

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL
N° :.....



DOMAINE : GENIE CIVIL
FILIERE : GENIE CIVIL
OPTION : MATERIAUX

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Présenté par:
ARIBI Messaoud

Intitulé

**CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DES REGLES
PARASISMIQUES ALGERIENNES**

Soutenu Publiquement le: 18/06/2018

Devant le jury:

Mr. RAHMOUNI Zine El Abidine	Prof	UMB M'sila	Président
Mr. HAMITOCHE Amar	M.A.A	UMB M'sila	Examineur
Mr. MENASRI Abderrazak	M.C.A	UMB M'sila	Examineur
Mr. BOULAOUAD Abderrachid	M.C.A	UMB M'sila	Encadreur

Année Universitaire : 2017 / 2018



Remerciements

Je remercie d'abord le bon DIEU le tout puissant qui m'a guidé et ma donné la force et la volonté de réaliser ce modeste travail.

Je tiens à exprimer mes remerciements respectueux et toutes mes profondes reconnaissances à mon encadreur Dr. BOULAOUAD Abderrachid, qui a proposé et dirigé ce mémoire , et qui m'a donné son aide , ses précieux conseils et ses orientations durant la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent, également, aux président et membres de jury, pour avoir bien voulu examiner mon travail et participer au jury, et pour l'effort qu'ils feront dans le but d'examiner ce modeste travail, et tous les enseignants du l'Université MOHAMMED BOUDIAF de M'sila.

Que tous ceux qui ont apporté une contribution petite soit elle, pour l'élaboration de cette étude, trouvent ici l'expression de mes remerciements les plus chaleureux.

Je remercie de tout mon cœur mes ami et mes collègues pour leur soutien et leurs encouragements.

ARIBI Messaoud

DÉDICACES

*Je dédie le présent travail
A mes très chers parents
A ma femme ainsi qu'à mes enfants*

المخلص:

إن القوانين الجزائرية المضادة للزلازل تبقى ناقصة رغم الجهود المستمرة لمراجعتها وتحسينها، وذلك بالنظر إلى الملاحظات المسجلة عقب الزلازل الأخيرة التي أصابت بلدنا. إنه من الضروري الأخذ بعين الاعتبار الدروس المستفادة من هذه الزلازل ومقارنتها بنتائج البحوث العلمية و الاستعانة بالخبرات المتوفرة في القوانين الدولية المضادة للزلازل. بالإضافة إلى هذا يتوجب التفكير على المدى القريب و المتوسط والبعيد في عملية جرد للبنى الأكثر عرضة للضرر من أجل تقوية البنى المتضررة القابلة لذلك والتفكير في إنشاء حظيرة بديلة عن الحظيرة الأيلة للسقوط. في هذا الإطار تندرج هذه الدراسة كمحاولة لتحسين القوانين الجزائرية المضادة للزلازل أو على الأقل التنبيه إلى بعض النقائص فيها التي يمكن أن تكون أرضية للنقاش العلمي المفيد.

الكلمات المفتاحية: القوانين الجزائرية المضادة للزلازل، مراجعة، بنود، نقائص، اقتراحات

RESUME

La réglementation parasismique Algérienne qui ne cesse d'être révisée et actualisée, reste toujours insuffisante au vu des constatations faites durant tous les séismes qui ont frappé le pays notamment ceux de Boumerdes et de Beni Ilmén. Les enseignements tirés de ces séismes permettent d'améliorer cette réglementation à travers une critique basée sur les recherches théoriques et pratiques d'une part et la comparaison avec d'autres réglementations internationales d'autre part. En outre, il faudrait penser à court, moyen et long termes à répertorier les constructions vulnérables pour renforcer les ouvrages existants selon leurs degrés de vulnérabilité, et prévoir un parc immobilier de substitution qui sera en mesure de remplacer celui existant.

Dans cette perspective, nous essayons de donner ici une contribution à l'amélioration des règles parasismiques algériennes (RPA) ou tout au moins alerter l'opinion scientifique sur certaines défaillances qui peuvent constituer un sujet de débat important et profitable.

Mots clés : Règles parasismiques algériennes, révision, articles, défaillances, propositions.

ABSTRACT

Although the Algerian seismic regulation is continually reviewed, it still presents many deficiencies which must be treated and rectified on the basis of the results given by theoretical studies and comparison with other seismic codes in addition to the instructions deduced from the last seismic events such as the Boumerdes earthquake. Furthermore, the Algerian housing stock must be evaluated and classified according to the level of damage in order to reinforce that can be strengthened and substitute that must be substituted.

In this perspective, this work may be considered as an involvement in the improvement of the Algerian seismic regulation (RPA).

Key words: Algerian seismic regulation, review, item, deficiency, suggestion

TABLE DES MATIÈRE

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
ملخص/Résumés/ Abstract	III
Table des matières.....	IV
Liste des figures.....	VI
Liste des tableaux.....	VII
INTRODUCTION GENERALE.	01
CHAPITRE 01 : HISTORIQUE DE LA SISMICITE EN ALGERIE.	
1.1 Historique de la sismicité en Algérie.....	03
1.2 Les séismes violents et récents dans le monde.....	06
CHAPITRE 02 : NOTIONS DE REGLEMENTATION PARASISMIQUE.	
2.1 Introduction.....	07
2.2 Notion et nécessité des règlements parasismiques	07
2.3 Contenu des codes parasismiques.....	08
2.4 La construction parasismique.....	09
2.5 La réglementation parasismique dans le monde.....	09
2.6 Les règles parasismiques algériennes.....	10
2.7 Domaine d'application des règles parasismiques Algériennes.....	11
2.8 Conditions d'application des règles parasismiques Algériennes.....	11
CHAPITRE 03 : PRINCIPAUX POINTS ET ETUDE CRITIQUE.	
Introduction	13
3.1 Classification des sites.....	13
3.2 Régularité en plan.....	15
3.3 Structures auto-stables avec ou sans maçonnerie insérée.....	18
3.3.1 Vulnérabilité des structures en portique auto-stable avec maçonnerie insérée.....	18
3.3.2 Prise en compte des éléments secondaires.....	21
3.3.2.1 L'estimation de la période fondamentale.....	21
3.3.2.2 Valeur de facteurs de qualité.....	22

3.3.2.3 Définition du portique avec maçonnerie rigide.....	23
3.4 Vulnérabilité des allèges sur ossatures.....	23
3.5 Structures mixtes (portique-voile).).....	25
3.5.1 Contreventement mixte (portique-voile).	25
3.5.2 Coefficient de comportement global (R) des structures mixtes.....	25
3.6 Justification de la sécurité	26
3.7 Joint parasismique.....	27
3.8 La ductilité - le coefficient de comportement (R)	29
3.9 La rigidité des nœuds et les recouvrements en zone nodale.....	30
3.10 Application de RPA aux bâtiments existants.....	32
3.11 L'isolation parasismique à la base.....	34
Conclusion.....	38
CONCLUSION GENERALE.....	42
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	43

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	:	05
Figure 3.1	:	14
Figure 3.2	:	16
Figure 3.3	:	17
Figure 3.4	:	17
Figure 3.5	:	18
Figure 3.6	:	19
Figure 3.7	:	19
Figure 3.8	:	20
Figure 3.9	:	21
Figure 3.10	:	21
Figure 3.11	:	24
Figure 3.12	:	24
Figure 3.13	:	26
Figure 3.14	:	26
Figure 3.15	:	27
Figure 3.16	:	28
Figure 3.17	:	29
Figure 3.18	:	31
Figure 3.19	:	31
Figure 3.20	:	32
Figure 3.21	:	34
Figure 3.22	:	35
Figure 3.23	:	35
Figure 3.24	:	35
Figure 3.25	:	36
Figure 3.26	:	36
Figure 3.27	:	37
Figure 3.28	:	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 :	03
Tableau 1.2 :	06
Tableau 3.1 :	14
Tableau 3.2 :	14
Tableau 3.3 :	15
Tableau 3.4 :	16
Tableau 3.5 :	17
Tableau 3.6:	19
Tableau 3.7 :	25
Tableau 3.8 :	30
Tableau.3.9 :	30

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie a été soumise à des actions sismiques violentes qui ont fait de nombreuses victimes et beaucoup de dégâts avec des destructions massives qui ont touché plusieurs régions du pays tel que Chlef en 1980 qui restera gravé à jamais dans la mémoire des Algériens, Alger en 1996 avec un rayon macrosismique s'étalant sur 140km touchant ainsi Ain Bénian, Chéraga, et Staouali, Ain Temouchent en 1999 sur une surface macrosismique de 260km de rayon, et dernièrement celui de Boumerdes qui vient rappeler que le nord Algérien très peuplé n'est pas à l'abri des catastrophes naturelles, augmentant ainsi la notion de risque qui n'est que le produit de l'aléa sismique par la vulnérabilité, et qu'il faudrait prendre sérieusement en considération étant donné que nous sommes dans une zone reconnue sismique.

Lors du tremblement de terre de Boumerdes (Algérie) du 21/05/2003 nous avons constaté qu'une grande partie d'ouvrages n'a pas subi beaucoup de dégâts alors que d'autres se sont effondrés, ce qui ne peut être expliqué par la puissance du séisme mais qui pouvait être évité si certains principes élémentaires du génie parasismique avaient été respectés.

Les premières lectures faites nous permettent de classer les causes de défaillance des structures en trois catégories :

- vulnérabilité de certains types de structures.
- conception Architecturale et Structurale.
- conditions constructives et matériaux.

Les diagnostics établis culpabilisent toujours la nature mais jamais nos carences en matière de réglementation, de conception et de réalisation.

La réglementation parasismique Algérienne qui est entrée en vigueur depuis 1981 et qui ne cesse d'être révisée et actualisée (en 1983, en 1988, en 1999 et en 2003) afin d'être plus réaliste et répondre aux nouvelles exigences, reste toujours insuffisante au vu des constatations faites durant tous les séismes qui nous ont frappés et marqués.

Il est indispensable après chaque séisme de prendre en considération les nouveaux aspects liés à ce séisme, sachant que le Nord de l'Algérie connaît une activité sismique importante. "Cette réalité doit être prise en compte par les services compétents qui sont conscients de la nécessité de la révision et de l'actualisation de ce moyen afin de prendre en

considération les règles parasismiques internationales et surtout de tirer les enseignements des expérimentations effectuées dans ce cadre.

