étages souples comme le cas d'un bâtiment lors du séisme du Turquie en 1999 [7].



Séisme du Turquie en 1999

- La conception des bâtiments, la présence des entailles dans le bâtiment, à chaque niveau, droit de la cage d'escalier ne peut qu'affaiblir le bâtiment [1].



Entaille au centre du bâtiment et sur toute la hauteur.



Entaille au centre du bâtiment effondré.



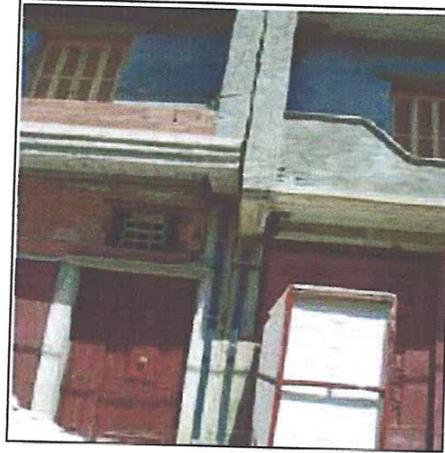
La présence d'une poutre au niveau de l'entaille qui prolonge le plancher au droit du vide améliore le comportement d'ensemble.

Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

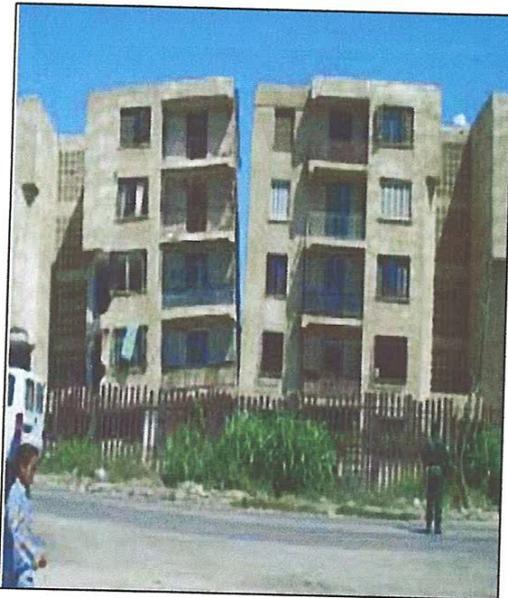
- Problème de joint entre les bâtiments, absence, épaisseur non conforme au règlement et mauvaise réalisation [4]. D'après la réglementation parasismique, les joints doivent avoir une largeur minimale de 4 cm vide de tout matériaux.



Joint de 10 cm remplis avec du polystyrène.



Absence de joint entre les bâtiments.



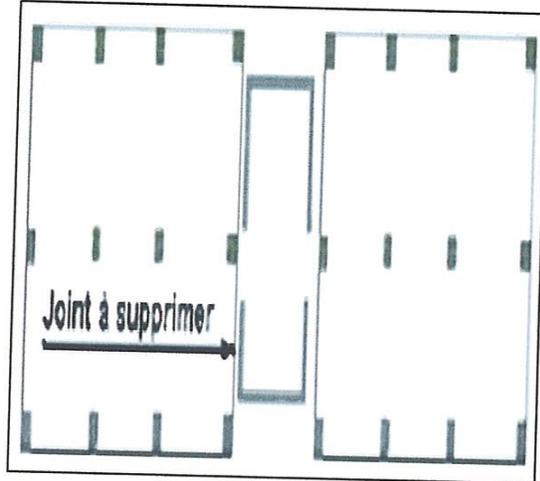
Ouverture des bâtiments vers le haut après entrechoquement.



Joint de 2 cm remplis avec du polystyrène.

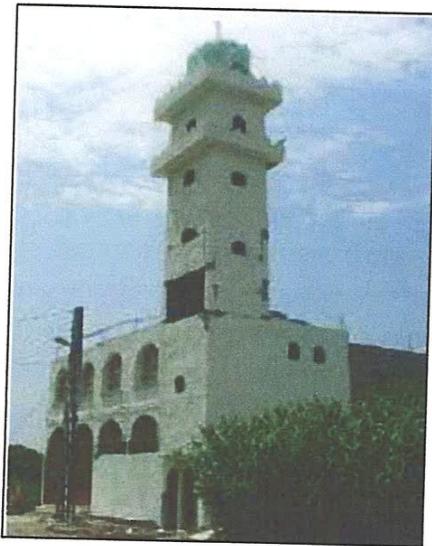
Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- Mauvaise conception, immeuble R+4, qui a perdu son rez de chaussée et ces deux étages, les blocs d'habitation en poteaux-poutres n'étaient pas solidaires du bloc d'escalier en voile et son rez de chaussée était transparent. [10]



Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- Les minarets de la plupart des mosquées ont été endommagés, il s'agit d'un défaut de conception. Le changement de rigidité est trop brutal, il faudrait séparer ces blocs par un joint parasismique adapté aux déplacements possibles [10].



Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie

- Mosquée possède deux minarets indépendants du reste de la structure raison pour laquelle ils sont intacts. La base n'a été que partiellement endommagée surtout au niveau des remplissages en briques mais l'ensemble pourra être réparé [10].



Séisme du 21 Mai 2003 en Algérie (Ville de Sidi Daoud)

CHAPITRE

3

Synthèses des causes

1- Les causes pathologie sismique

Les trois aspects interviennent dans la réalisation d'un projet de construction parasismique comme en a cité précédemment. la conception. Le calcul et la qualité de la réalisation. Acte égard toute insuffisance au niveau de ces trois paramètres peut concourir au mauvais comportement voire à la ruine de la construction pour un niveau de sollicitation sismique donnée [5]

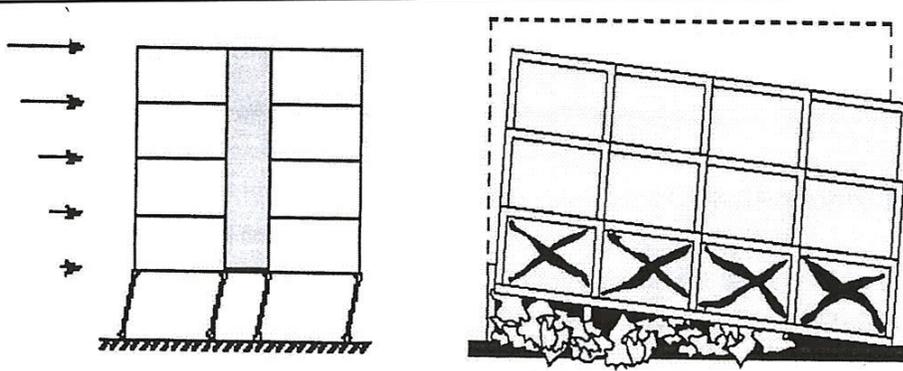
1.1 Erreurs de conception

a) Rez –de- chaussée flexibles

Les rez de chaussées sont les plus exposés à l'effondrement. le RDC est souvent très sollicité parce qu'un bâtiment quand il oscille c'est à la base qu'il y a le plus de dégât si on l'affaiblit

Les constructions qui possèdent un rez –de –chaussée ajouré sont particulièrement vulnérables comme ;

- Les supermarchés et les parkings ; pour gagner de la place. On a renoncé aux murs ils sont remplacés par des piliers. ces piliers résistent mal aux forces horizontales provoquées par un tremblement de terre ces colonnes se plient et les étages supérieurs écrasent le RDC . On peut dire que le bâtiment repose sur un pied d'argile ou un rez de chaussées flexible horizontale
- Des étages avec des chambres beaucoup de cloisons donc corps rigide repose sur RDC qui se comporte comme des jambes flexibles . Autrement dit les éléments de stabilisation latérale sont discontinus au rez de chaussée



Destruction partielle des poteaux et des murs au rez-de-chaussée et à l'étage avec la ruine des poteaux.

Figure 1.3 Rcz-de-chaussée flexible.

b) étages supérieures flexibles

Quand la stabilisation horizontale est affaiblie ou totalement absente dans un étage supérieur nous donne un étage flexible et conséquent un mécanisme de poteaux dangereux

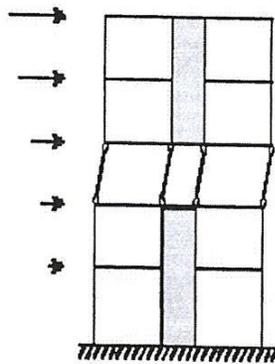


Figure 1.4 Etage supérieur flexible.

c) stabilisations non symétrique

Lorsqu'une structure présente des dissymétries de telle sorte que le centre de gravité des masses ne coïncide pas avec le centre de torsion. Une excitation horizontale de direction quelconque engendre en général des oscillation de torsion d'axe verticale couplées aux oscillation latérales .en outre .il a été constaté que même pour des bâtiment symétrique .des oscillations de torsion ou couplage d'oscillation ont tendance a naitre spontanément. En raison vraisemblablement de dissymétries au niveau de l'excitation (le mouvement du sol n'est pas le même en tout point de l'emprise du bâtiment)

Et de propriétés mécaniques réelles de la structure

Les poteaux angle sont particulièrement exposés a ces torsion [6]

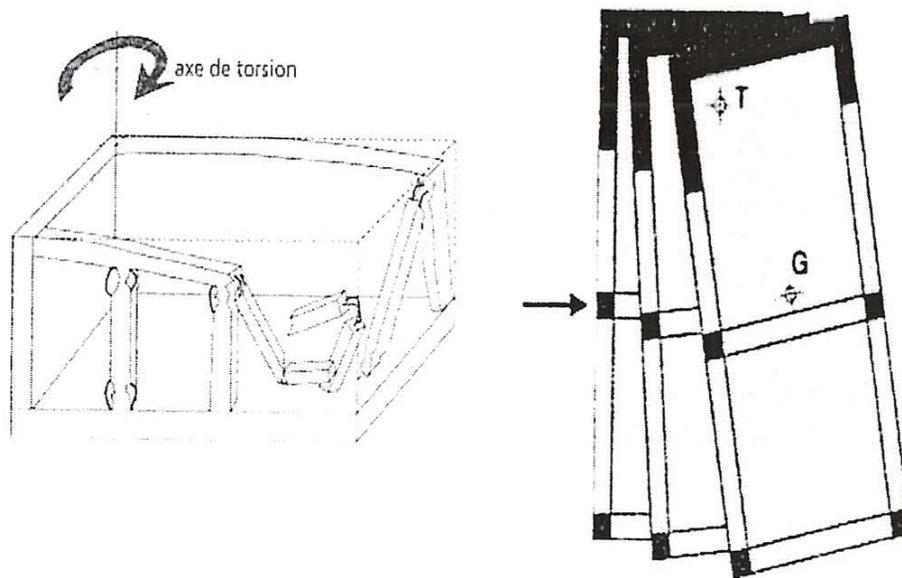


Figure 1.5 Déformation des poteaux d'angle en cas de torsion d'axe vertical.

d) fausses symétries

On peut rencontrer des bâtiment dont l'apparence est parfaitement symétrique mais par la présence des murs de remplissage ils deviennent non symétrique . cette dissymétrie peut aussi provenir de charges mal centrées [15] ce qui nous donne la torsion et le bâtiment devient plus souple en cas de secousse se met vriller autour des parties rigides qui deviennent excentrées

e) discontinuités de stabilisation

La disposition différente en plan et ou en élévation sur la hauteur des bâtiments présente des points sensibles qui conduisent à l'effondrement au droit des discontinuités.les moments de manière satisfaisante .c'est pourquoi toute discontinuité de stabilisation est absolument à éviter(18)

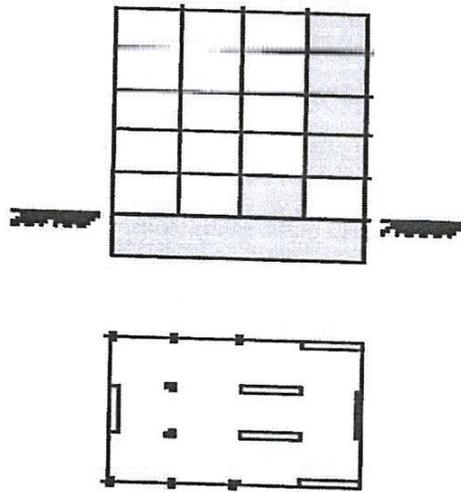


Figure 1.6 Les discontinuités de stabilisation.

f) problème des sauts de rigidité et de résistance

Des sauts de rigidité et de résistance du contreventement principal sur la hauteur de la structure porteuse peuvent entraîner un comportement dynamique irrégulier et engendrer des problèmes lors de transmission locale des efforts. Une augmentation de la rigidité et de la résistance de bas en haut (à gauche de la figure 1.6) est nettement moins favorable qu'inversement. En tout cas le plus grand soin doit être apporté au dimensionnement et aux dispositions constructives des zones de transition