Ce n'est qu'à travers les erreurs qu'on apprend à éviter le pire pour les générations futures.

Dans les pays développés, l'amélioration des règles à travers la critique basée sur les recherches menées dans ce domaine de façon permanente, permet d'évoluer dans la construction parasismique qui reste le seul moyen de prévention des catastrophes dues aux séismes qui sont des phénomènes tout à fait imprévisibles.

Il faudrait penser à court, moyen et long termes selon un schéma bien défini à :

- Premièrement cibler les constructions vulnérables et éviter de reproduire ce type de structures,
- Deuxièmement renforcer les ouvrages existants selon leurs degrés de vulnérabilité,
- Enfin penser à un parc immobilier de substitution qui sera en mesure de remplacer celui existant.

Dans cette perspective, nous essayons de donner ici une contribution à l'amélioration des règles parasismiques algériennes (RPA) , et tirer les leçons de nos erreurs et défaillances afin de concevoir, analyser et réaliser des structures capables de résister aux agressions sismiques et réviser la réglementation existante pour qu'elle soit plus performante sur la base de la recherche continue, des constatations sur terrain et des expériences acquises par la réglementation Internationale.

CHAPITRE : 01
HISTORIQUE DE LA SISMICITE
EN ALGERIE

HISTORIQUE DE LA SISMICITE EN ALGERIE

En Algérie, une banque de données sismologique, établie par le CRAAG, recense les tremblements de terre les plus violents, de magnitude 5 + , classée en fonction de la date, de la magnitude et des dégâts humains et matériels. Parmi les plus notables, voici une liste des séismes qui ont frappé le pays depuis 1365. [33] Tableau 1.1 :

Localité	Date	Magnitude Ou Intensité	Dégâts
Alger	03/01/1365	Forte	Plusieurs victimes.
Alger-Mitidja	03/02/1716	X	20 mille morts, Alger détruite
Oran	09/10/1790	IX-X	2 mille morts, ressenti à malte
Blida	02/03/1825	X	7 mille morts, destruction de blida.
Jijel	22/08/1856	X	le port est détruit par un raz de marée avec des vagues de plusieurs mètres de hauteur.
Gourara	15/01/1891	X	38 morts, dégâts importants. Rayon macrosismique 200 km
Sour.El. Ghozlan	24/06/1910	IIX6.4	30 morts. Dégâts importants. Répliques ressenties jusqu'en 1911.
Aïn ElHassan (ElAsnam)	25/08/1922	IX-X5.1	Cavaignac complètement détruite. Mouvement vertical de 1m.
(Carnot) (El-Asnam)	07/09/1934	IX	Dégâts à Carnot, St. Cyprien et El-Attaf. Des glissements de terrain.. 92 répliques enregistrées.
M'SILA	12/02/1946	5,6	264 morts, 1000 maisons détruites.
Orléanville (El Asnam)	09/09/1954	X-6,7	1243 morts.20.000 habitations détruites. Glissement de terrain liquéfaction du sol. Mouvement vertical maximum de 1.33m au voisinage d'Ouled Abbas. Plusieurs répliques.
M'sila	21/02/1960	VIII-5,6	47 morts et 88 blessés.
M'sila	01.1.1965	VIII-5.5	5 morts, 1300 maisons détruites.
Mansoura	24.11.1973	VII-5,1	4 morts, 50 blessés.

El Asnam	10.10.1980	IX-7,3	2633 morts, 8369 blessés, 348 portés disparus, 6.778.948 sinistrés, 70% des habitations détruites. Une faille inverse a été observée de 36km. Un mouvement vertical maximum de 6 m a été mesuré entre Zebabdja et Ouled-Abbas Une forte réplique a été enregistrée une heure après le choc Principal (M=6,5)
Constantine	27/10/1985	VIII -5,9	10 morts, > 300 blessés Peu de dégâts. Ruptures de surface. Une faille de Coulissage.
El Affroun	31/10/1988	VII-5,4	5 blessés, nombreux dégâts.500 familles sinistrées.
Chenoua	29/10/1989	VIII-6,0	22 morts, Nombreux dégâts à Sidi-Moussa. Peu de dégâts à Alger. Faille inverse. Plusieurs répliques durant 3 mois.
Mascara	18/08/1994	VII-5,6	171 morts, importants dégâts à Hacine et Shadlia .
Alger	04.09.1996	VII-5,7	Rayon macrosismique moyen de 140 km
Ain-Temouchent	22/12/1999	VII-5,8	28 morts, plusieurs maisons détruites. Rayon macrosismique \geq 260 km
Béni-Ouartilane	10/11/2000	VII-5,4	2 morts, fissurations dans les maisons en maçonnerie.
Boumerdès	21/05/2003	X-6,8	2278 morts, , 10 261 blessés, 119 000 personnes sinistrés. un raz de marée (mini tsunami) qui est arrivé jusqu'aux Baléares.
Laâlam (Kherrata)	20 /03/2006	5.8	4 morts, 68 blessés, 140 habitations endommagées.
Touggourt	08/07/2007	5.1	habitations endommagées.
Mostaganem	08/08/2007	5.1	habitations endommagées.
Médéa	22/08/2007	5.2	habitations endommagées.
Béni Ilmane (M'sila)	14 mai 2010	5.2	habitations endommagées.

L'étude historique de la sismicité montre que la majeure partie des tremblements de terre qui affectent notre pays est concentrée au nord dans la chaîne Tellienne où des événements modérés à forts se sont produits. Peu de fortes secousses ont été enregistrées dans le Sud . 'figure.1.1'.

Les tremblements de terre ont souvent été meurtriers. Les sources historiques et l'actualité en témoignent. Le nombre de victimes, quelquefois difficile à évaluer, se chiffre souvent par milliers.

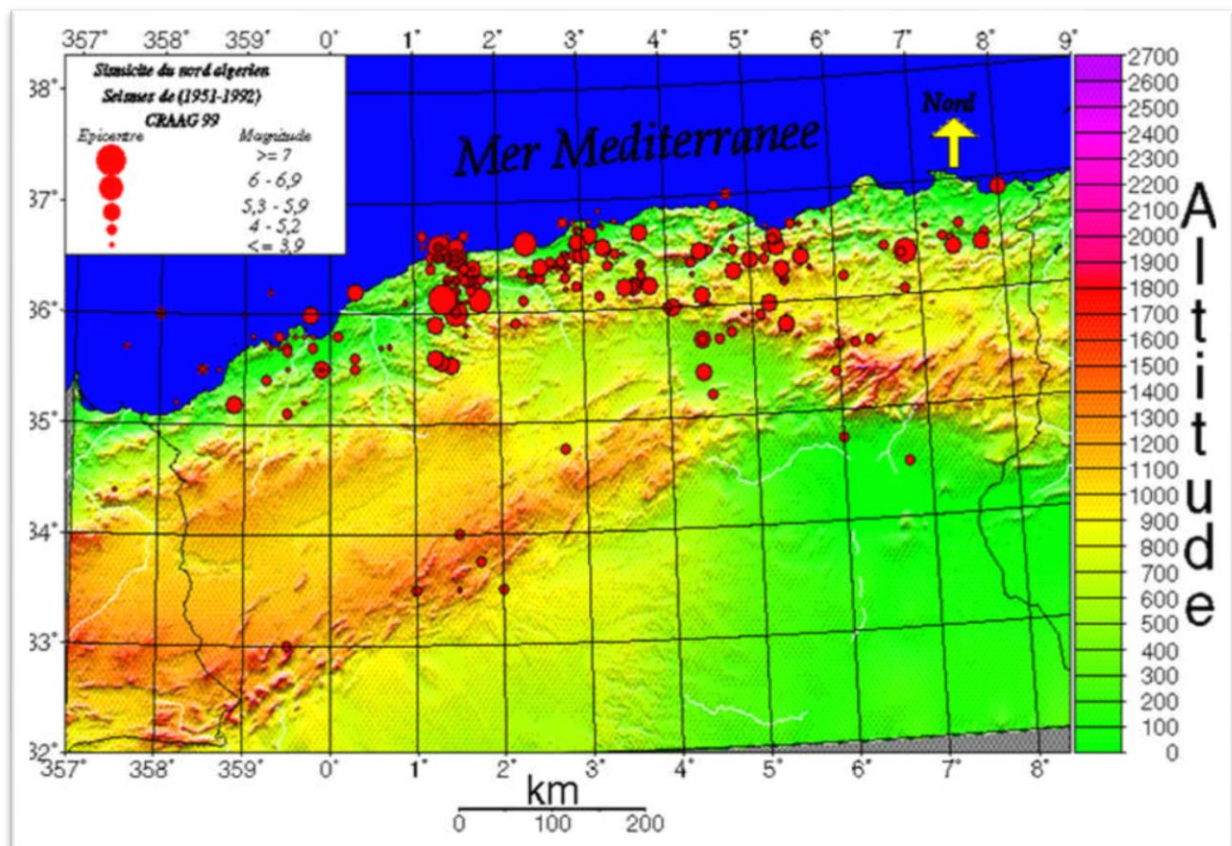


Figure 1.1 : carte de sismicité du nord algérien

On remarque également que la fréquence des séismes est devenue grande (presque un séisme tous les trois ans en moyenne) de 1980 à nos jours.

Et pourtant, la révision de notre code sismique se fait en moyenne tous les 10 ans .

Cela nous semble anormal , car chaque évènement sismique nous donne des enseignements à tirer. En plus de ça , les recherches théoriques et pratiques doivent être continues , afin de contribuer à l'amélioration de ce code.

LES SEISMES VIOLENTS ET RECENTS DANS LE MONDE.

Nous donnons dans le tableau I .2 ci-dessous dans un ordre chronologique, quelques exemples des plus violents et récents séismes ayant causé le plus de victimes dans le monde. [33]

Tableau1.2 :

Pays	Date du séisme	victimes
Guatemala Guatemala City	1976	22 000 victimes.
Italie Frioul		950 victimes.
Tangshan (Chine)		650 000 victimes.
Tabas (Iran)	1978	25 000 victimes
Montenegro (Yougoslavie)	1979	120 victimes
El Asnam (Algérie),	1980	3 500 victimes.
Campanie-Lucanie (Italie),		4 500 victimes.
Mexico (Mexique)	1985	20 000 victimes.
Spitak (Arminie)	1988	10 000 victimes
Loma Prieta (Etas-Unis)	1989	64 victimes
Manjil (Iran)	1990	40 000 victimes
Hindu Kush (Afghanistan)	1991	300 victimes
Uttar Kashi (Inde)		2000 victimes
Erzincan (Turquie)	1992	600 victimes
Le Caire (Egypte)		550 victimes.
Latur (Inde).	1993	15 000 victimes
Los Angeles (Etats-Unis)	1994	61 victimes.
Northridge (Etats-Unis)		57 victimes.
Sumatra (Indonésie)		350 victimes.
Paez (Colombie)		600 victimes.
Mascara (Algérie)		170 victimes.
Boumerdes (Algérie)	2003	2000 victimes

Tableau I.2: Exemples De Séismes Violents Et Récents Dans Le Monde .

CHAPITRE : 02

**NOTIONS DE REGLEMENTATION
PARASISMIQUE**

NOTIONS DE REGLEMENTATION PARASISMIQUE**INTRODUCTION**

En Algérie, le risque sismique est important. En effet, Au cours des 250 dernières années des tremblements de terre de magnitude moyenne à élevée se sont produit dans le nord de l'Algérie au moins une douzaine de fois .

Les pertes encourues lors des différents évènements sismiques qu'a connu le pays, surtout dans les zones à forte sismicité et qui sont les plus densément peuplées, ont mis en évidence la nécessité de réduire les dommages potentiels des structures et d'évaluer leur vulnérabilité aux séismes, et ce dans le but de réduire le risque sismique existant.

Étant donnée que l'aléa sismique ne peut être contrôlé par l'homme, la réduction de ce risque sismique nécessite la mise en œuvre d'une série d'action préventives et de surveillance ainsi qu'une identification de la vulnérabilité des éléments exposés à ce risque.

Par conséquent, une gestion rationnelle du risque sismique ne pourrait se faire sans la quantification de ce dernier.

De ce fait, les études de la vulnérabilité sismique des bâtiments et des infrastructures de base , y compris l'évaluation du potentiel de liquéfaction de leurs sols d'assise, joue un rôle important puisque c'est à partir de ces études que des mesures de réduction du risque sismique pourraient être prises et un plan d'urgence pourrait être établi.

L'étude de la vulnérabilité sismique des bâtiments doit permettre l'estimation de leur faiblesse structurale, vis à vis d'un évènement sismique d'intensité donnée.

D'autant plus, qu'elle servirait à l'établissement d'une stratégie d'action d'intervention visant l'augmentation de leur durée de vie et l'amélioration de leur comportement aussi bien post sismique que lors de la secousse sismique elle-même.

NOTION ET NECESSITE DES REGLEMENTS PARASISMQUES :

Les règlements parasismiques sont des documents techniques qui fixent les codes de conception et de calcul des constructions en zones sismiques, et qui visent à assurer une protection acceptable des vies humaines et des constructions vis à vis des effets des actions sismiques par une conception et un dimensionnement appropriés.

Afin de minimiser au maximum les dégâts matériels et humains causés par les séismes, de nombreux règlements parasismiques ont vu le jour et sont en constante évolution pour mieux aider les concepteurs à faire des choix judicieux lors de la conception, le calcul et la mise en œuvre des ouvrages. En général, ces règlements visent à ce que ces derniers soient capables de résister :

- A des séismes mineurs sans aucun dommage.
- A des séismes modérés avec des dommages négligeables dans les éléments structuraux et quelques désordres dans les éléments non structuraux.
- A des séismes majeurs avec quelques dommages structuraux et non structuraux sans qu'il y ait effondrement ou perte de stabilité de l'ouvrage.

Le respect de ces règles réduit considérablement le risque d'effondrement des constructions, sans pour autant le garantir. En effet, on a déjà constaté lors des séismes majeurs que des constructions conformes aux règles parasismiques soient sérieusement endommagées ou parfois même effondrées, ces cas sont très rares, ce qui donne une bonne impression sur ces règles et encourage les chercheurs à améliorer d'avantage ces derniers.

Pour des ouvrages courants, les objectifs ainsi visés consistent à doter la structure :

- d'une rigidité et d'une résistance suffisante pour limiter les dommages non structuraux et éviter les dommages structuraux par un comportement essentiellement élastique de la structure face à un séisme modéré, relativement fréquent.
- d'une ductilité et d'une capacité de dissipation d'énergie adéquates pour permettre à la structure de subir des déplacements inélastiques avec des dommages limités et sans effondrement, ni perte de stabilité, face à un séisme majeur, plus rare.

Pour certains ouvrages importants, la protection visée est encore plus sévère puisqu'il faudra que l'ouvrage puisse demeurer opérationnel immédiatement après un séisme majeur .

CONTENU DES CODES PARASISMIQUES :

Malgré leurs différences, les divers codes parasismiques donnent en général 3 types d'indications :

- recommandations pour la conception d'ensemble (conception architecturale) .
- dispositions constructives générales et dispositions particulières à divers matériaux ou procédés de constructions .
- règles de calcul.

LA CONSTRUCTION PARASISMIQUE .

La construction parasismique est le moyen le plus sûr de prévention du risque sismique. il convient de respecter les règles normales de bonne construction mais aussi des principes spécifiques dus à la nature particulières des charges sismiques [16].

La construction parasismique (ou anti-sismique) regroupe l'étude du comportement des bâtiments et structures sujets à un chargement dynamique du type sismique et la réalisation de bâtiments et infrastructures résistants aux séismes.

Les objectifs principaux de la construction parasismique sont de :

- comprendre l'interaction entre les bâtiments ou autres infrastructures de génie civil et le sol .
- prévoir les conséquences potentielles des tremblements de terre .
- concevoir et construire des structures résistant aux tremblements de terre, conformément aux normes de construction locales.

Pour avoir une bonne tenue face aux séismes, une construction doit être conçue dès le départ de façon à pouvoir résister aux actions sismiques, en faisant le bon choix des éléments porteurs de la structure, du matériau à utiliser, du type de contreventement...etc. En effet, aussi poussés soient-ils, les calculs et le dimensionnement ne peuvent compenser à eux seuls les défauts de la conception sur le plan parasismique.

Pour qu'une construction soit réellement parasismique, elle doit s'appuyer sur trois points fondamentaux :

- Bonne conception architecturale vis-à-vis des séismes.
- Application des règles parasismiques.
- Exécution de qualité.

LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE DANS LE MONDE.

Le premier code parasismique a été publié au début des années 20 au Japon, pays à forte sismicité. Les immeubles conçus conformément à ce code se sont bien comportés lors du séisme de magnitude 8,2 qui s'est produit dans la région du Kanto en 1923. Aux Etats Unis d'Amérique, la première édition de l'Uniform Building Code (UBC) date de 1927. il était mis à jour quasiment tous les 3 ans jusqu'en 1997. en 2000, il devient l'International Building

Code (IBC). en Californie, un autre pays exposé à des séismes majeurs, le premier code parasismique spécifique a vu le jour en 1933.

En France le séisme d'Orléans ville (Algérie) de 1954 a entraîné la rédaction des recommandations « Antisismiques AS 55 », et après le séisme d'Agadir (Maroc) en 1960, ont été élaborées les règles parasismiques PS 62/64, et en 1969, ces règles ont été transformées en Document Technique Unifié (DTU) PS 69 (norme P 06-003). Les enseignements du séisme d'El Asnam (Algérie) en 1980 ont conduit à compléter les règles PS 69 qui sont devenues les règles PS 69 / ADDENDA 82. L'évolution rapide des connaissances en matière de génie parasismique bénéficiant des observations de récents séismes (Mexico en 1985, Spitak en Arménie en 1988, Loma-Priéta en Californie en 1989) fait apparaître des lacunes dans les règles PS 69/82. et l'élaboration des recommandations AFPS 90 qui ont été en grande partie reproduites dans la rédaction des règles PS 92. Les évolutions techniques en matière de construction parasismique et la volonté d'harmoniser les normes au niveau européen ont conduit à l'adoption d'une nouvelle réglementation parasismique basée sur les règles Eurocode8 (EC 8).

LES REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES [1-5].

Depuis le séisme d'El Asnam en 1980 qui a fait un désastre tant en vie humaine qu'en destruction de constructions, l'Algérie s'est dotée d'un règlement parasismique RPA81, suivie par le RPA81 version 83, ces deux règlements se basent sur la méthode statique équivalente pour le calcul de la force sismique.

D'autres secousses moins importantes telle celle de Constantine en Octobre 1985 et autres ont fait que ces règles soient modifiées, une première révision en 1988 concernant le zoning, l'annulation de la restriction pour l'utilisation des portiques autostables en zone III, l'introduction de la méthode d'analyse modale spectrale comme annexe, et quelques dispositions constructives ont été adoptées.

La révision faite en 1988 s'est avérée insuffisante puisque le principe même de la protection sismique à savoir le non effondrement des constructions n'a pu être respecté vu l'ampleur des dégâts occasionnés lors des séismes de Ain Témouchent en 1999 et récemment celui de Boumerdes en 2003 qui a été très violent et destructeur.

En 2000, une version plus complète des règles parasismiques Algériennes RPA 99 qui est une continuité des documents précédents avec une actualisation qui tient compte des leçons tirées des

récents séismes survenus en Algérie et dans d'autres pays. Dans cette version des RPA, on trouve la méthode dynamique modale spectrale et la méthode statique équivalente au même niveau.

La quatrième révision a eu lieu après le séisme de Boumerdès en 2003 donnant lieu aux RPA99 - Version 2003. Dans cette version, il y a eu, principalement, la révision de la carte de zonage sismique et la restriction en hauteur du système structurel en portiques avec murs de remplissage en maçonnerie. Par conséquent, l'utilisation des voiles de contreventement dans les structures de bâtiments en béton armé a été fortement encouragée et recommandée.