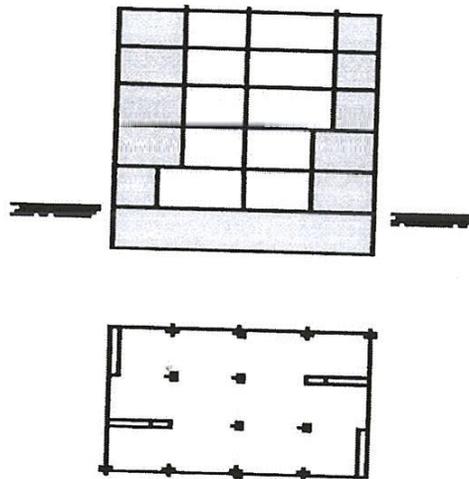


Figure 1.7 Les sauts de rigidité et de résistance sont problématiques.

g) remplissage des cadres par de maçonnerie

Le remplissage des cadres par de la maçonnerie donne une combinaison extrêmement défavorable car les cadres sont souples et plus ou moins ductiles le contraire de la maçonnerie rigide et en même temps fragile. Au début d'un tremblement de terre la maçonnerie reprend presque toutes les forces sismiques mais après elle s'effondre souvent par la compression oblique ou glissement (un faible frottement suite à un manque de compression) il peut aussi arriver que la maçonnerie cisaille les piliers [4] [18]

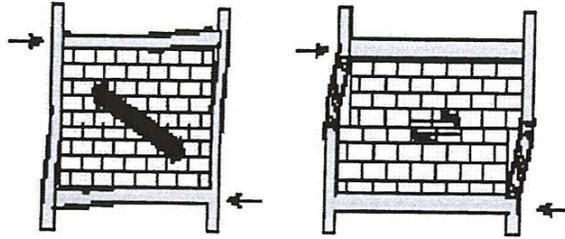


Figure 1.8 Remplissage des cadres par de la maçonnerie.

h) constructions en brique non armé

Les japonais ont toujours craint les constructions en brique car la maçonnerie en brique est fragile et elle est une dissipation d'énergie relativement faible [15]. La brique est extraordinaire pour son isolation thermique et pour le confort qu'il procure mais elle ne résiste pas aux efforts horizontaux d'un séisme.

i) cisaillement des colonnes courtes

pour le poteau court et massif, il se produit un gradient de moment ce qui implique un grand effort tranchant ce qui nous donne une rupture par cisaillement aux niveaux poteau avant d'atteindre le moment plastique [18].

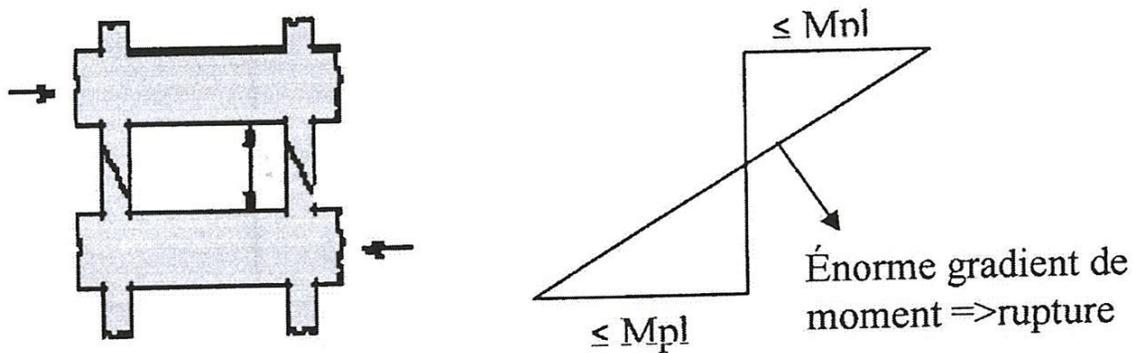


Figure 1.9 Cisaillement des colonnes courtes.

j) manque de plus de compact

Les parties gauches et droites du bâtiment sur la figure ci –dessous voudraient vibrer de façon différent mais elles se gênent mutuellement .Ceci conduit en particulier dans la zone de transition a de forts sollicitation Le comportement s'avère nettement meilleur si l'on sépare le plan en deux parties compactes par un joint [18]

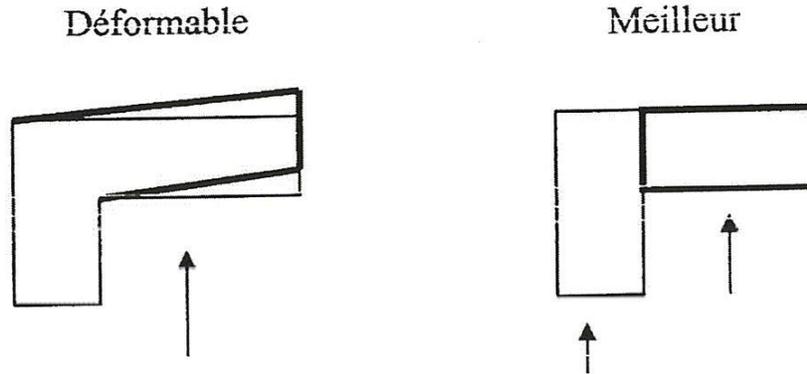


Figure 1.10 Décomposition des volumes par des joints.

k) absence ou non conforme au règlement des joints entre deux bâtiment

La largeur des joints doivent être conforme au règlement et doivent être vide et ne présentent Pas des points de contact [4] pour éviter que les bâtiments voisins s'entrechoque et se martèlent parce que ces phénomènes sont très dangereux lorsque les dalles des bâtiments voisin se trouvent a des niveau différents et heurtent les poteaux de l'autre bâtiments [18]

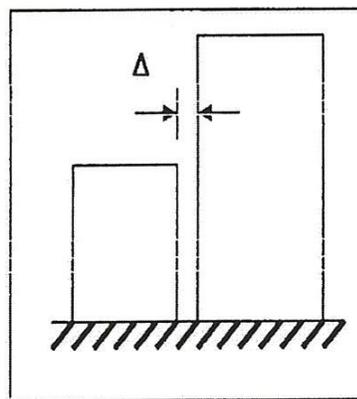


Figure 1.11 Concevoir des joints entre deux bâtiments de façon appropriée.

L) mauvaise cohésion des dalles

Les dalles doivent être compactes et être reliées avec tous les éléments porteurs verticaux de façon à pouvoir transmettre la compression et la traction. Les dalles monolithiques en béton armé qui fonctionnent dans leur plan comme des voiles rigides et conservent ainsi la section des refends sont préférables. Les dalles en éléments préfabriqués sans béton armé de liaison ne sont pas recommandés

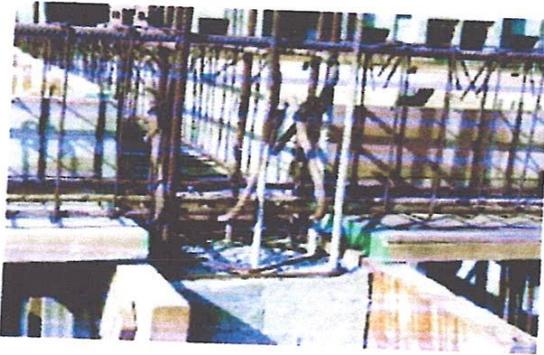
m) liquéfaction du sol

La liquéfaction du sol due aux conditions géologiques comme l'existence des nappes phréatiques à une profondeur très proche de la surface de la terre ou mauvais sol « sol mou » ce qui conduit à la liquéfaction du sol de fondation. Le principe de non-résonance entre les bâtiments et le sol pour éviter 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 une structure rigide sur un sol mou (sauf en cas d'utilisation d'isolateur)

N) La rupture par cisaillement des nœuds

La rupture par cisaillement des nœuds est causée par la non ductilité du béton armé au moment de la résistance des portiques. Pendant le tremblement de terre une rupture fragile de cisaillement dans les joints peut causer toute l'effondrement de la structure [4] la rupture de ces derniers dans un bâtiment est due à

- ❖ Absence des armatures transversales dans les zones critiques d'extrémité des poteaux et des poutres
- ❖ Absence ou insuffisance des armatures transversales dans les nœuds au croisement poteau-poutre
- ❖ Mise en place d'une talonnette en pied de poteau d'environ 5 à 10 cm en mortier de mauvaise qualité
- ❖ Quatre surfaces de reprise de bétonnage en pied et en tête du poteau à cause de la présence des deux talonnettes (figure 1.12)
- ❖ Structure sans résistance à l'action sismique



Arrêt du coulage du poteau à environ 5 cm sous la sous face de la poutre. Absence d'armatures transversales dans le nœud.



Effondrement à cause de l'absence d'armatures transversales dans le nœud et dans la zone critique du poteau



Talonnette et enrobage des armatures de 8 cm au lieu de 2 cm

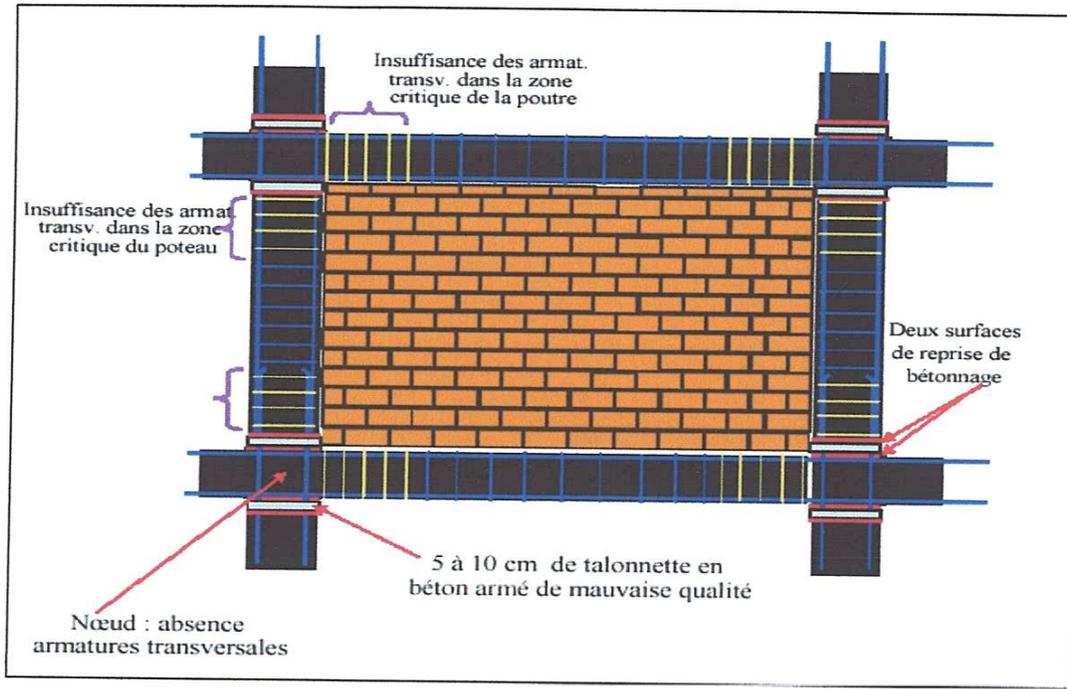
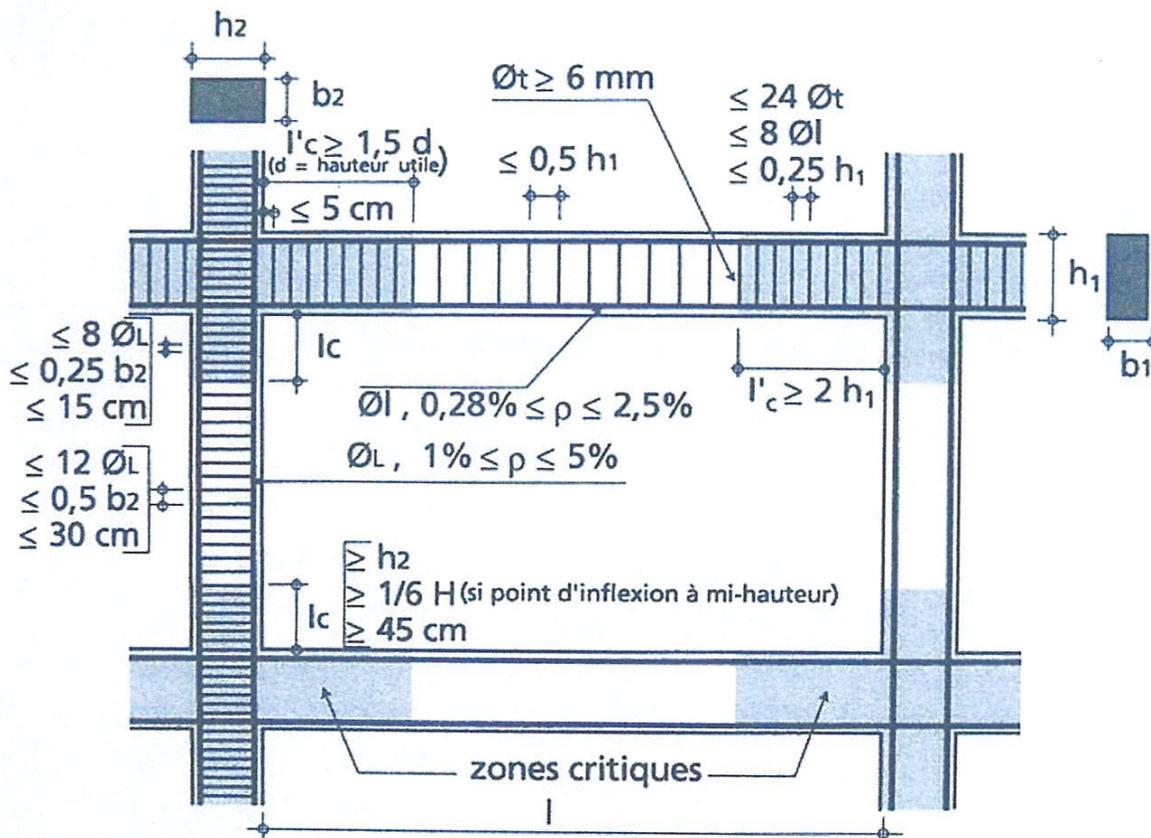


Figure 1.12 Dispositions constructives non conformes aux règlements



ρ = pourcentage géométrique des armatures longitudinales

Dispositions constructives conformes aux règlements.

o) Problème de poteau faible poutre forte

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 « de poteaux fort –poutre faible » permet cette démarche [16]. Parce que l'une des principales causes techniques, qui provoque les désordres aux constructions à ossature autostable est le dimensionnement généralement utilisé pour les poutres et les poteaux , tel que l'inertie des poutres est nettement supérieure à celle des poteaux , ce qui favorise la création de rotules plastiques dans les poteaux . les mécanismes qui pourraient alors se développer dans les structures seront plus dangereux que dans le cas où les rotules plastiques sont situées dans les poutres.

p) Toitures ou planchers lourds avec des rigidités relatives

Les ouvrages avec des toits lourds vont répondre très bien aux sollicitations du sol et avoir de la résonance, donc il y aura énormément de dégâts.