DOMAINE D'APPLICATION DES REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES.

Les règles sont applicables à toutes les constructions courantes. Par contre, elles ne sont pas directement applicables aux constructions telles que [5] :

- constructions et installations pour lesquelles les conséquences d'un dommage même léger peuvent être d'une exceptionnelle gravité: centrales nucléaires, installations GNL, installations de fabrication et de stockage des produits inflammables, explosifs, toxiques, ou polluants.
- ouvrages d'art (barrages, ouvrages maritimes, ponts, tunnels,...).
- réseaux et ouvrages enterrés. Pour ces types de constructions, il y a lieu de se référer à des règles ou recommandations spécifiques.

Par ailleurs les dispositions du présent règlement ne s'appliquent pas en zone de séismicité négligeable de la classification des zones sismiques.

CONDITIONS D'APPLICATION.

Les constructions auxquelles s'appliquent les règles doivent satisfaire concomitamment aux règles de conception, de calcul et d'exécution applicables[5]

Par ailleurs, au cas où les sollicitations issues d'un calcul aux effets du vent sont plus défavorables, ce sont ces dernières qu'il y a lieu de prendre en considération pour la vérification de la résistance et de la stabilité de l'ouvrage, mais, en même temps, les dispositions constructives des règles RPA doivent être respectées.

Globalement, les préoccupations essentielles à prendre pour chaque révision du RPA sont les suivantes :

- Prise en compte de l'évolution récente de la réglementation internationale en la matière.
- Réponse aux questions et remarques des utilisateurs du RPA.

- Valorisation de l'expérience acquise dans la pratique du génie parasismique.
- Harmonisation du RPA avec les autres DTR complémentaires (CBA, CCM, Maçonnerie, Fondations,...).
- Réorganisation du contenu du RPA selon un schéma de plus en plus utilisé dans les codes étrangers.
- Amélioration de la présentation du RPA en tant qu'outil de travail très utilisé.

CHAPITRE : 03

**PRINCIPAUX POINTS
ET ÉTUDE CRITIQUE**

INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous avons essayé de classer les principaux points de notre étude critique à partir des constatations sur les sites qui ont été frappés par de violents séismes où plusieurs bâtiments ont été totalement ou partiellement détruits causant des pertes en vies et biens inestimables.

Les causes de ces ruines d'ouvrages, contraires au principe du calcul parasismique dont la finalité est la protection et la sécurité des biens et des personnes, nous a poussés à mieux comprendre certains phénomènes et comportements qui ont été les principaux facteurs de ce risque.

Les diagnostics établis accusent toujours la nature, mais n'indiquent jamais la défaillance en matière de réglementation de conception et de réalisation.

Sur la base des expériences et remarques faites concernant la défaillance de certaines structures nous présentons ici notre contribution critique pour l'enrichissement et l'amélioration de la réglementation parasismique. Cette contribution est focalisée sur les points d'étude suivants :

3.1 CLASSIFICATION DES SITES.

Le RPA99/v2003 adopte quatre (04) catégories seulement de sites, classés en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent[5] :

Catégorie S1 (site rocheux) ;

Catégorie S2 (site ferme) ;

Catégorie S3 (site meuble) ;

Catégorie S4 (site très meuble).

Le choix du site pour le RPA99/v2003, est basé sur les résultats d'investigations dont l'importance est en rapport avec celle de l'ouvrage projeté, en particulier les conditions défavorables suivantes :

- présence de failles reconnues actives.
- zones suspectes de liquéfaction.
- terrains instables.
- topographie superficielle accidentée.
- présence d'alluvions d'épaisseur variable en pied de pente ou d'épaisseur importante en milieu de vallées (susceptible d'amplification).
- présence de formations géologiques différentes.

D'après RPA99/v2003, ce paramètre est considéré dans le calcul des périodes caractéristiques T_1 et T_2 (Tableau 3.2) et du coefficient d'amplification dynamique D (Figure 3.1). Ce coefficient est exprimé par la relation suivante :

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(T_2/T)^{\frac{2}{3}} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(T_2/3.0)^{\frac{2}{3}}(3.0/T)^{\frac{5}{3}} & T \geq 3.0s \end{cases}$$

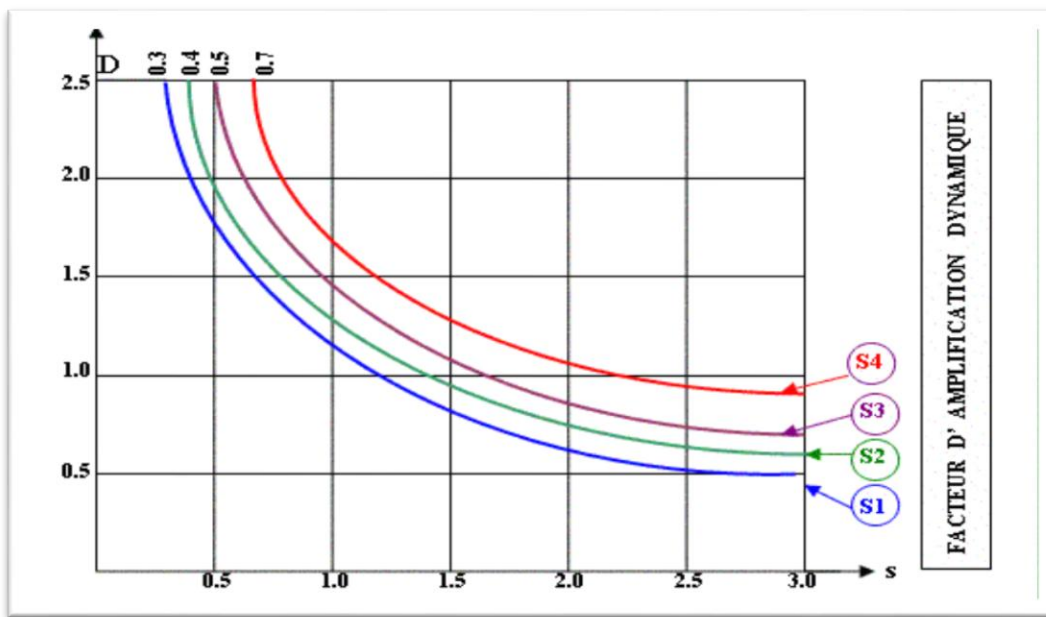


Figure 3.1 : le coefficient d'amplification dynamique D [5]

Avec :

η : facteur de correction d'amortissement (quant l'amortissement est différent de 5%.

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2} + \xi} \geq 0.7$$

ξ : est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages, donné dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 : Valeurs de ξ (%) [5]

Remplissage	Portiques		Voiles ou murs
	Béton armé	Acier	Béton armé/maçonnerie
Léger	6	4	10
Dense	7	5	

Tableau 3.2 : valeur de période caractéristique [5]

Site	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
T ₁ (sec)	0.15	0.15	0.15	0.15
T ₂ (sec)	0.30	0.40	0.50	0.70

Cependant l'eurocode8 classe les sols en Sept (07) catégories [14], les recommandations de l'eurocode8 classent les sols sur la base de la valeur moyenne de la vitesse de propagation des ondes de cisaillement ,et les valeurs des paramètres qui définissent les spectres

horizontaux et verticaux et décrivent la forme du spectre de réponse élastique qui dépend de la classe de sol. Le tableau 3.3, montre une confrontation très claire sur ces classifications.

Tableau 3.3. Comparaison de la classification des sites selon l'EC8 et RPA99/v2003 [10-11] [14].

Eurocode8		RPA 99/ v 2003	
Catégorie	site	Catégorie	site
A	site rocheux	S1	site rocheux
B	site ferme	S2	site ferme
C	site profond de sable moyennement dense et gravier ou d'argile moyennement raide.		
D	site de sol sans cohésion de densité faible à moyenne.	S3	site meuble
E	site de sol avec une couche superficielle d'alluvions repose sur un matériau plus raide.		
S1	site composé ou contenant une couche argileuse de plus de 10 m d'épaisseur	S4	site très meuble
S2	site de sol liquéfiable d'argiles sensibles ou autre sol non compris précédemment.		

Il est à noter ici que l'Eurocode8 donne beaucoup plus de détail dans la classification du sol (07 sites) et la définition de ces sites [10-11] [14].

Nous proposons de donner beaucoup plus de détail dans la classification du sol, en ajoutant d'autres classes de sites pour une meilleure reconnaissance des zones liquéfiables ou instables, ainsi que pour la prise en compte éventuelle de leurs propriétés dynamiques dans les calculs, surtout le site de sable moyennement dense ou de gravier, et d'alluvions ou sol liquéfiable d'argiles sensibles ou autre sol non compris précédemment.

3.2 REGULARITE EN PLAN.

Pour offrir une meilleure résistance aux séismes, les ouvrages doivent de préférence avoir, d'une part des formes simples, d'autre part, une distribution aussi régulière que possible des masses et des rigidités tant en plan qu'en élévation.

D'après RPA99/v2003 un bâtiment est classé régulier en plan si tous les critères de régularité en plan (a1 à a4) sont respectés [5] :-

a1/. Le bâtiment doit présenter une configuration sensiblement symétrique vis à vis de deux directions orthogonales, et la distribution des rigidités et celle des masses.

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

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

La somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans une direction donnée ne doit pas excéder 25% de la dimension totale du bâtiment dans cette direction.

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

Dans ce cadre la surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15% de celle de ce dernier. Figure 3.2 [5] .

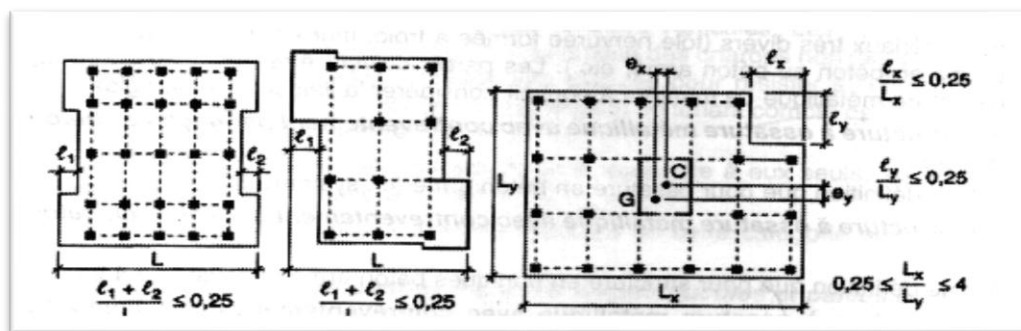


Figure 3.2 : La régularité en plan[5]

Le tableau 3.4 montre une confrontation de l'excentricité structurale (e_{ox}) qui doit vérifier les conditions qui sont exprimées, à chaque niveau et pour chaque direction de calcul x et y , en Algérie par rapport aux autres règlements.