1.2 Erreur de calcul

Ce que l'on retrouve le plus souvent à ce niveau, c'est l'absence tout court de calcul parasismique. En Algérie ceci est valable pour la majorité des constructions étudiées et réalisées avant 1981 et pour une partie appréciable de celles réalisées après 1981 (constructions individuelles entre autres) [5].

Le plus grand risque pour les vies lors d'un tremblement de terre vient de la vulnérabilité des constructions anciennes, le problème que nous n'avons jamais appliqué des dispositions parasismiques au bâti courant, on a un bâti relativement ancien, et donc ce bâti est vulnérable y compris à des mouvements qui ne sont pas très élevés. Les codes récents prennent en compte le comportement dynamique des structures, donc une amélioration de la résistance sismique s'impose l'initiative de renforcement est souhaitable.

1.3 Qualité de la réalisation

La qualité des matériaux de construction est aussi un facteur prépondérant dans la préservation des constructions, la mauvaise qualité des matériaux de construction d'une part et une mauvaise mise en œuvre d'autre part conduise à des dégâts au niveau des ouvrages lors d'un séisme. Donc la qualité doit répondre à un minimum de règles de l'art aussi bien au niveau des matériaux et composants de gros œuvre (et particulièrement de structure) eux mêmes, qu'au niveau également de leur mise en œuvre.



Talonnets de 10 cm en mortier de très mauvaise qualité



Insuffisance d'armatures transversaux, béton de mauvaise qualité, rupture au droit de la surface de reprise



Béton de mauvaise qualité, absence d'armatures dans la zone critique, talonnets de 6 cm



Béton de mauvaise qualité, présence du papier en dessous de la talonnets de 6 cm

Figure 1.13 Mauvaise qualité des matériaux de construction et une mauvaise mise en œuvre.

CHAPITRE

4

Les techniques de réparation des bâtiments

1- RENFORCEMENT DES OUVRAGES EXISTANTS

Pour les ouvrages neufs on peut appliquer les règles parasismiques, mais le grand problème a été évoqué c'est l'ouvrage existant qui a été construit il y a longtemps ou bien récent mais avant les règles parasismiques modérées, le problème est assez complexe, il faut d'abord évaluer la vulnérabilité de la construction, détecter ses points faibles puis donner la meilleure stratégie.

2- L'objectif de renforcement

L'objectif de renforcement est de déceler les défauts de structure type qui ont été observés lors des séismes passés et qui ont entraîné des défaillances et de chute d'éléments structuraux, ainsi qu'un effondrement partiel ou total causant aux occupants des blessures ou des pertes de vie. Des bâtiments existants susceptibles de présenter de sérieux risques de pertes de vies ou de blessures aux personnes, en cas de séisme grave. Donc les bâtiments existants devraient être renforcés sur le plan sismique afin d'augmenter leur niveau de service, c-à-d rehausser leur résistance ; leur rigidité et leur ductilité. Les objectifs de renforcement sont :

- a-** limiter les conséquences directes, c'est-à-dire éviter l'effondrement meurtrier des constructions, sans toutefois éviter des désordres réparables ou non ;

- b-** limiter les conséquences indirectes, c'est-à-dire assurer la continuité du fonctionnement de tous les services de secours et de soins aux victimes, évitant ainsi d'augmenter le nombre de morts, comme les hôpitaux qui doivent être parer aux effets sismiques afin que les besoins fonctionnels soient toujours maintenus immédiatement après un tremblement de terre important.

- c-** éviter les conséquences induites, c'est-à-dire éviter que des désordres, même limités, dans certaines constructions et installations n'entraînent des répercussions graves pour l'environnement, alourdissant ainsi le bilan d'un séisme.

Pour la réhabilitation d'un immeuble d'habitation, il est nécessaire de prendre en compte ce qui suit [11] :

- Sécurité des personnes;
- Protection des éléments et du contenu du bâtiment;

- Perturbation minimale des activités à l'intérieur du bâtiment pendant les travaux;
- fonctionnement normal du bâtiment après les travaux;
- Préservation de l'aspect et de la valeur patrimoniale du bâtiment;
- Exécution des travaux au moins coût.

3 - LES TECHNIQUES DE RENFORCEMENT

3.1 Introduction

Le risque sismique est lié à l'alea sismique et la vulnérabilité de la construction, l'action sismique subie par une structure est directement proportionnelle à l'accélération qui est imposée par le sol et par sa propre masse, on peut utiliser des appuis parasismique appelés isolateurs pour réduire cette accélération et on peut réduire la masse en utilisant un matériaux ayant non seulement une masse volumique faible mais aussi en utilisant un matériau le plus performant possible celui possédant une contrainte spécifique élevée (le rapport entre la contrainte de rupture et la masse volumique). Parmi les matériaux traditionnels, le bois arrive en tête devant l'acier et le béton armé aussi l'apparition des matériaux composites.

La limitation des effets de l'action sismique peut se faire :

- En commençant par éviter le risque de résonance avec le sol ;
- Il faut appliqué les trois principes de base de conception suivante :
- Recherche à maximiser la capacité des constructions à stoker l'énergie.
- Recherche à favoriser la capacité des constructions à dissiper de l'énergie.
- Recherche à favoriser la résistance mécanique.

Plusieurs bâtiments existants construits selon des codes plus anciens, ces bâtiments conçus pour les charges gravitaires et rarement édifiés de façon à résister aux secousses sismiques. Et plusieurs bâtiments existants sont caractérisés par les travaux non conformes suivants :

- poteaux peu résistants au cisaillement.
- isolation insuffisante dans les zones d'articulation à la flexion.
- barre de recouvrement inadéquat pour le renforcement longitudinal et transversal.
- systèmes fondés sur des poutres fortes et poteaux faibles.
- assemblage poutre poteau peu résistant au cisaillement.

Dans le cas d'une action gravitaire, les déformations restent dans un état élastique. Les sollicitations provoquant des déformations plastiques ne sont pas prises en compte qu'aux états limites ultimes. En outre, les actions gravitaires agissent dans une certaine direction. Mais dans le cas d'un séisme, la structure porteuse subit des actions qui génèrent des déformations dépassant le domaine élastique, ces déformations plastiques s'appliquent de façon cyclique, leur direction varie continuellement [12].

En admettant deux comportements de la structure :

a- Comportement non ductile : la structure possède une faible capacité de déformation plastique et une possibilité restreinte de dissipation d'énergie [12].

b- Comportement ductile : on cas de séisme on peut avoir des rotules plastiques au niveau des éléments de la structure, donc il faut construire une structure qui puisse supporter les déformations plastiques sans mettre en cause la capacité de la structure à supporter les charges gravitaires.

L'Algérie peut tirer une leçon très importante des séismes passés relativement à la résistance des bâtiments existants, où la résistance au séisme de la grande majorité des bâtiments n'est pas adoptée à des mouvements sismiques moins importants que ceux qui sont précisés dans le nouveau règlement. Par conséquent, l'amélioration de la résistance des anciens bâtiments aux séismes pour atténuer les risques qu'ils présentent et assurer la sécuriser de leurs habitants.

Les principaux paramètres influant sur les risques sont :

- La sismicité du lieu ;
- La vulnérabilité de l'ouvrage ;
- Les dimensionnements de la structure de l'ouvrage.

Le niveau de sécurité requis pour une construction existante doit être fixé sur la base d'une étude de risque. Ceci nécessite une connaissance plus judicieuse des paramètres définissant le comportement sismique [12].

Dans le règlement Algérien il y a un manque des méthodes techniques pour la réhabilitation, au future, il sera nécessaire de développer des méthodes et des techniques parasismiques modernes pour les raisons suivantes :

- l'augmentation de la résistance de certains éléments de la structure;
- l'augmentation de la déformation ou de la ductilité des éléments ;
- réduire de façon significative la fréquence propre;
- l'augmentation de la rigidité globale de la structure;
- l'augmentation de l'amortissement dans certains éléments.

3.2. Amélioration de la résistance des éléments structuraux porteurs à l'aide du Matériaux Composites

Le renforcement à l'aide de matériaux composites s'avère être une technique très prometteuse pour l'amélioration de la résistance des structures en béton armé existants [13]. L'utilisation des matériaux composites permet :

- d'augmenter le confinement;
- d'augmenter la ductilité de l'élément;
- D'augmenter la résistance au cisaillement et empêcher les ruptures par cisaillement.

Les composites de fibres tels que la fibre de verre, la fibre de carbone et l'aramide enchâssée dans une résine matrice, possèdent habituellement un rapport résistance-poids élevé que celui des matériaux conventionnels tels que l'acier [13].

La technologie du renforcement par les fibres est relativement simple, très peu dérangement pour les occupants des bâtiments et peu exigeante en main d'œuvre, elle représente une solution de rechange la plus souhaitable en matière d'accroissement de la résistance des bâtiments existants.

3.2.1 Technique utilisée

Le processus passe généralement par les étapes suivantes [NBCC 95] :

1. inspecter la condition de surface de l'élément de structure à renforcer.
2. réparer les fissures et les surfaces effritées avec une injection d'époxyde et du mortier à résine époxydique.
3. préparer la surface de l'élément de structure (avec des meules à main et du sablage humide au besoin) en éliminant les saillies et en s'assurant que le profil est adéquat.
4. appliquer une couche d'apprêt puis du mastic de vitrier afin d'assurer l'adhérence des feuilles de fibres.
5. appliquer une première couche d'agent d'imprégnation.
6. appliquer les feuilles de fibres sur la surface, comme s'il s'agissait de papier peint.
7. appliquer une deuxième couche d'agent d'imprégnation, une fois que les feuilles auront bien durci, généralement au bout d'une heure.
8. répéter les étapes 6 et 7, jusqu'à ce que toutes les couches de fibres soient installées.

3.2.2 Poteaux

De nombreuses recherches ont été réalisées dans le but de déterminer l'efficacité des chemises de composite de fibres en matière d'adaptation des poteaux.

Des essais de renforcement ont été effectués sur des poteaux, en appliquant des charges cycliques horizontales sur leurs sommet, les résultats ont prouvé l'efficacité des chemises de fibres de carbone pour les trois modes de défaillance possibles des poteaux, c.-à-d. provoquée par une flexion, un cisaillement et un décollement des barres de recouvrement.

La Figure 1.13 montre les essais de Renforcement avec des chemises de matériaux composites (Priestley et coll. 1996); (a) renforcement de poteaux rectangulaires : moulage à la main; (b) renforcement de la zone de chevauchement des appuis de poteaux circulaires [13].

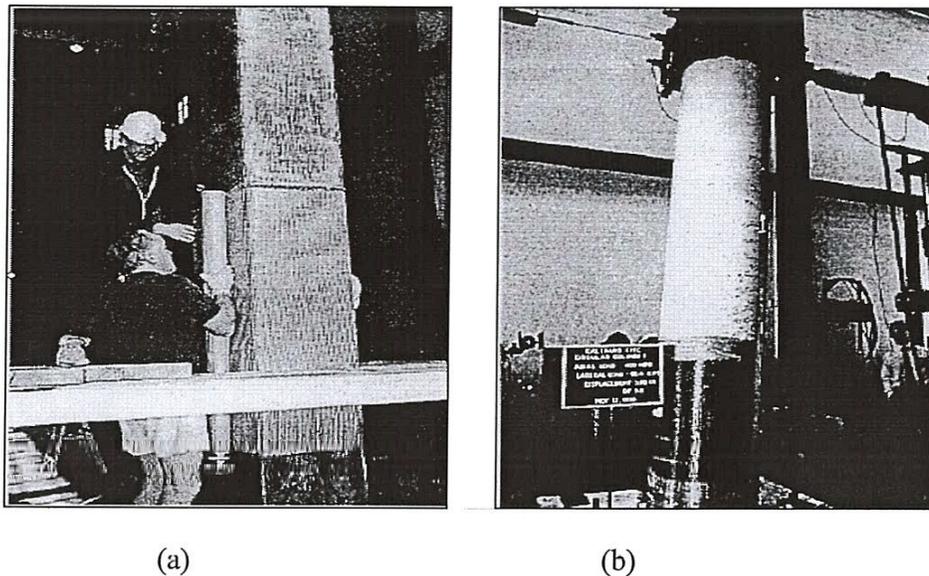


Figure 1.14 Essais de renforcement des poteaux avec des chemises de matériaux composites [13].