Tableau 3.4 : Comparaison de la distance entre le centre de gravité des masses et le centre des rigidités selon RPS2000, EC8 et RPA99/v2003-[5] [9] [11] [14]

RPS2000- Maroc	Eurocode8 (EC8)	Règles parasismiques algérien (RPA99/v2003)
$e_{ox} \leq 0.20 r_x$ r_x : la racine carré e du rapport de la raideur de torsion sur la raideur de translation.	$e_{ox} \leq 0,30 r_x$ et $r_x \geq l_s$ - r_x : est la racine carrée du rapport de la rigidité de torsion à la rigidité latérale dans la direction y - l_s : est le rayon de giration massique du plancher en plan.	$e_{ox} \leq 0.15 L$ - L : la dimension du bâtiment mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée.

• On remarque que la limite de l'excentricité imposée par le RPA99/v2003 est basée sur les dimensions du bâtiment ,alors que le RPS2000 et l' EC8 se basent ,pour limiter cette excentricité ,sur les rigidités ,ce qui est plus logique et réaliste.

Le tableau 3.5 : montre une confrontation de rapport longueur/largeur du plancher pour la forme du bâtiment qui doit être compacte , en dans le RPA99 par rapport aux autres règlements.

Tableau 3.5 : L'élanement (grand côté L/petit côté B) ne doit pas dépasser la valeur. [5] [8] -[9] [34]

RPS2000- Maroc	PS92	RPA99(Version 2003)-
L'élanement (grand côté L/petit côté B) $L/B \leq 3.5$	«L'élanement $\eta=Lx/ly$ de la section en plan du bâtiment ne doit pas excéder la valeur 4»	« a3 : La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égale à 4 »

•La Figure 3.3 montre les dommages dans les angles rentrants dus aux oscillations différentielles (séisme de Kobé, Japon 1995). [21] [24] Le bâtiment est conforme aux règles parasismiques mais le choix architectural d'une forme en L sans présence de joints ou de renforts a conduit à des dommages au niveau de l'angle rentrant dans le plan horizontal.

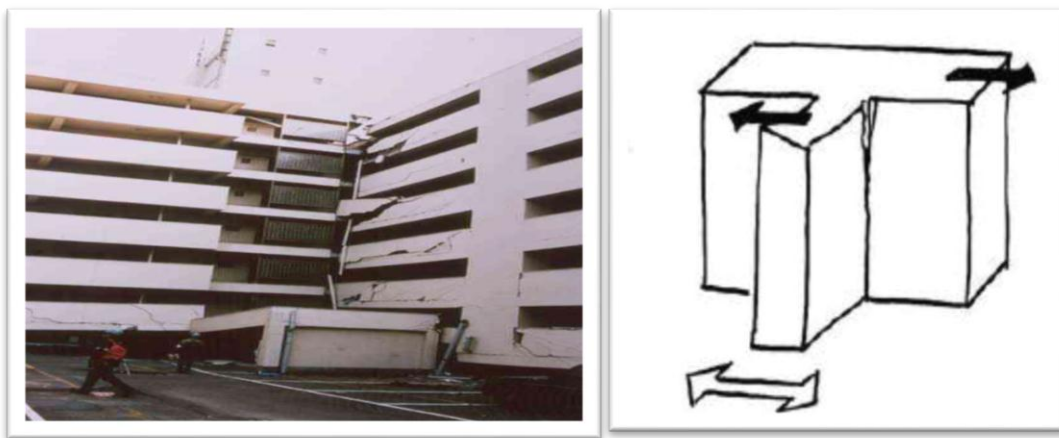


Figure 3.3 : Dommages dans les angles rentrants (séisme de Kobé, Japon 1995) [21] [24].

Pour la flexion d'ensemble et aussi pour la torsion: les éléments reprenant la torsion doivent être distribués assez symétriquement , le non respect de ce principe peut conduire à une déformation permanente gauchie de la structure . [15]

La Figure 3.4 montre que les angles de cette étoile à trois branches ont été adoucis pour éviter les dommages localisés dans les angles rentrants.[25]



Figure 3.4 : Solutions éviter les dommages localisés dans les angles rentrants [21]

Il est proposé pour éviter les irrégularités en plan :

- Réviser des conditions de limitation de l'excentricité imposée par le RPA99/v2003 qui doivent être baser sur un rapport de rigidité à chaque niveau et pour chaque direction de calcul, ce qui est plus logique et réaliste.
- Utiliser les plans carrés ou proches du carré qui conviennent très bien[28] . Pour cela ,il convient de : Limiter le rapport longueur/largeur des bâtiments, de façon à rester inférieur ou égale 3.
- Adoucir les angles rentrants du bâtiment par une forme plus fluide, une construction idéale présenterait la même rigidité dans toutes les directions ,ou une variation progressive de la rigidité ,Cette démarche relève de la partie architecturale. Il s'agit d'une correction partielle mais efficace, souvent employée[21].
- Renforcer les angles rentrants, cette solution, fréquemment utilisée aux Etats-Unis et au Japon, est délicate à mettre en œuvre[21] .

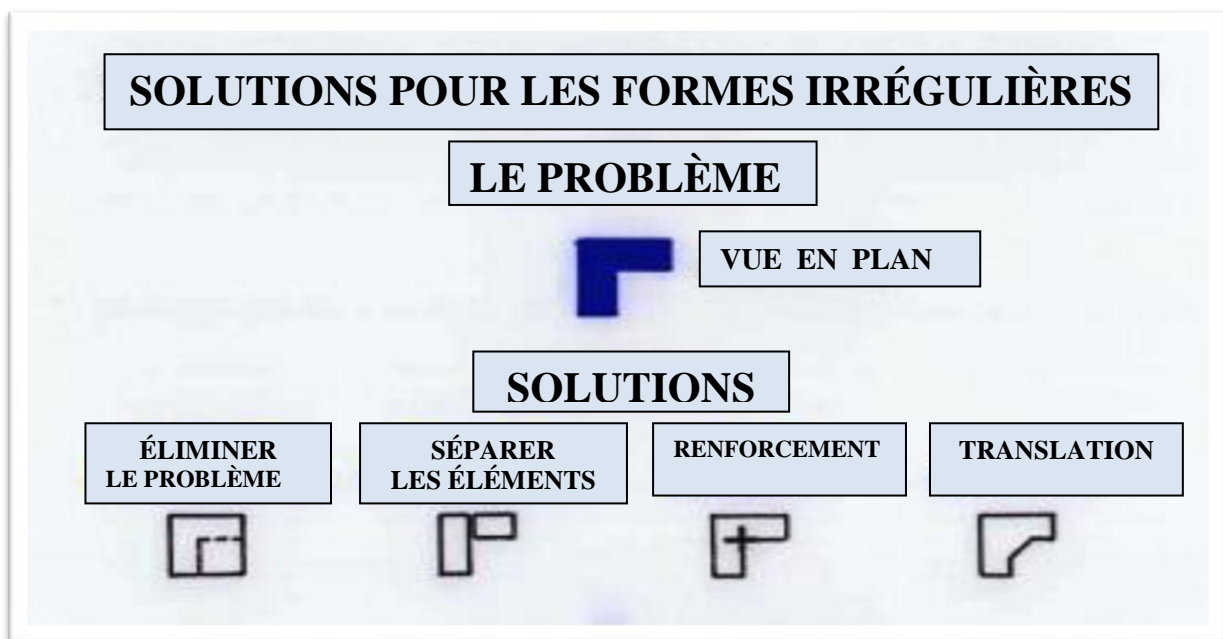


Figure 3.5 : Solutions pour bâtiments irréguliers [21]

3.3 STRUCTURES AUTOSTABLES AVEC MAÇONNERIE INSEREE.

3.3.1 VULNERABILITE DES STRUCTURES EN PORTIQUE AUTOSTABLE AVEC MAÇONNERIE INSEREE.

Les structures les plus vulnérables durant les séismes récents (Boumerdes , Beni Ilmène) sont les portiques auto-stables avec maçonneries insérées où a été constatée la quasi-totalité des effondrements.

Ces effondrements sont dus essentiellement à des erreurs de surestimation de leur ductilité .figures.(3.6 et 3.7).



Figure.3.6 :Rupture par cisaillement due à l'interaction maçonnerie portique, le centre de Boumerdes [12] .



Figure.3.7 : Ruptures fragiles aux niveaux des éléments structuraux, le centre de Boumerdes[12] .

Selon les règles parasismiques Algériennes le coefficient de comportement R pour ce type de structures est de 3,5 alors que selon l'EUROCODE8 il n'est que de 1,5 [10] ce qui reflète l'exagération du RPA99V2003 concernant le degré de protection de ces structures.Cela nous semble un recul par rapport au RPA81V83 où le coefficient de comportement était de 3 avec une interdiction de ce type de structures en zone de forte sismicité. Tableau 3.6.

Tableau 3.6. Système de contreventement défini par le RPA . [2-5] [29] -[34]

Type de structures	RPA81 Version83	RPA88	RPA99 Version2003
Portique autostable BA avec remplissage en Maçonnerie rigide.	Existant Interdit en zone.III R=3	Inexistant Interprété comme portique autostable sans remplissage .	Existante avec définitions ambiguë très vulnérable. 5 niv ou 17m zone.I 4 niv ou 14m zone.IIa 3 niv ou 8m zone.IIb 2 niv ou 08m en zone.III R=3,5

On remarque qu'on devrait être beaucoup plus contraignant par rapport au RPA81V83 ce qui n'est pas le cas et surtout pour les structures en portique autostable avec maçonnerie insérée.

Les leçons tirées des récents séismes concernent surtout le comportement des structures autostables avec maçonnerie insérée qui ont été très vulnérables avec des comportements aléatoires et des effondrements quasi-totaux, sans possibilité de comportement ductile; ceci devrait nous pousser dans toute révision de règles à être beaucoup plus exigeants et à pénaliser davantage ce type de structure . Figure.3.8



Figure.3.8. Effondrement des murs d'une structure autostables avec maçonnerie insérée, Béni Ilmène2010[13].

Nous proposons donc de réduire le coefficient de comportement des systèmes de contreventement poteaux poutres autostables avec maçonnerie insérée ,et limiter leur utilisation surtout dans les sols de type3 ou 4 où elles doivent être carrément interdites ,et ne les tolérer qu'en site 1 ou 2 pour 3 ou 4 niveaux en zone.I et zone.II , en revenant à leur interdiction en zone.III quel que soit le nombre de leurs niveaux comme c'était le cas dans le RPA83, et les substituer par des structures mixtes ou les structures en maçonnerie chaînée ou armée, qui sont plus performantes et stables et qui ont un meilleur comportement sismique comme cela a été observé lors des différents séismes. 'figure.3.9 ', 'figure.3.10 ',



Figure 3.9 -Maçonnerie armée de remplissage avec joint résilient périphérique [24] .



Figure 3.10 -Maçonnerie armée horizontalement et verticalement et chaînée[24] .

3.3.2 LA PRISE EN COMPTE DES ELEMENTS SECONDAIRES.

3.3.2.1 L'ESTIMATION DE LA PÉRIODE FONDAMENTALE.

Le problème de la modélisation se pose pour le calcul des périodes de ces structures et l'amplification dynamique qui en découle où les éléments secondaires ne sont pas pris en compte dans le modèle alors que la rigidité induite par l'ossature-maçonnerie insérée est très importante, ce qui conduit à des efforts sismiques en deçà de ceux développés réellement dans ces structures.

Pour corriger temporairement ce problème de façon grossière, il faut à notre avis utiliser les périodes déduites des méthodes empiriques qui tiennent compte du type de remplissage par le biais du coefficient C_t , c'est-à-dire la formule suivante :

$$T = C_T h_N^{3/4}$$

- h_N : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).
- C_T : coefficient fonction du système de contreventement, du type de remplissage .

Rappelons que dans les règles RPA99V2003, l'estimation de la période fondamentale de ces structures est faite à l'aide de la formule suivante:

$$T = 0.09 h_N / \sqrt{D}$$

- D est la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée.

3.3.2.2 VALEUR DU FACTEUR DE QUALITE.

Pour RPA99V2003 la valeur de facteur de qualité Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_1^5 P_q$$

P_q est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q " est satisfait ou non".

Sa valeur est donnée par quelques critères de qualité "q" à vérifier ,

On peut remarquer que certains critères sont contraires au but recherché par l'élaboration des règles parasismiques à savoir la ductilité qui ne peut être obtenue sans une bonne conception et réalisation conforme aux règles de l'art, on citera :

- Les irrégularités en plan et en élévation
- Le contrôle de la qualité des matériaux
- Le contrôle de la qualité d'exécution.

Une structure parasismique doit présenter une configuration aussi simple que possible avec une régularité distinguée en plan et en élévation afin d'avoir un comportement normal lui permettant de résister à un séisme, la maçonnerie insérée intervient indirectement dans la rigidité des ossatures autostables ce qui doit nous pousser à prendre en compte sa répartition en plan dans la définition de la symétrie en plan ainsi qu'en élévation.

La notion de rigidité doit inclure aussi la répartition de la maçonnerie insérée pour mieux refléter le comportement réel de ces structures vis-à-vis de la torsion, surtout dans la modélisation pour un calcul numérique ce qui va directement influencer la notion de ductilité.

Concernant le contrôle de la qualité des matériaux et de l'exécution il est indispensable que la notion de comportement ductile ne puisse être dissociée de ces deux conditions et dont elle dépend directement. Ce qui a été constaté lors des récents séismes c'est justement la non conformité des exigences parasismiques avec les matériaux utilisés qui se sont avérés médiocre lors de toutes les expertises faites ainsi que des conditions constructives où

presque la totalité des effondrements sont dus au non respect, or la notion de déformation post-élastique n'apparaît que si et seulement si on assure un bon confinement du béton avec des dispositions très précises telles que mentionnées dans toutes les règles sismiques.

Il est proposé d'introduire la répartition de la maçonnerie et les éléments non structuraux dans la notion de définition des structures régulières, ainsi que la mission de contrôle de la qualité des matériaux et de suivi d'exécution dans le calcul de facteur de qualité.

3.3.2.3 DEFINITION DU PORTIQUE AVEC MAÇONNERIE RIGIDE.

Dans la définition du portique avec remplissage en maçonnerie rigide d'après le RPA99V2003 une seule paroi de 10cm est insérée (hors crépissage) à l'intérieur du cadre poteau poutre exception faite pour les parois extérieures où une autre de 5cm peut aussi être insérée du côté intérieur est tolérée ; Cette dernière peut éventuellement avoir une épaisseur de 10 cm à condition qu'elle ne soit pas insérée dans les cadres poteaux-poutres pour ne pas aggraver les phénomènes d'interaction maçonnerie –structure. -[5]

On peut remarquer que dans le cas contraire, lorsque les deux parois de 10cm sont insérées à l'intérieur du cadre ce qui est le plus couramment utilisé dans les constructions, où une paroi supérieure à 10cm est insérée, il n'y a plus de classe réglementaire pour ce type de structure. Combien même calculées avec ces méthodes, les réalisations faite en application de ces règles où la maçonnerie a été disposée à l'extérieur du cadre a favorisé leur désolidarisation et même leur effondrement malgré que l'article 6.2.4 du même RPA interdit ce type de conception en zones II et III.

Il nous paraît indispensable de définir ce type de structures simplement par maçonnerie insérée dans les cadres poteaux poutres sans aucune autre indication prêtant à confusion et interprétation, ou autres détails qui ne sont d'aucune utilité.

3-4 VULNERABILITE DES ALLEGES SUR OSSATURES.

Dans les bâtiments contreventés seulement par « effet de portique résistant », les éléments constructifs susceptibles de brider quelques poteaux peuvent provoquer des dommages graves localisés, se propageant éventuellement jusqu'à la ruine. Ainsi les allèges lourdes non découplées de l'ossature par des joints résilients sont-elles à l'origine de dommages graves.

Lorsque le contreventement de la file comportant des allèges est assuré par un ou plusieurs panneaux sans fenêtres (panneaux de hauteur totale) les poteaux " courts " sont peu sollicités. Cependant, l'éclatement des panneaux est à craindre pour les raisons exposées plus haut.

S'il se produit, il aurait pour conséquence le report des charges horizontales sur les travées avec allèges.

Plus généralement, le phénomène de poteau court peut se produire dans tous les cas où la déformabilité des poteaux est bridée Figure. 3.11 , Figure. 3.12[24].

Pour éviter l'effet de poteau court dû à la présence d'allèges, deux solutions sont possibles :

- Contreventer la façade ou le bâtiment par un ou plusieurs voiles en béton qui assurent la résistance aux charges horizontales .
- Opter pour des allèges ayant une rigidité nettement inférieure à celle des poteaux. On peut donc utiliser les techniques des façades légères sinon découpler les allèges lourdes de l'ossature par des joints résilients[25].

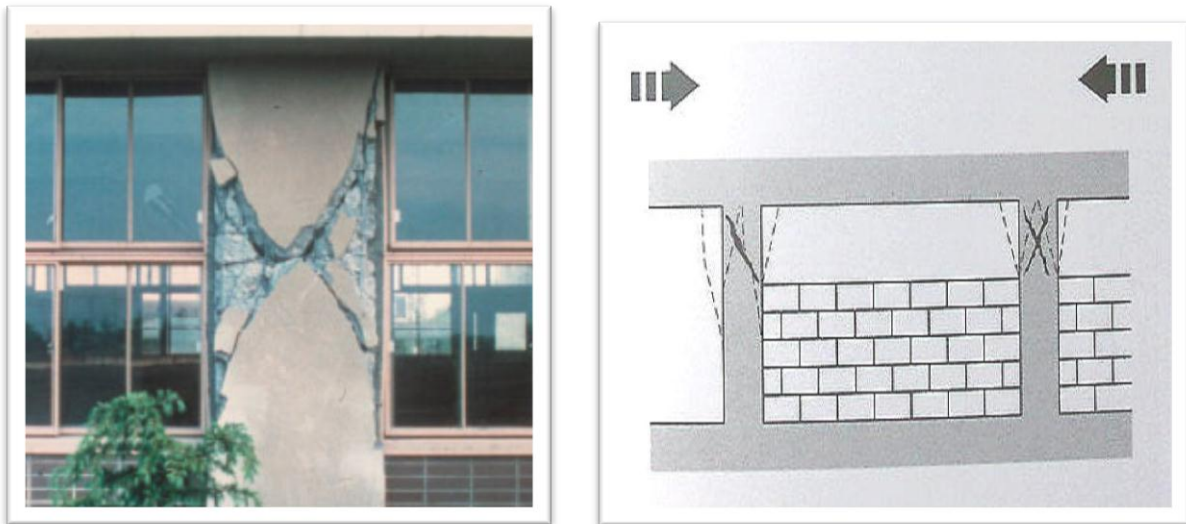


Figure. 3.11 : Poteau bridé de deux côtés:deux fissures diagonales se sont produites sous l'effet d'une sollicitation en cisaillement [24] [28] .



Figure. 3.12: Poteau bridé d'un côté : une seule fissure diagonale a été provoquée, correspondant à la déformation du poteau vers l'allège. Dans le sens de la porte vitrée[28] .

3.5 STRUCTURES MIXTES (PORTIQUE-VOILE).

3.5.1 CONTREVENTEMENT MIXTE.

Pour les systèmes de contreventement mixte (portique-voile), il est important de tenir compte des développements des méthodes de calcul basées sur l'analyse numérique où les suppositions et hypothèses de la reprise des efforts sismiques ne doivent plus poser un problème au vue de la répartition des efforts et se limiter aux systèmes de structure contreventés par portique, par voile ou avec interaction sans tenir compte de la répartition de l'effort normal tel que mentionné par le RPA.