3.2.3 Poutre

La résistance des poutres à la flexion et au cisaillement a été étudiée en profondeur par Arduini et Nanni 1997; Mukhopadhyaya et Coll.1998, Toutefois, dans toutes les études expérimentales, seules des charges statiques étaient appliquées. Le renforcement relatif à la résistance à la flexion consiste à coller les tôles ou les feuilles de PRF sur le pan de tension de la poutre. La longueur de la tôle (ou de la feuille) est habituellement identique ou légèrement inférieure à celle de la poutre. Pour accroître la résistance au cisaillement de la poutre Arduini et Nanni (1997) ont utilisé, en enveloppant les trois côtés de la poutre avec deux feuilles de PRF (c.-à-d. chemises en U). En plus de l'ancrage de la feuille de PRF autour de la base de la poutre, ce système permet d'accroître la résistance au cisaillement de la poutre [13].

3.2.4 Nœuds

Les études sur le renforcement des assemblages poutre-poteau à l'aide de feuilles de PRF sont très rares. Tout récemment, Pantelais et Coll. (2000) ont communiqué les résultats d'une étude expérimentale qu'ils ont effectué à la Utah Université, Salt Lake City. Le renforcement accroisse la résistance au déplacement, cela n'est pas l'effet recherché (amélioration de la résistance au cisaillement et la ductilité de l'assemblage [13].

3.2.5 Renforcement des murs de contreventement

Le renforcement des murs de contreventement en béton armé à l'aide de feuilles de composite de fibres semble une solution de rechange possible. La résistance à la charge et la ductilité des murs renforcés s'améliore lorsque des feuilles de composites de fibres sont ajoutées des deux côtés des murs [13].

3.3 Amélioration des éléments structuraux à l'aide de chemises en acier

3.3.1 Poteaux

Le renforcement de poteaux circulaires avec des chemises en acier circulaires et le renforcement de poteaux rectangulaires avec des chemises elliptiques permettent d'améliorer considérablement la résistance sismique des poteaux. L'efficacité des chemises en acier a été clairement démontrée, à la fois par les recherches expérimentales et par les observations sur le terrain effectué durant le séisme de Northridge en 1994. Plusieurs ponts renforcés avec des Poteaux enveloppés de chemises en acier se trouvaient dans des régions ayant subi des secousses intenses qui ont atteint une accélération maximale de 0,25 g. Aucun de ces poteaux ne semble avoir subi de dommages importants (Chai, 1996). Les chemises en acier pourraient éventuellement être utilisées dans les installations industrielles possédant un nombre restreint de poteaux nécessitant un renforcement. Cependant, dans le cas des bâtiments types où plusieurs poteaux doivent être renforcés, cette technique s'avère trop onéreuse [13].

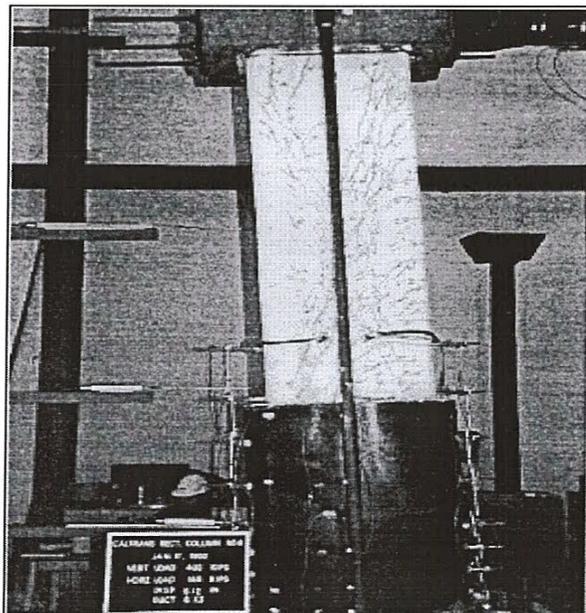


Figure 1.15 Barre de recouvrement d'une base de poteau rectangulaire renforcé avec une chemise en acier [13].

Pour les poteaux circulaires, les chemises prennent la forme de deux demi-couches légèrement surdimensionnées pour faciliter leur installation, soudées sur place aux jointures verticales. Pour les poteaux rectangulaires, la chemise est habituellement roulée en forme elliptique et les espaces les plus larges entre le tubage et le poteau sont remplis de béton plutôt que de coulis de ciment.

Les chemises en acier rectangulaires destinées au renforcement des poteaux rectangulaires améliorent aussi la résistance et la ductilité des poteaux. Toutefois, les résultats des recherches ont démontré que les chemises rectangulaires sont moins efficaces que les chemises elliptiques [13].

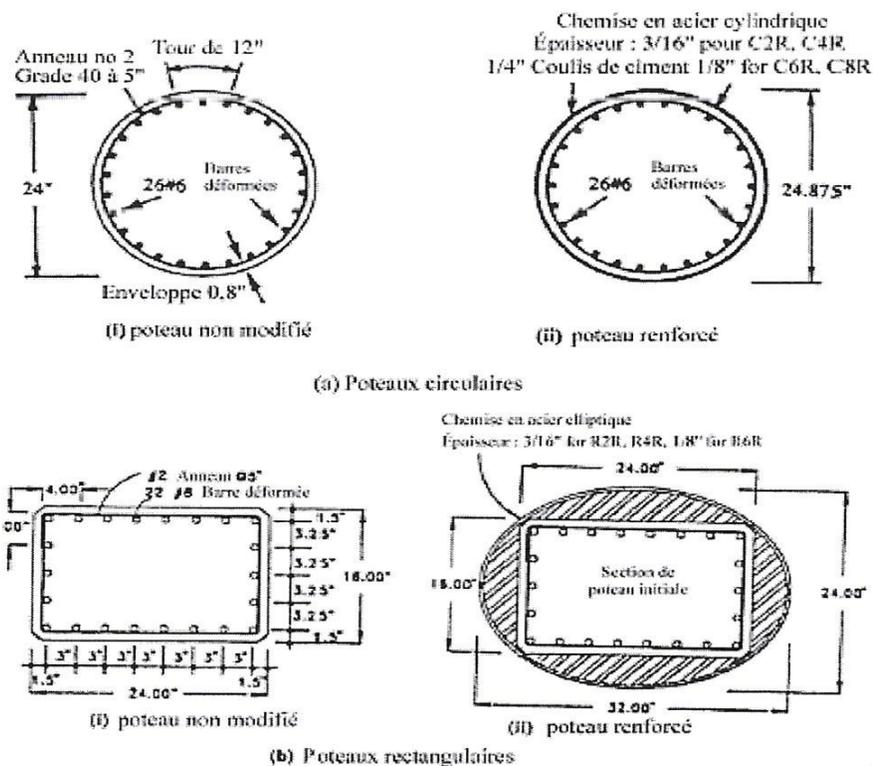


Figure 1.16 Renforcement des poteaux circulaires et rectangulaires avec des chemises en acier [13].

3.3.2 Assemblages poutre-poteau

Peu de recherches ont été effectuées sur le renforcement des assemblages poutre-poteau semblent être un moyen efficace de renforcer les assemblages poutre-poteau. Toutefois, ces techniques ont été développée dans un but particulier, c.-à-d. pour des assemblages poutre-poteau sans dalles de plancher. Les systèmes de dalles employés dans les structures de bâtiments ordinaires rendraient difficiles les opérations de renforcement des assemblages poutre-poteau.

Des études expérimentales portant sur la réaction des assemblages intérieurs et extérieurs types auxquels étaient appliquées des charges cycliques ont été effectuées. Le spécimen était composé de poteaux flexibles, de poutres solides et de joints faibles, ce qui représentait le type de conception non ductile. Il était composé d'une chemise en acier ondulée enveloppant le poteau et la poutre, afin d'améliorer leur résistance à une secousse sismique [13].

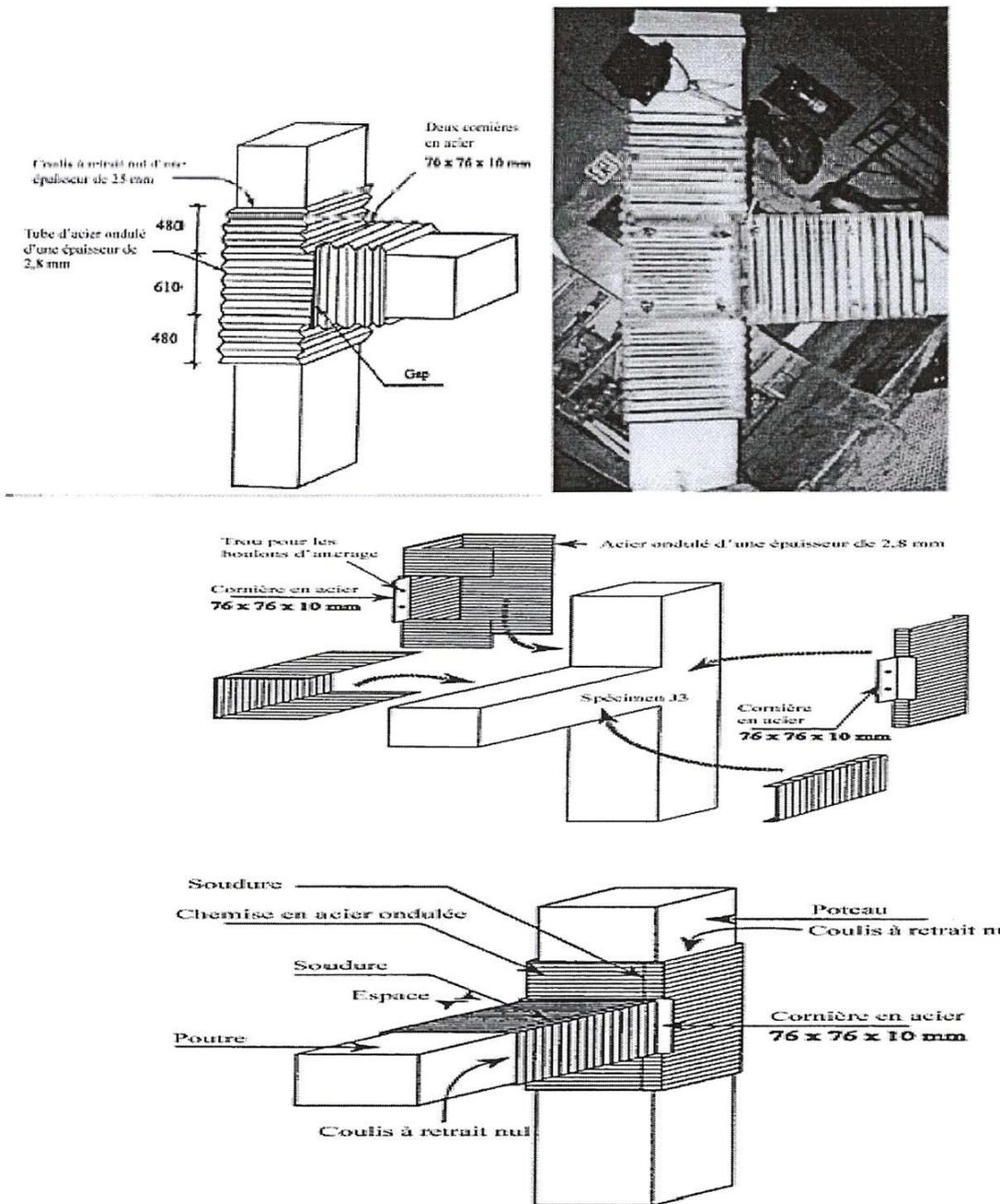


Figure 1.17 Assemblage de chemises de poutre et de poteau [13].

3.2.4 Amélioration des poteaux en béton armé par précontrainte transversale

Une nouvelle technique mise au point à l'Université d'Ottawa est appelée Retro-blet (Saatcioglu et coll., 2000), utilise des poteaux en béton précontraint obtenus au moyen de bandes d'acier à haute résistance placées autour des poteaux. Les bandes d'acier, faites de torons en acier à sept fils et d'éléments d'ancrage spécialement conçus, sont placées autour du poteau en respectant des espacements particuliers et sont précontraintes à un niveau de contrainte prédéterminé. Les éléments d'ancrage, placés sur la surface du poteau, assurent un ancrage adéquat des deux extrémités du toron. Bien que le toron en acier agisse comme une armature supplémentaire contre le cisaillement, la pression latérale active améliore le confinement du béton, augmentant la résistance au cisaillement et à la flexion.

Cette méthode de renforcement des poteaux de bâtiment est prometteuse. Elle est efficace et peut être nettement plus économique que l'utilisation de chemises d'acier. L'installation d'un tel système occasionne une gêne moindre pour les occupants des bâtiments. Cette technique a été mise au point au cours des trois dernières années et son application potentielle dans le secteur des bâtiments n'a pas encore été réalisée [13].

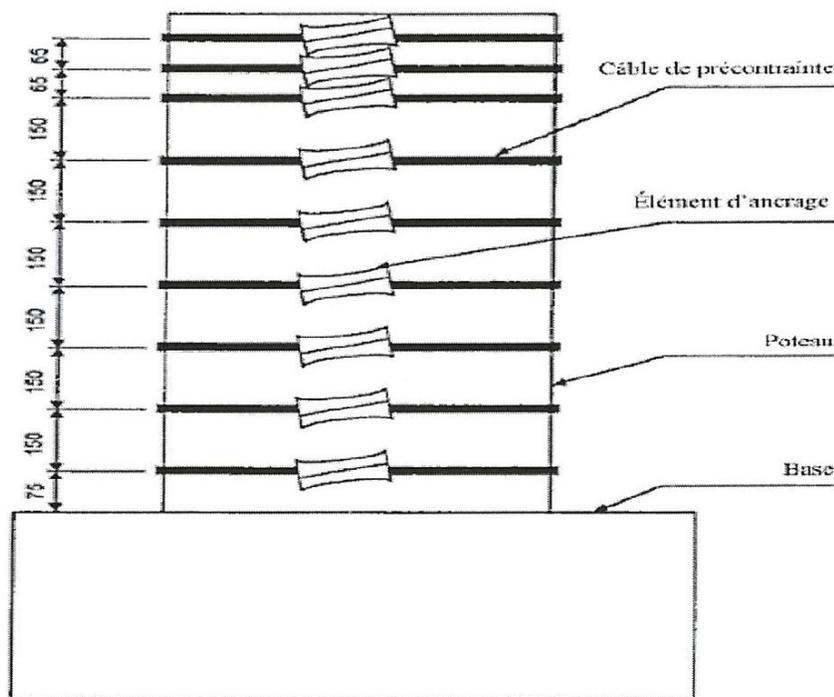


Figure 1.18 Renforcement d'un poteau circulaire à état de cisaillement dominant [13].

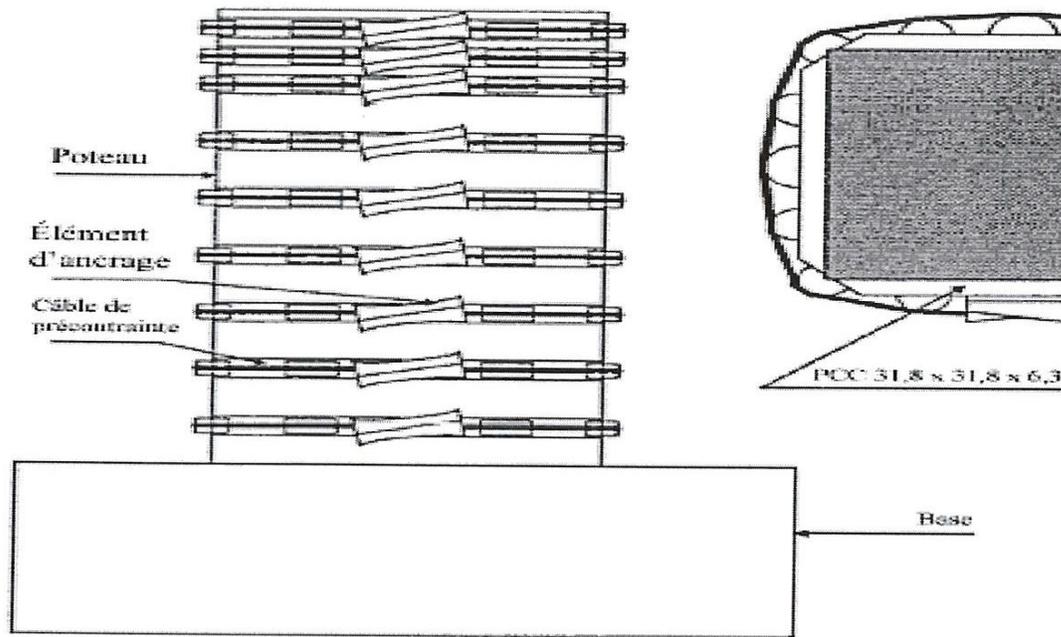


Figure 1.19 Renforcement d'un poteau carré à état de cisaillement dominant [13].

CHAPITRE

5

Le séisme et les batimens

1-Pourquoi il ne suffit pas qu'un bâtiment soit « costaud » pour résister aux séismes



C'est bien une erreur de conception architecturale qui est à l'origine de l'effondrement de cet immeuble de parking, conforme aux règles de construction parasismiques américaines.

La qualité des bétons et les dimensions ne sont pas en cause... c'est la conception de la rampe d'accès qui est à l'origine de l'effondrement !

(Séisme de Northridge, 1994 – Document EQUIIS) [19]

2-Pourquoi étudier la façon dont les bâtiments se déforment ?

Les scientifiques nous expliquent comment un bâtiment se déforme, se dégrade, puis se casse sous l'effet des secousses. Les architectes et ingénieurs se forment pour en tenir compte dans leurs projets en zone sismique. Sur le chantier, nous avons l'ultime responsabilité, celle de réaliser correctement les travaux.

Mais d'abord, essayons de comprendre que les phénomènes internes au bâtiment qui peuvent amener sa ruine sont multiples. Mais également que tous les dommages qui surviennent pendant un séisme ne sont pas signe de danger... au contraire !

3-Pourquoi étudier la façon dont les bâtiments se déforment ?

Dans l'état actuel des choses, il est question de prévoir les modes de déformation des constructions sous l'effet des secousses, et de maîtriser l'importance de ces déformations et contraintes sur l'ensemble de la structure porteuse et sur chacun des éléments qui la composent. Puis, la résistance des matériaux utilisés, leur mise en œuvre et leurs caractéristiques diverses définies par l'ingénieur doivent permettre à la construction de répondre aux sollicitations d'origine sismique.

Mais c'est bien la conception architecturale qui va conditionner la façon dont les bâtiments se déforment. Plus celle-ci est régulière, plus le bâtiment a de chances de bien se comporter lors d'un séisme majeur. un « comportement régulier » n'implique pas une architecture pauvre, mais la prise en considération de la réponse « dynamique » de la structure aux secousses.

Prévoir en s'appuyant sur les connaissances scientifiques

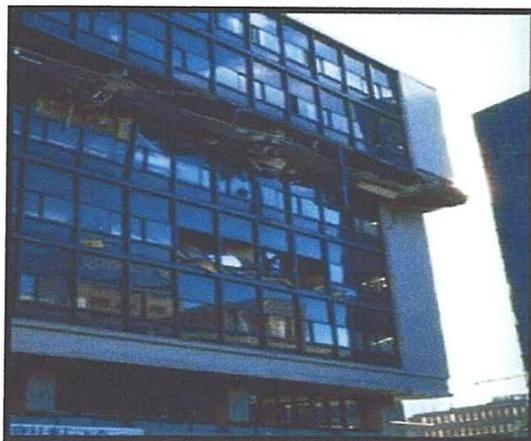
C'est possible aujourd'hui. Ca ne l'était pas il y a cinquante ans :

- Estimer « à l'avance » les niveaux et modes possibles de déformation de la structure sur un sol donné.
- Estimer « à l'avance » son aptitude à transformer le mouvement d'origine sismique en chaleur, éventuellement au prix de dommages.
- Connaître « à l'avance » les zones de la structure les plus exposées à la rupture en cas de fortes secousses.
- Etablir des règles de construction efficaces à partir de ces connaissances.

4-Les bâtiments réagissent-ils d'une seule manière aux séismes ?

Non ! Et c'est ce qu'il faut comprendre pour concevoir un bâtiment parasismique

Les photos suivantes nous montrent des destructions d'immeubles dont la structure est en béton armé. Elles illustrent bien le fait qu'il existe une grande variété de modes de ruine pour un même type apparent de construction. Nous pourrions illustrer une même variété d'effets sur les petits bâtiments comme les maisons individuelles ou pour d'autres matériaux de structure comme le bois, l'acier ou la maçonnerie porteuse. Le fait qu'une construction soit détruite d'une façon ou d'une autre... ou ne soit pas détruite n'est pas l'effet du hasard. Si nous regardons de plus près comment la construction a été conçue, nous pouvons expliquer les phénomènes en cause.



Désolidarisation des façades, destruction des étages supérieurs, intermédiaires ou inférieurs

Destruction de tous les étages



Renversement de l'immeuble



Peut-on éviter l'effondrement des constructions ?

Les architectes et les ingénieurs doivent étudier comment ne pas « faire de mauvais choix » en fonction de chaque projet sur son site et éviter les différents problèmes possibles. Il s'agit surtout de bien:

- ✓ Localiser les « masses » de la construction (essentiellement les planchers)
- ✓ Contrôler les possibilités de déformation des différents murs et poteaux, c'est-à-dire leurs raideurs
- ✓ Savoir utiliser l'endommagement de quelques éléments qui ne compromettent pas la sécurité, pour « freiner » les secousses dans le bâtiment.

5-Quel comportement pour un bâtiment résistant aux secousses d'un séisme futur ?

Les secousses qui agissent sur un bâtiment provoquent des contraintes et déformations qu'il faut contrôler en comprenant bien le comportement des éléments de la construction en fonction des matériaux utilisés.

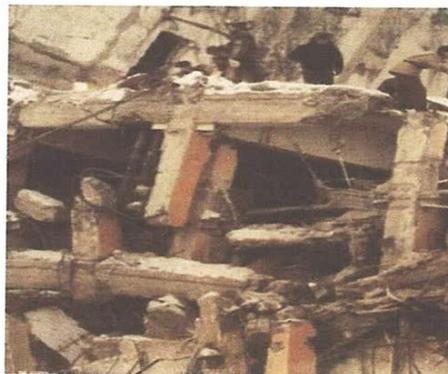
Le roseau

Pour des raisons de « bon fonctionnement » et de stabilité générale de la construction on ne peut pas laisser un bâtiment se déformer « comme un roseau ». C'est-à-dire beaucoup sans casser, même si cela peut sembler la solution idéale. On ne tolère pas plus de 2-3 cm par étage (moins sur les grands immeubles).

Le chêne

Ainsi, les éléments de la construction sont étudiés pour « peu » se déformer. Comme les forces dues aux secousses peuvent être très élevées, ces éléments peuvent subir de fortes contraintes auxquelles ils résistent jusqu'à un certain niveau, puis cassent brutalement, comme le chêne de la fable si on ne prend pas des dispositions constructives propres aux zones sismiques. Si la violence des secousses a mal été estimée, c'est la ruine assurée.

le « chêne » : rupture fragile d'une structure de béton armé, au delà de la limite de résistance, c'est l'effondrement



la « ductilité » : rupture « ductile » d'un poteau de béton armé. Au delà de la limite de résistance, le béton est resté « confiné » dans les armatures. A chaque secousse il est broyé à l'intérieur des armatures, ces frottements contribuent à freiner la construction

L'effondrement ne se produit pas



« Mieux » que le chêne ou le roseau ?

En concertation avec l'architecte, l'ingénieur va définir des qualités de matériaux, des dispositions constructives et des dimensions pour chaque élément de la construction qui permettent de limiter les déformations de celle-ci. Et, qui permettent, si les secousses sont vraiment trop fortes, de contrôler leur endommagement en empêchant la rupture brutale et l'effondrement. Un peu à l'image d'un morceau de carton, d'une tige d'acier doux ou d'une barre de caramel mou qui, si on les déforme trop fort, vont rester déformés définitivement... mais sans casser. On appelle ce comportement « la ductilité ».

Les règles de construction parasismiques expliquent comment on peut obtenir ce résultat de façon plus ou moins remarquable selon le type de matériau.

Par exemple, pour le béton armé, on choisira le type de béton, la nature et le positionnement des aciers, selon des critères différents de ceux du projet en zone non sismique.

6-Pourquoi ne pas faire uniquement des bâtiments garantis sans dommages ?

Il faudrait être absolument sûr de la force de l'action du séisme sur la construction

Les sismologues et les géotechniciens ont donné à l'architecte et l'ingénieur une pré-estimation des accélérations du sol dues aux secousses possibles sur chaque site. La réglementation nous donne des valeurs minimum légales pour chaque type de site et de construction.

L'ingénieur sait évaluer si la construction **amplifie** ces secousses du sol ou non (en se mettant « en résonance ») grâce à l'outil « spectre de réponse du site », et évaluer les niveaux d'accélération possibles dans le bâtiment. . Il peut alors calculer les forces qui agiront sur le bâtiment en cas de fortes secousses. Connaissant la résistance et le comportement des matériaux à utiliser il peut définir les caractéristiques (nature, dosages, dimensions...) qui permettront à la construction de résister à ces forces.

Mais... que ce soit pour les accélérations du sol ou celles du bâtiment qui les subit, il existe toujours une marge d'erreur. « Organiser » l'endommagement sans effondrement permet de gérer cette marge.