D'ailleurs, ce système ne sera pratiquement pas adopté dans les études. Les concepteurs avertis adopteront plutôt « le système de CV par voiles » que celui mixte et ceci pour deux raisons principales[22] :

- Les semelles de ces voiles délestés seront conséquentes (Grandes) afin de pouvoir assurer leur stabilité étant donné qu'avec un CV par voile il est nécessaire que les voiles soient chargés pour réduire au maximum l'excentricité.
- L'effort tranchant repris par les poteaux en regard de leur rigidité par rapport a celles des voiles, est faible pour être intéressée par la participation des poteaux au contreventement.

3.5.2 COEFFICIENT DE COMPORTEMENT (R) DES STRUCTURES MIXTES.

Dans le cas d'un contreventement mixte où plusieurs coefficients de comportement entrent en combinaison aucune logique n'apparaît on peut remarquer que le RPA99 V2003 donne des coefficients de comportement qui normalement représentent le comportement d'une structure composée où les limites seraient celles du contreventement lui-même, ce qui n'est pas le cas comme on peut le voir dans le tableau Tab 3.7.

Tableau 3.7 : Valeurs du coefficient de comportement R [5] [14]

N°	Type de contreventement	Coef de comportement R
1	Autostable sans remplissage	5,0
2	Autostable avec remplissage	3,5
3	Portique contreventé par voile	4,0
4	Voiles porteurs	3,5
5	Mixte Portique voile avec interaction	5,0

La valeur du coefficient de comportement dans le cas de l'interaction portique voile pris $R=5$ n'est pas aussi simple, il devrait y avoir déjà un paramètre permettant de se situer dans ce type de combinaison de système d'interaction, où il faut en premier dissocier entre portique avec et sans maçonnerie insérée qui sont très différents de par leur comportement respectif et l'interaction voile portique, ensuite tenir compte d'un coefficient de comportement qui sera proportionnel à la distribution de l'effort tranchant dans chaque élément de contreventement

c'est-à-dire tenir compte de la proportion des éléments qui le constituent, ce qui est adopté dans l'EUROCODE8[10].

3.6 JUSTIFICATION DE LA SECURITE

Les différents RPA étaient basés sur les règles classiques de béton armé, définies par le critère des méthodes déterministes qui s'est avéré insuffisant du point de vue sécuritaire.

Le RPA 99 -Version 2003 n'a pas aussi pris en considération l'évolution des règles de béton armé qui sont passées des méthodes déterministes avec une utilisation des matériaux dans le domaine élastique vers des méthodes beaucoup plus récentes qui tiennent compte à la fois des lois de la probabilité pour la détermination des différentes actions et résistance ainsi qu'une utilisation des matériaux aux états limites ou le domaine de plastification est considéré.

On remarque que les combinaisons d'actions adoptées dans RPA 99 -Version 2003 pour la détermination des sollicitations et des déformations de calcul sont celles définies dans le RPA81 et ce malgré l'évolution des concepts vers des approches semi probabilistes dont l'Algérie s'en est dotée en 1993,dans le règlement de béton armé le CBA93 [6], et dont il faudrait mettre le RPA99- Version 2003 en conformité en tenant compte des différentes actions [6].

$$G_{\max} + G_{\min} + E + \psi_{11} Q_i + \sum \psi_{2i} Q_i$$

Alors que celles du RPA sont déterministes définies par :

$$G + Q + E$$

$$0,8G \pm E$$

Il est proposé, de prendre en considération l'évolution des règles de béton armé ,et mettre a jours les combinaisons de charges avec le règlement de béton armé CBA93 ,vers des méthodes qui tiennent compte à la fois des lois de la probabilité pour la détermination des différentes actions et résistance ainsi qu'une utilisation des matériaux aux états limites ou le domaine de plastification est considéré.

3.7 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, Certains points ont été notés pour cet aspect où on a constaté des défaillances de conceptions de structures qui ont conduit à un comportement inadéquat causant l'effondrement, comme ça a été le cas pour la grande mosquée de Beni Ilmène. **Figure 3.16.**

La disposition des joints sismiques peut coïncider avec les joints de dilatation ou de rupture. Ils doivent assurer l'indépendance complète des blocs qu'ils délimitent et empêcher leur entrechoquement. En cas de sol de fondation homogène, il n'est pas nécessaire de les poursuivre en fondation. [15]



Figure 3.13 : Entrechoquement de bâtiments pour cause de joint PS trop étroit au regard des déplacements réels.

Les Figures(3.14 , 3.15) illustrent le séisme de Boumerdès, 2003 , Entrechoquement de bâtiments voisins séparés par un joint de dilatation. Un joint de dilatation est insuffisamment dimensionné pour que les déformations de chaque structure puissent se faire sans interaction.



Figures(3.14 , 3.15) :Insuffisance de la largeur du joint entre les blocs de bâtiments (joint de dilatation traditionnel de 2 cm)

Les couvre-joints doivent être souples ou fixés sur un seul bloc de bâtiment, de façon à ne pas générer d'interaction entre les blocs.

Les joints doivent être plans, sans décrochement et débarrassés de tout matériau ou corps étranger. Ils sont disposés de façon à limiter des longueurs de bâtiments trop importantes ,à

séparer les blocs de bâtiments ou ouvrages accolés de géométrie et /ou de rigidités et de masses inégales, et à simplifier les formes en plan de bâtiments présentant des configurations complexes (forme en T, U, L, H,...) [21] [25].

Pour l'EUROCODE8 la largeur minimale pour les ouvrages à risque normal de 4 cm en zone Ib et 6 cm en zones II et III, Pour le RPS2000- Maroc-La largeur minimale entre joints ne doit pas être inférieure à 50 mm.) [9].

- Il est proposé, en zone sismique, que 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.
- Il est proposé aussi d'augmenter les dimensions calculées en fonction des déformations possibles des constructions, avec un minimum réglementaire de 6 cm pour les structures en zone de forte et moyenne sismicité (en zones II et III), et 4 cm en autres zones, de façon à permettre le déplacement des blocs voisins sans aucune interaction (chocs).

$$d_{\min} = 15\text{mm} + (\delta_1 + \delta_2) \text{ mm} \geq 60 \text{ mm}$$

δ_1 et δ_2 : déplacements maximaux des deux blocs.

Figure 3.16, Figure 3.17.



Figure 3.16 : Grande mosquée de Béni Ilmène ; entrechoquement de blocs pour cause de joint trop étroit au regard des déplacements réels. [13]



Figure 3.17 : Joint parasismique vertical entre deux bâtiments.

3.8 LA DUCTILITE- LE COEFFICIENTS DE COMPORTEMENT (R).

La ductilité est la capacité d'une structure à subir avant rupture des déformations plastiques (irréversibles), sans perte significative de résistance. Le coefficient de comportement global (R) traduit la capacité d'une structure à dissiper de l'énergie par déformation post-élastique sans rupture, ce qui permet de réduire les coûts des protections sismiques dans le cas de séisme majeur.

L'Eurocode8 divise la ductilité des structures en trois classes [21]; à savoir : DCL (Classe de Ductilité Limitée), DCM (Classe de Ductilité Moyenne) et DCH (Haute Classe de Ductilité). Ce code fait un lien direct entre la ductilité en courbure disponible durant le dimensionnement de chaque section et de la ductilité globale, en imposant des critères de ductilité locale[15].

Le RPS2000 version 2011 :divise la ductilité des structures en trois niveaux; à savoir : ductilité faible(ND1), ductilité moyenne (ND 2), grande ductilité (ND3) [9].

Cependant, le RPA99/v2003 ne donne pas de classe directe pour la ductilité, mais d'après les exigences imposées, considère une classe de ductilité élevée qui correspond à la troisième classe de ductilité DCH de l'Eurocode8.

D'après l'Eurocode8, la valeur supérieure du coefficient de comportement q pour tenir compte de la capacité de dissipation d'énergie doit être calculée comme suit pour chaque direction de calcul : $q = q_0 k_w \geq 1.5$ Avec :

q_0 : valeur de base du coefficient de comportement, dépendant du type de système structural et de la régularité en élévation, donné dans le tableau 12. Pour les bâtiments qui ne sont pas réguliers en élévation, il convient de réduire la valeur de q_0 de 20 %

KW : coefficient de mode de rupture prédominant dans les systèmes structuraux de murs.

Tableau 3.8: valeur de base q_0 du coefficient de comportement [11] [14]

Type de structures	DCM	DCH
Système à ossature, système à contreventement mixte, système de murs couplés	3,0 $\alpha u/\alpha 1$	4,5 $\alpha u/\alpha 1$
Système de murs non couplés	3,0	4,0 $\alpha u/\alpha 1$
Système à noyau	2,0	3,0
Système en pendule inversé	1,5	2,0

$\alpha 1$ et αu sont définis comme suit :

$\alpha 1$: est la valeur avec laquelle l'action sismique horizontale de calcul est multipliée pour atteindre

αu : est la valeur avec laquelle l'action sismique horizontale de calcul est multipliée pour obtenir la formation de rotules plastiques.

Tableau 3.9 : Facteur de comportement RPS2000 version 2011 [9]

Niveau de ductilité	ND1	ND2	ND3
Portiques en béton armé	2.0	3.5	5.0
Voiles et Portiques en béton armé	2.0	3.0	4.0
Voiles	1.4	2.1	2.8
Voiles couplés	1.8	2.5	3.5

Il est proposé de définir les niveaux de ductilité pour chaque type de structure avec les valeurs correspondant à chaque niveau, et les dispositions constructives adéquates dans les zones nodales pour obtenir le niveau visé et donner à la structure un comportement satisfaisant .

3.9 LA RIGIDITE DES NŒUDS ET LES RECOUVREMENTS EN ZONE NODALE.

La rigidité des nœuds est un paramètre très important dans le comportement des ossatures autostables permettant ainsi la formation des rotules plastiques qui seront la base du dimensionnement des structures en cas de séisme, la rupture de ces nœuds entraîne automatiquement l'instabilité sous les forces latérales.