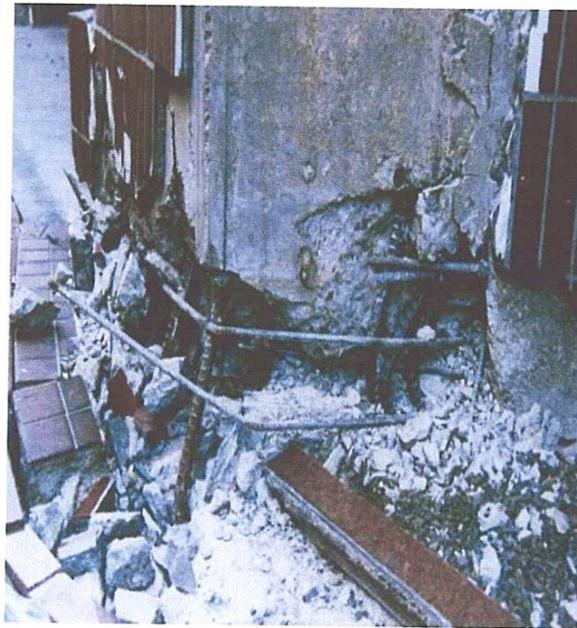
Et puis, ça coûte cher...

On pourrait prendre des marges de sécurité pour évaluer les accélérations dues aux secousses, qui excluent toute possibilité d'erreur. C'est ce qu'on va faire par exemple pour les centrales nucléaires. Mais ça coûte extrêmement cher. On ne peut pas imposer à chaque citoyen de se protéger comme un ouvrage à risque spécial

La réglementation va même plus loin, elle autorise l'ingénieur, en concertation avec son client, à concevoir un bâtiment pouvant avoir des dommages pour des accélérations moins violentes que la référence réglementaire pour la zone, à la condition impérative que les caractéristiques de la construction garantissent le non-effondrement

On autorise alors le calcul de la construction avec un coefficient minorant appelé le « coefficient q ». Ce coefficient doit être justifié par l'ingénieur dans le respect des règles de construction parasismique.

Des dommages comme ceux que l'on peut constater au pied de ce poteau ne sont pas du tout interdits par les règles de construction parasismique, puisqu'ils ne provoquent pas la perte de stabilité d'ensemble de la construction. Pour cette structure précise sur ce sol précis, résister totalement à ces dommages aurait coûté beaucoup plus cher à la construction



7-Pourquoi le bâtiment se déforme-t-il lorsqu'il est soumis à des secousses ?

La déformabilité des éléments de la construction

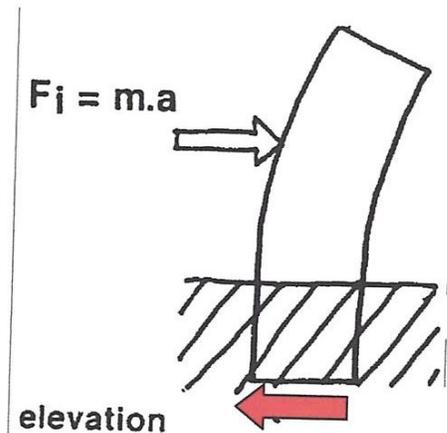
Soumis à une force identique (à la « poussée » des secousses à un moment donné) les différents éléments d'une construction se déforment plus ou moins selon leur forme (un poteau se déforme plus qu'un mur), leurs matériaux (le bois se déforme plus que le béton armé), leurs masses (dont dépendent les forces d'inertie) et la nature des liaisons entre les éléments. Les secousses d'un séisme génèrent des forces alternées dans toutes les directions, forces qui déforment le bâtiment de façon aléatoire, mais selon ses caractéristiques architecturales et constructives.

Les forces d'inertie

Comme le passager soumis aux secousses d'un véhicule en mouvement (accélérations, coups de frein, coups de volant à droite et à gauche, trous et bosses dans la chaussée), les masses d'un bâtiment soumis aux accélérations désordonnées du sol (dans toutes les directions) pendant un tremblement de terre « tendent » à rester là où elles se trouvent au début de chaque mouvement du sol.

Les forces qui le « retiennent à sa position d'origine » s'appellent les forces d'inertie : elles sont d'autant plus importantes que les **masses** sont élevées et que les **accélérations** sont violentes.

Les fondations, ancrées dans le sol se déplacent avec celui-ci, et le haut du bâtiment « suit » avec un retard d'autant plus important que les forces d'inertie sont importantes et que le matériau peut se déformer.



(Accélération du sol)

Peut-on prévoir la valeur des déformations ?

Oui, en pré-estimant la valeur des accélérations possibles sur le site, et en connaissant les caractéristiques des matériaux utilisés: densité et déformabilité. Les ingénieurs peuvent calculer la valeur des déformations, et identifier les modes de déformation possibles. Un des enjeux sera de favoriser des déformations régulières et limitées sur l'ensemble du bâtiment, dans le plan et en élévation.

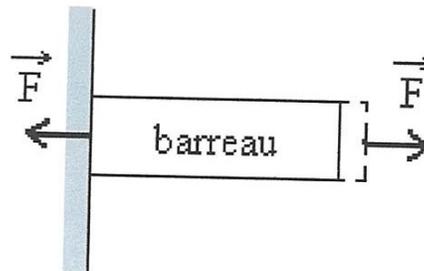
8- Comment se déforme un bâtiment ?

Les « modes de déformation »

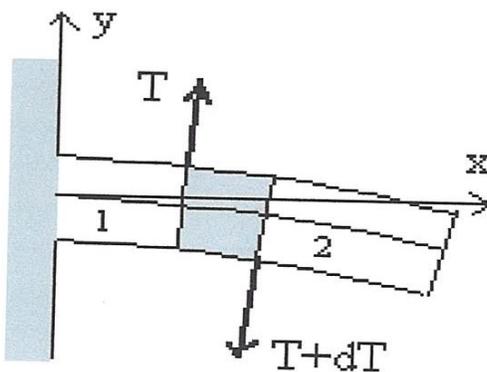
Les caractéristiques de chaque élément de la construction et celles de l'ensemble formé par ces éléments et leurs types de liaisons vont conditionner les modes de déformation en fonction des caractéristiques vibratoires du sol d'implantation.

Les schémas ci-dessus illustrent des modes de déformation pour différents éléments:

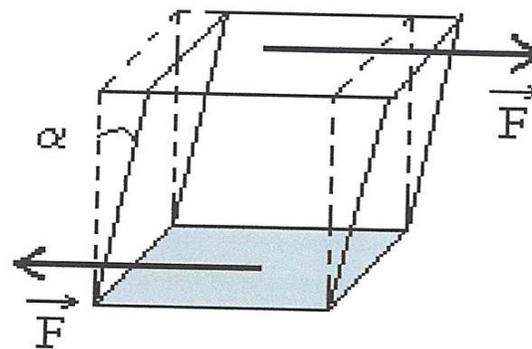
En traction,



En flexion



En cisaillement...



On peut savoir à l'avance quel sera le mode de déformation de chaque élément constructif sous l'action d'un séisme et déterminer où il faut le renforcer pour éviter sa rupture fragile. Il faut en outre prévoir les modes de déformation globale de la construction.

8- Comment éviter ou maîtriser la mise en résonance du bâtiment par les oscillations du sol ?

Le problème : la mise en résonance de la structure

Lorsque la période, d'oscillation d'un sol donné correspond à la période propre d'oscillation d'un bâtiment donné, celui-ci s'emballe et amplifie le mouvement : il y a mise en résonance. C'est un facteur de ruine à prévoir et estimer pour l'éviter.

Période d'oscillation : durée d'un cycle d'oscillation mesurée en secondes
(inverse de la fréquence d'oscillation).

Période propre d'oscillation d'un bâtiment : période selon laquelle le bâtiment oscille librement suite à un déplacement, c'est-à-dire, vis-à-vis du séisme, après l'arrêt des oscillations forcées (et jusqu'à l'amortissement complet du mouvement).

On démontre que :

La période propre d'oscillation dépend des masses mises en mouvement : elle croît avec les masses.

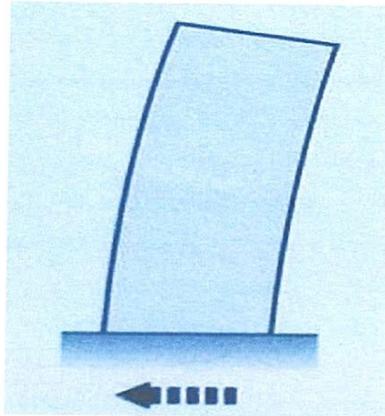
La période propre d'oscillation décroît avec la raideur des éléments porteurs.

La raideur dépend de la nature des matériaux, de la forme des éléments et de la nature des liaisons entre les éléments

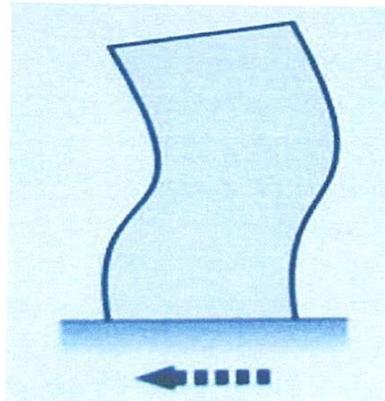
Eviter la mise en résonance des structures

Or le projet architectural va conditionner ces paramètres (masses et raideurs). Si le programme le permet, le concepteur pourra opter pour un mode constructif et des élancements qui lui permettront « d'éloigner » la construction des périodes dominantes du sol (structures rigides sur sols souples, riches en basses fréquences et structures flexibles sur sols rigides, riches en hautes fréquences)

le fait que les bâtiments peuvent se déformer : de façon globale



Façon plus ou moins irrégulière



Chaque « mode de déformation » a une période propre d'oscillation
L'ingénieur étudiera la possibilité de mise en résonance pour les différents modes.

Le calcul dynamique des structures est complexe. C'est une affaire de spécialistes.
Les prescriptions constructives en découlent. Respectons ces prescriptions.

9-Quel est le rôle de l'architecte dans la construction parasismique ?

De même qu'il est préférable pour la santé d'un être humain d'avoir une bonne hygiène de vie, avant de se soigner si nécessaire, il est préférable pour un bâtiment d'avoir une bonne conception pour optimiser l'application des règles de calcul parasismique en prévision d'un tremblement de terre. Le calcul réglementaire d'un bâtiment mal conçu ne garantit pas son bon comportement, c'est-à-dire son non-effondrement

La bonne conception architecturale vise

- la non résonance de la structure avec les oscillations du sol
- l'éviction des phénomènes de torsion (voir plus loin)
- la limitation des concentrations localisées de contraintes (déformations trop irrégulières)

Pour ce faire il convient de faire des choix pertinents quant à

- la répartition des volumes, c'est-à-dire concrètement des masses et des rigidités,
- la localisation des points faibles

Il faut arbitrer entre les dispositions plus ou moins favorables selon le projet et ses enjeux.

Ainsi, le bâtiment projeté doit être analysé, de l'esquisse au projet, selon les critères de

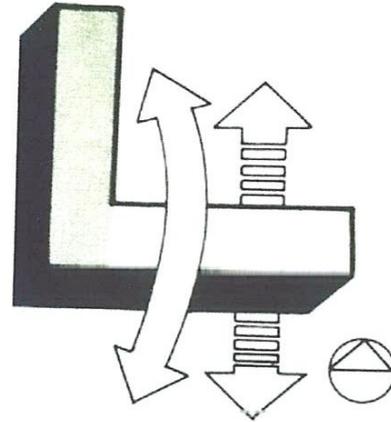
- sa forme global,
- son système porteur et son mode de contreventement en fonction du choix des matériaux de structure,
- la forme et la constitution de ses différents éléments constructifs.

Nous ne pouvons pas étudier les règles de bonne conception parasismique qui nécessitent un enseignement complet pour les spécialistes, mais nous pouvons en illustrer quelques exemples caractéristiques

10-Des exemples de mauvaise conception architecturale en plan

On observe que les bâtiments qui ont une forme complexe en plan ne se déforment pas de façon régulière. Par exemple (illustration ci-dessous) les deux ailes d'un bâtiment en L n'oscillent pas librement, ce qui génère des dommages à leur extrémité qui n'est pas libre. Il est préférable de séparer les deux corps de bâtiment par un joint parasismique pour les découpler (voir les joints PS plus loin).

Sur le schéma ci-contre, mécanisme de torsion de l'aile d'un bâtiment en L autour de la zone d'angle rigide dans le sens y considéré (dans ce cas oscillations dans le sens des flèches pointillées)



Séisme de Kobé 1995, Destructions diverses par accumulation de contraintes à la jonction de deux ailes de bâtiment n'oscillant pas en phase



On observe également que les bâtiments qui ont une forme très allongée en plan subissent ce qu'on appelle un coup de fouet aux extrémités. Là encore il est préférable de recouper le bâtiment en plusieurs unités par un ou des joints parasismiques, ou de renforcer les extrémités

Séismes des Marches-Ombrie, 1997 Document x - Ce bâtiment dont la longueur est importante au regard de la largeur a subi des destructions à ses deux extrémités par accumulation d'énergie Effet de ((coup de fouet))

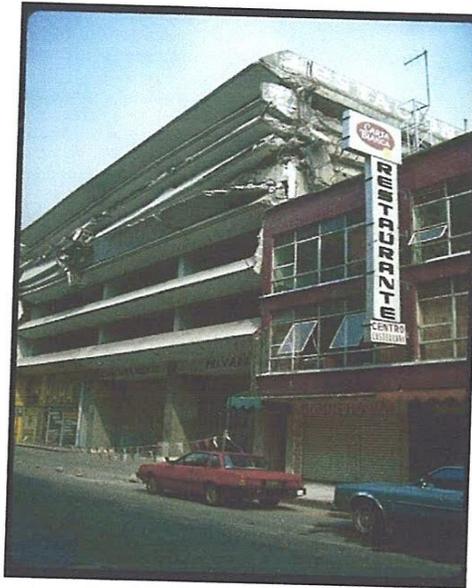


11-Des exemples de mauvaise conception architecturale en élévation

Il est vraiment important que les déformations sous l'effet des forces d'inertie puissent se faire de façon régulière entre les différents niveaux successifs d'une construction. Si un niveau est moins rigide que les niveaux voisins la déformation ne peut pas être régulière, et c'est un des principaux facteurs de ruine des constructions. Par exemple niveau comprenant des murs et niveau ne comprenant que des poteaux. On peut, par exemple, ci-dessous, observer un

(coup de fouet) dans les étages supérieurs.

Séisme de Mexico, 1985- Document EQIIS-
Coup de fouet dans les étages supérieurs d'un
bâtiment mis en résonance avec le sol Manque
de rigidité longitudinale. Les trois premiers
niveaux ont été contreventés et raidis par les
constructions voisines mais pas les quatre
niveaux supérieurs, beaucoup trop flexibles



Le problème particulier des constructions sur pilotis est illustré par le cliché ci-dessous. Dans ce cas, contrairement à l'exemple ci-dessus, c'est le bas de la construction qui est plus flexible, ce qui sollicite de façon trop importante les têtes de poteaux, sous l'effet forces d'inertie des étages supérieurs peu déformables.

Séisme de Tokachi Oki, 1968 Ci-
contre, deux étages relativement
rigides sur un niveau flexible
(portiques) ont entraîné la ruine de
celui-ci.

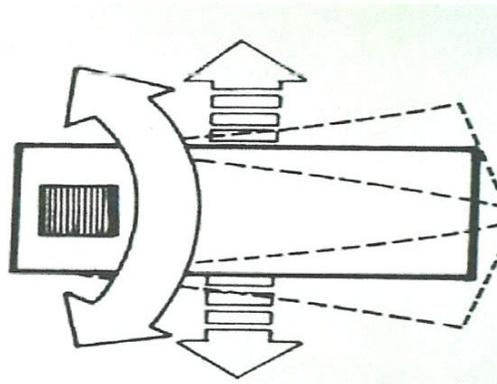


Il faut veiller à ce que la distribution des espaces et le choix de leurs enveloppes ne créent pas de noyaux rigides excentrés. Dans le cas ci-dessous, le niveau flexible du rez-de-chaussée comporte un « noyau rigide excentré (cage d'escalier). Sous l'effet des secousses, le bâtiment a subi une torsion autour de ce noyau rigide peu déformable.

Séisme de Kobé, 1995



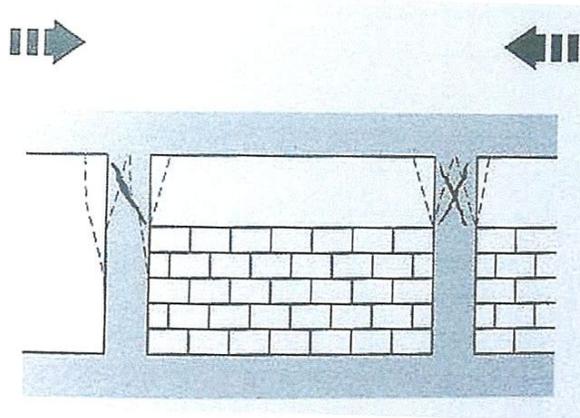
Représentation schématique du moment de torsion autour d'un noyau rigide et à droite illustration phénomène autour d'une cage d'escalier rigide



Ce serait une erreur de penser renforcer des poteaux en les raidissant par un remplissage partiel des espaces intermédiaires. Ainsi les maçonneries partielles sont à l'origine de dommages graves pouvant provoquer l'effondrement



Séisme de Tokachi Oki, 1968



Les allèges rigides ont bridé le poteau qui n'en a eu un appel déformation sur une petite hauteur peut-être résisté si la déformation nécessaire avait pu être répartie sur hauteur du poteau

Schéma Milan Zacek

Un autre principe qui doit guider l'architecte est celui du dimensionnement en capacité c'est-à-dire dimensionner plus généreusement les éléments indispensables à la stabilité d'ensemble. Ainsi, il adoptera le principe **poteau fort – poutre faible** pour les structures sauf bois : dissipation dans les assemblages

les dommages ne doivent pas se former dans les éléments porteurs, ni dans les nœuds. En amont du calcul de la structure, il convient d'éviter les mauvaises dispositions géométriques qui seront difficiles à compenser par la technique.



Document NISEE- USA- Ce bâtiment dont les poutres sont dimensionnées plus largement que les poteaux à eu un comportement à éviter absolument sous séisme la rupture des têtes de poteaux qui aurait entraîné la ruine totale pour des secousses plus violentes

12-Quelle est la différence entre un joint de dilatation et un joint parasismique ?

Le joint parasismique a pour but d'éviter tout entrechoquement entre les corps de bâtiment qu'il sépare. Ce n'est pas le cas du joint de dilatation qui est trop faiblement dimensionné et n'est pas vide. De fait, en zone sismique, tout joint de dilatation doit être remplacé par un joint parasismique en raison de ces impératifs de non entrechoquement.

Un joint parasismique est un espace vide de tout matériau, présent sur toute la hauteur de la superstructure des bâtiments ou parties de bâtiments qu'il sépare.

Ses dimensions sont calculées en fonction des déformations possibles des constructions, avec un minimum réglementaire pour les ouvrages à risque normal de 4 cm en zone Ib et 6 cm en zones II et III, de façon à permettre le déplacement des blocs voisins sans aucune interaction (chocs).

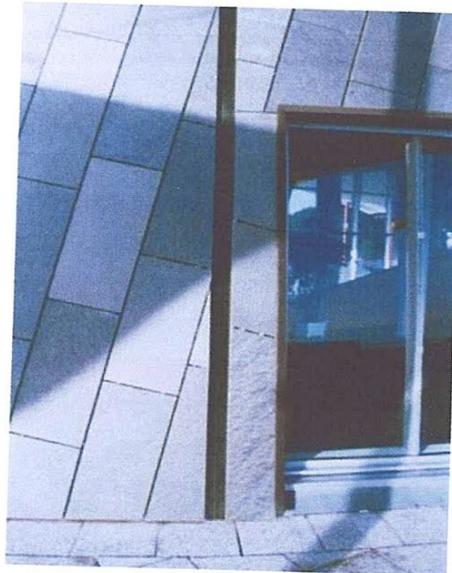
(Japon. Document X)

Joint parasismique vertical large entre
deux constructions susceptibles de
présenter des déformations importantes
en partie supérieure



(Basse- terre Document .P.
Balandier)

Joint parasismique vertical étroit
entre deux parties d'un même
bâtiment. Le joint PS est couvert
d'un couvre joint souple



(Document X)

Entrechoquement de bâtiments
pour Cause de joint PS trop étroit
au regard des déplacements réels

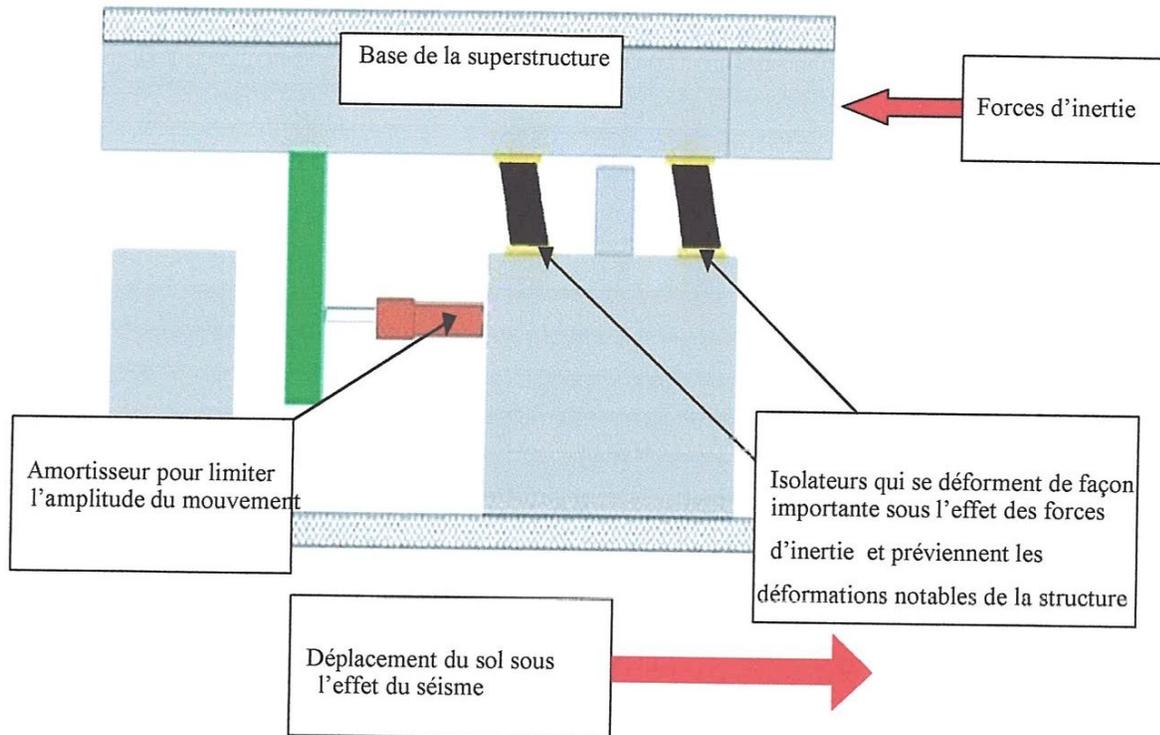


13-Peut-on isoler un bâtiment des secousses en le posant sur des caoutchoucs

L'isolation parasismique qui est en général disposée entre les massifs de fondation et la superstructure permet de découpler l'infrastructure, qui se déplace avec le sol sans se déformer (déplacements horizontaux), de la superstructure, qui réagit à l'action du sol et se déforme sous l'effet des forces d'inertie. Dans ce cas ce sont les isolateurs, « infiniment » plus flexibles, qui se déforment et pas le bâtiment.

Dans ce cas, la déformation se concentre sur les isolateurs qui sont conçus pour la supporter sans dommages. L'isolation est généralement associée à des dispositifs amortisseurs qui limitent l'amplitude des déplacements de la structure sur ses appuis.

La conception des isolateurs doit impérativement être confiée à un bureau d'études spécialisé qui assiste le BET structure dans sa mission : la détermination de la réponse de la structure, la localisation, le nombre et le dimensionnement des appuis et des amortisseurs n'étant pas du tout une application de règles



Déformation des isolateurs dont l'amplitude est limitée par l'amortisseur fixé entre le massif de soubassement qui se déplace avec le sol et une poutre de fixation à la superstructure (Document P. Sorel)

Avantages de l'isolation parasismique

Le niveau de protection pouvant être obtenu est très supérieur au niveau exigé par les règles parasismiques pour les ouvrages à risque normal. Les ouvrages restent normalement opérationnels, même après les séismes violents

Les dégâts aux éléments non structuraux et à l'équipement, qui représentent parfois un investissement considérable (dans le cas des hôpitaux par exemple), sont faibles ou nuls.

Les appuis restent en principe intacts après un séisme et sont opérationnels vis-à-vis des nouvelles secousses (répliques du séisme principal par exemple).

Inconvénients de l'isolation parasismique

Tous les ouvrages traversant le plan des appuis (escaliers, tuyauterie,...) ou reliant le bâtiment avec ses abords immédiats (réseaux, marches extérieures,...) doivent être conçus de manière à tolérer sans dommages les déplacements relatifs de la superstructure et des fondations. Ces mesures sont impératives dans le cas des réseaux de gaz, de protection contre l'incendie et des réseaux contenant des fluides polluants.

Les joints de séparation entre deux bâtiments ou parties de bâtiment sur isolateurs nécessitent des largeurs importantes en raison des déplacements de chaque bloc, pouvant atteindre des valeurs décimétriques.

Les transformations ultérieures de la structure, des cloisons, des façades et d'autres éléments lourds ou rigides ne doivent pas modifier d'une manière significative le comportement dynamique initial du bâtiment pris en compte pour le dimensionnement des isolateurs, sous peine d'entraîner des coûts d'adaptation élevés.

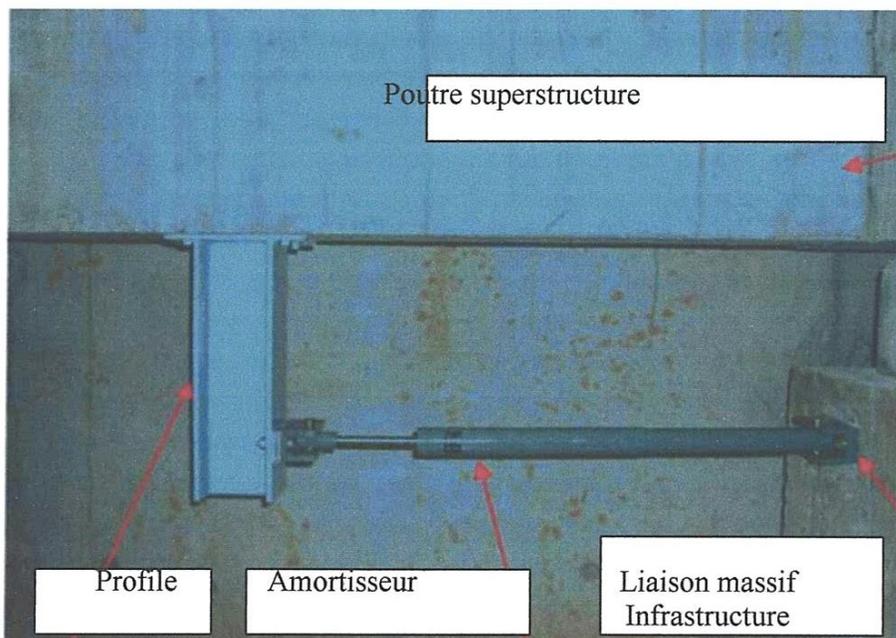
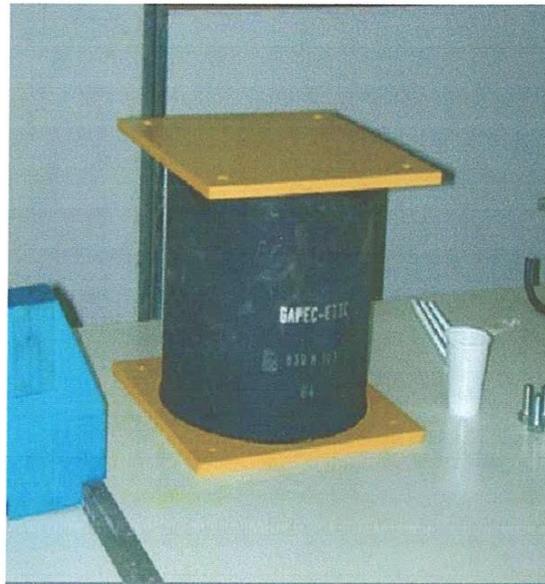
Incidence sur le coût

L'isolation parasismique augmente sensiblement le coût des bâtiments mais elle offre une protection supérieure à la protection réglementaire. Toutefois, on peut sensiblement réduire ce surcoût en optimisant ses différents paramètres du projet. On doit rapprocher ce surcoût au coût de l'endommagement évité, rapporté à la probabilité de récurrence des séismes pouvant provoquer ces niveaux de pertes.

Isolateurs sur les massifs de fondation au lycée de Ducos (Martinique). Cliché pris avant la mise en œuvre de la superstructure



Gros plan sur un isolateur de la société Gapec.
A l'intérieur de l'enveloppe de caoutchouc se trouvent de fines plaques d'acier entre des couches de caoutchouc. L'ensemble, testé selon des méthodes très éprouvantes est très résistant aux déformations latérales
(Documents P. Balandier et J. Sainsilly)



Exemple d'amortisseur visqueux fabriqué par la société Jarret pour les bâtiments en zone sismique. (Documents P. Sorel et J. Sainsilly)



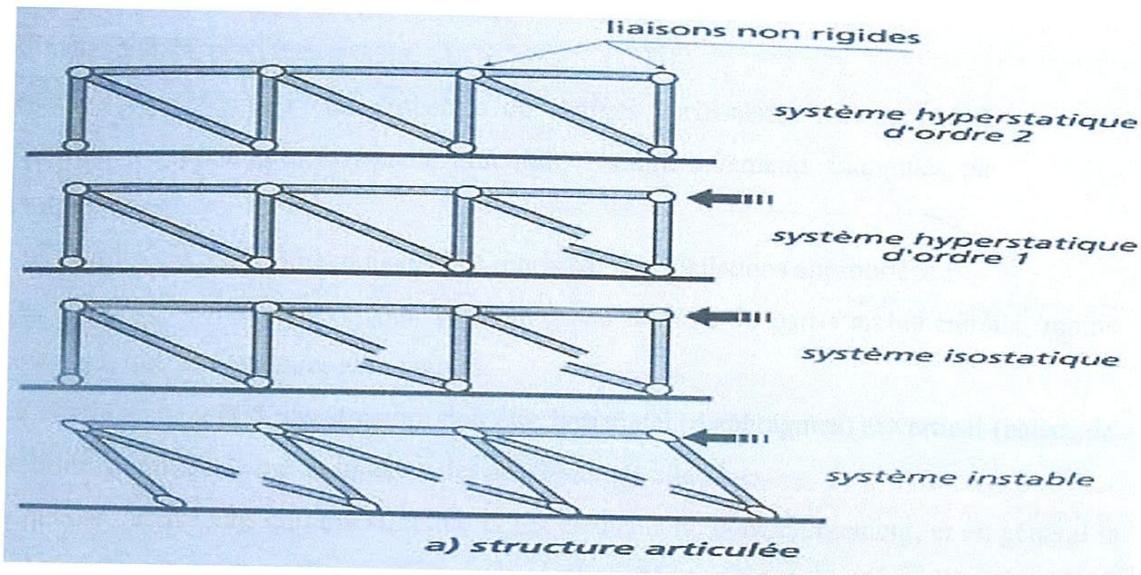
14-Il est préférable d'avoir une structure homogène et hyperstatique

Nous avons vu l'importance d'une conception régulière de l'architecture. Cette règle de comportement régulier est également applicable à la structure constructive elle-même. Il faut éviter de juxtaposer les matériaux et les modes constructifs différents, si on ne découple pas par un joint parasismique les parties d'ouvrage ayant un comportement différent. En élévation, il faut éviter les variations brutales de raideur.

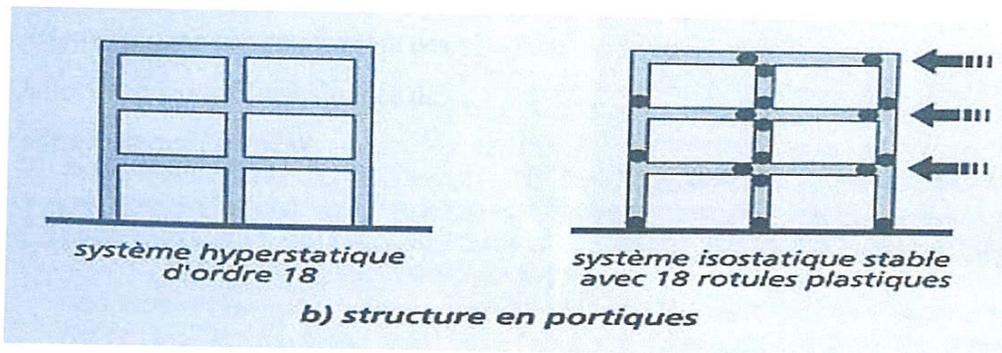
Lors du séisme de Kobé en 1995, plusieurs bâtiments de conception architecturale régulière et conformes aux règles de calcul ont péri en raison d'une importante variation de raideur entre les étages du bas et ceux du haut, due au changement de conception de l'ossature considérant que les charges étaient moins élevées dans le haut du bâtiment



Les structures hyperstatiques supportent la rupture de quelques éléments de structure sans que leur stabilité soit compromise (redondance). C'est bien ce que constate en principe un « coefficient q » élevé.



Document Milan Zacek - Le degré d'hyperstaticité d'un ouvrage est donné par le nombre de ruptures que cet ouvrage peut supporter sans perte de stabilité d'ensemble



15-Qu'appelle-t-on le contreventement ?

Pendant un séisme, une construction reçoit des charges horizontales qui, comme les charges verticales, doivent être transmises jusqu'au sol d'assise de la construction par les éléments résistants (travaillant en flexion ou en cisaillement).

Exemple de contreventement en façade par croix de St André sur chacune des travées. Il s'agit d'un type de contreventement triangulé plutôt flexible qui autorise des déformations non négligeables. Les tirants les plus sollicités se sont déformés, certains on rompu, mais la redondance des palées de stabilité a permis des reports de charges qui ont sauvé ce bâtiment hyperstatique. Les tirants défectueux peuvent être remplacés à l'issue du séisme.



Chantier du palais de justice de Grenoble. (Document P. Balandier) - Le parti constructif de cette ossature d'acier a été de contreventer par des barres le noyau des cages d'escalier et d'ascenseurs (situé de façon symétrique en plan) et les extrémités du bâtiment.



CONCLUSION GENERALE

Un séisme est une libération brutale de l'énergie potentielle accumulée dans les roches par le jeu des mouvements relatifs des différentes parties de l'écorce terrestre lorsque les contraintes dépassent un certain seuil; une rupture d'équilibre se produit et donne naissance aux ondes sismiques qui se propagent et atteignent la surface du sol.

Les dégâts observés en surface sont fonction de l'amplitude, la fréquence et la durée des vibrations.

Pour sauver des vies humaines lors d'un tremblement de terre, la seule protection efficace, c'est la construction parasismique aussi bien construction des bâtiments neufs, que le renforcement préventif des bâtiments existants.

A travers ce travail Nous essayent des donner les différentes modes des ruines et les dégâts occasionnés dans les ouvrages en béton armé par le séisme. et de donner les techniques de renforcement.

Dans la dernière partie de notre travail. Les scientifiques nous expliquent comment un bâtiment se déforme, se dégrade, puis se casse sous l'effet des secousses. Les architectes et ingénieurs se forment pour en tenir compte dans leurs projets en zone sismique. Sur le chantier, nous avons l'ultime responsabilité, celle de réaliser correctement les travaux.

ANNEXE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ponts courants en zone sismique guide de conception, édité par LCPC et SETRA, Janvier 2000.
- [2] Elément de génie parasismique et calcul dynamique des structures, Andre Filliatrault, préface de Shell Cherry, 1996.
- [3] Les risques majeurs 2002, <http://www.environnement.gov.fr/dossiers/risques-majeurs/p39.htm>.
- [4] Rapport de mission pour séisme du 21 mai 2003 Boumerdes Algerie présenté par VICTOR DAVIDOVICI, 08 Juin 2003
- [5] Journée d'étude sur le séisme de Beni Chougrane du 18 Aout 1994– W. Mascara, Centre National de Recherche Appliqué en Génie Parasismique « CGS » 1998.
- [6] Formulaire du béton armé tome 2, règles BAEL 91 ; Eurocode 2 ; règles parasismiques 92, VICTOR DAVIDOVICI 1997
- [7] Article paru dans IAS bulletin technique de la Suisse Romande. N°.01/02.19 Janvier 2000 le séisme de Koeli en Turquie {(Marc Badoux, Prof. Dr. Ing. Dipl. EPFZ, ISS EPF Lausanne), (Ersans Gôksu, Ing. Dipl. EPFL, IBK EPF Zurich), (Picrino Lestuzzi, Ing. DIPL. EPFZ, Studer Engineering, Zurich)}.
- [8] Seismic retrofit for reinforced concrete building structures, Jong-Wha Bai, Faculty Advisor Dr. Mary Beth Hueste, Aust 2003.
- [9] State of resear arch RCH on seismic retrofit on concrete building structures in the US, Jack Pmoehle, Pacific Earthquake Engineering research center university of California, Bereley, 2003.
- [10] Le séisme du 21 mai 2003 en Algérie , rapport préliminaire de la mission AFPS , organisée avec le concours du ministère de l'écologie et du développement durable (MEDD/DPPR/SDPRM), version du 08 juillet 2003.
- [11] Projet transversal individuel, réhabilitation des bâtiments (réhabilitation des structures et intervention en site occupé), Pauline Guerin, 2000/2001.
- [12] Renforcement parasismique au moyen de matériaux composites, rene suter (Ecole d'Ingénieurs et d'Architectes de Fribourg 2004.
- [13] Aléas sismiques, codes du bâtiment et opinions d'atténuation des risques pour les immeubles canadiens , département de génie civil université d'Ottawa (Ontario) canada, Simon Foo, Nove Naumoski, Murat Saatcioglu , 2001.

BIBLIOGRAPHIE

- [14] Performance of reinforced concrete building during the august 17, 1999 kocaeli, turkey earthquake, and seismic design and construction practice in turkey. H.Sezen, A.S Whitaker, k . J. Elwood, K. M. Mosalam, 2002.
- [15] Rapport sur les techniques de prévision des risques naturels séisme : Séisme et mouvement de terrain par M.Christian Ker, 2004.
- [16] La prise en compte du risque sismique dans les constructions, Juin 2002.
- [17] Les séismes en Méditerranée, Colloque du 04 Octobre 2001.
- [18] Principes de base pour la conception parasismique des bâtiments, , Prof. Dr. Hugo Bachmann et Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zurich, Schweiz, 2000.
- [19] Document d'information à l'usage du constructeur Conçu par Mme Patricia BALANDIER