D'après les règles parasismiques Algériennes RPA99 les dispositions adoptées surtout pour le remplacement des cadres par des U interposés dans les poteaux de rives et d'angle ne sont pas très satisfaisantes, et ne peuvent en aucun cas confiner le béton du nœud tandis que pour les nœuds des poteaux intermédiaires aucune spécificité n'est exigée, ce qui conduit aussi à la fissuration sous les compressions diagonales générées par la liaison poteaux-poutres , et mise en cause dans la fragilisation des nœuds.

Malgré que les règles parasismiques Algériennes accordent une importante capitale à la conception et à la réalisation des nœuds pour le contreventement par ossature poteaux/poutres, elles n'accordent pas une grande importance concernant les zones de

recouvrements où d'après le RPA99 elles devraient être faite en dehors des zones nodales si c'est possible sans aucune autre indications (Art : 7.4.2 Ferrailage) [5], ce qui pourrait poser le problème de la ductilité en terme de possibilité de plastification avec un risque de désintégration du béton et perte d'adhérence acier béton dans ces zones conduisant à des ruptures des nœuds rigides.

Le recouvrement en zone nodale favorise l'arrachement des armatures longitudinales par traction lors de la plastification de ces zones par désintégration du béton. Il faudrait donc soit éviter ce recouvrement dans ces zones tel que défini dans le RPA99 (7.4.2) [5], soit augmenter ces longueurs de recouvrement tel que mentionné dans d'autres règles comme (Eurocode8) où une majoration est appliquée , toutes les longueurs de recouvrement ou d'ancrage sont à majorer de 30% pour la part située hors zones critiques et de 50% pour la part située dans la zone critique . Figure.3.18.



Figure.3.18 : Arrachement des armatures recouvertes en zone nodale après plastification[12]

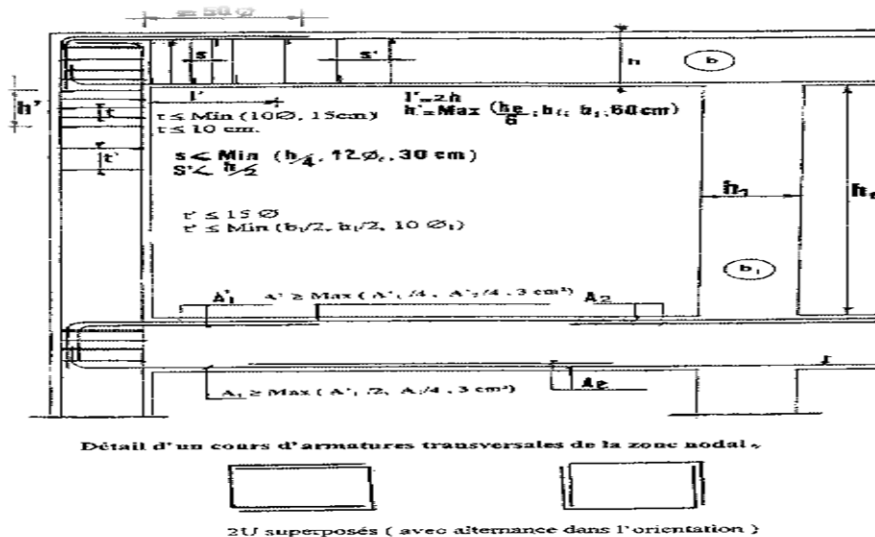


Fig 7.5 : Dispositions constructives des portiques

Figure.3.19 : D'après RPA99 V2003, les dispositions adoptées , le remplacement des cadres par des U interposés dans les poteaux de rives et d'angles [5] .



Figure 3.20 : Ruines dues à l'absence des cadres d'armature transversale au nœuds.. [12]

En résumé, Il est proposé d'utiliser obligatoirement des cadres au lieu des U interposés au niveau des nœuds, et éviter carrément les recouvrements en zone nodale sinon appliquer une majoration en terme de longueur, toutes les longueurs de recouvrement ou d'ancrage sont à majorer de 30% pour la part située hors zones critiques ,et de 50% pour la part située dans la zone critique .

3.10 APPLICATION DE RPA AUX BATIMENTS EXISTANTS.

Les règles Algériennes de construction parasismique sont obligatoires pour la construction des ouvrages neufs , mais pour les bâtiments existants ces règles ne sont pas applicables. Cependant l'Eurocode8 adopte le renforcement cadré par la partie 3 dédiée au renforcement de l'existant. [11] [26]

En effet, bon nombre de bâtiments ont été construits avant l'obligation d'application des règles de construction parasismique en vigueur, et le faible taux de renouvellement du bâti ne peut palier cette situation.

Dans ce cadre , l'analyse du risque sismique à l'échelle du bâtiment existant est une action préventive essentielle qui contribue à la définition d'actions de réduction de ce dernier.

Un renforcement parasismique peut être entrepris pour réduire le risque sismique à l'échelle de la construction en évitant son effondrement et donc en protégeant les vies humaines.

Cette action nécessite systématiquement un diagnostic préalable visant à une très bonne appréciation du comportement de l'ouvrage sous séisme en fonction de son environnement et de ses faiblesses.

Pour réhabiliter un ouvrage existant afin de le rendre parasismique, différentes stratégies de renforcement sont possibles et visent à [26] :

- limiter l'action sismique sur la construction (en optant, par exemple, pour une isolation sismique) ;
- augmenter la résistance mécanique de l'ouvrage (en augmentant par exemple, la capacité portante de la structure).

Aucune méthode réglementaire n'existe en Algérie pour renforcer de façon parasismique. Le renforcement parasismique peut consister en un renforcement de la structure et/ou du sol d'assise.

Les techniques de renforcement pour la réduction de la vulnérabilité pour les bâtiments ou projets existants sont diverses et choisies en fonction des caractéristiques de l'ouvrage et sur des critères technico-économiques : addition de nouveaux éléments de construction, amélioration de la résistance des éléments constructifs, confinement précontrainte...

Dans certains cas, la réduction de la vulnérabilité peut conduire également à changer l'usage, ou démolir et reconstruire.

Au-delà de ces principes généraux, les actions parasismique de réduction de la vulnérabilité peuvent exiger une obligation de changement ou réduction de la catégorie d'importance sans travaux. Cependant, le changement de catégorie d'importance reflète un changement du niveau de risque associé, la réglementation permet dans ce cas au maître d'ouvrage de fixer le niveau de renforcement qu'il souhaite atteindre sur sa structure, Il est recommandé, en particulier en cas de réduction de la catégorie d'importance du bâtiment, de faire réaliser un diagnostic de vulnérabilité par un bureau d'études techniques.

Il est donc fortement recommandé de faire réaliser un diagnostic sismique de la structure existante et d'éventuels renforcements . Et vérifier la sécurité parasismique lors de travaux de modification, de transformation ou de remise en état significatifs, lors d'un changement d'affectation ou lorsque l'observation fait présumer une sécurité insuffisante.

D'autre part, établir l'inventaire d'un parc immobilier vis-à-vis du risque sismique et de le trier selon un ordre de priorité.



Figure 3.21 : Bâtiments construits avant le code parasismique (poteaux faibles) [12]

3.11 L'ISOLATION PARASISMIQUE A LA BASE.

Les règles parasismiques algériennes RPA99 version 2003 décrivent les principes généraux de conception et de calcul requis pour l'étude des ouvrages résistants aux séismes. Ces règles sont applicables à toutes les constructions courantes. Par contre, elles ne donnent aucune indication sur le calcul des bâtiments sur appuis parasismiques. Pour cette raison on doit recourir à d'autres règlements mondiaux pour mener des calculs sur les structures isolées. Parmi les codes les plus connus dans le monde, les codes américains (UBC-97 et IBC-2000) (the Uniform Building Code) et l'eurocode8.

L'utilisation de cette technique est en progression rapide dans le monde ; en Chine, en Amérique, en Italie, en Turquie, en Grèce, en Russie, en Portugal, en Corée du sud, en Chili...etc.

En Algérie, Le CTC-Chlef a été le premier à introduire la technique d'isolation parasismique des structures à travers la construction du siège de son agence à Ain-Defla, située dans une zone à forte sismicité, et le projet de la grande mosquée à Alger. [31]

L'isolation parasismique à la base 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, plus flexibles, qui se déforment et pas le bâtiment, la déformation se concentre sur les isolateurs qui sont conçus pour la supporter sans dommages. Figure.3.22 [31] .



Figure 3.22 : Mise en place des isolateurs sur les massifs d'une structure. [32]

L'isolation est généralement associée à des dispositifs amortisseurs qui limitent l'amplitude des déplacements de la structure sur ses appuis, Figure.3.23.

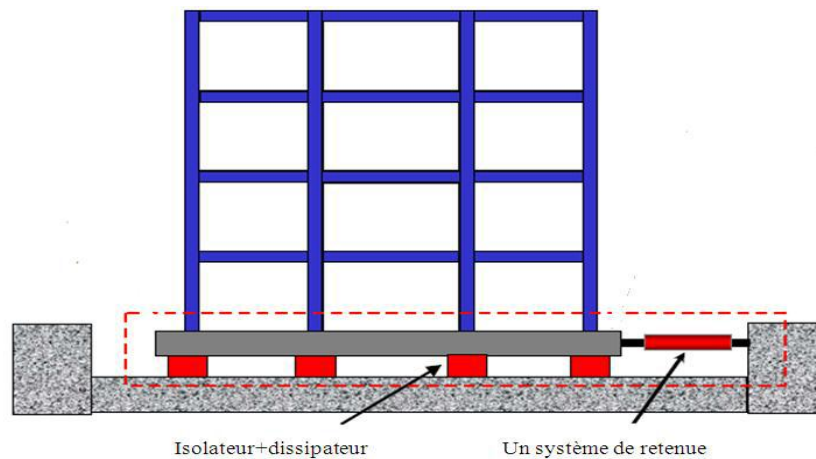


Figure 3.23: Localisations des isolateurs parasismiques pour les bâtiments [32]

Le système d'isolation à la base peut absorber une grande capacité d'énergie sismique transmise à la structure par le mouvement sismique horizontal. figure 3.24 [32]

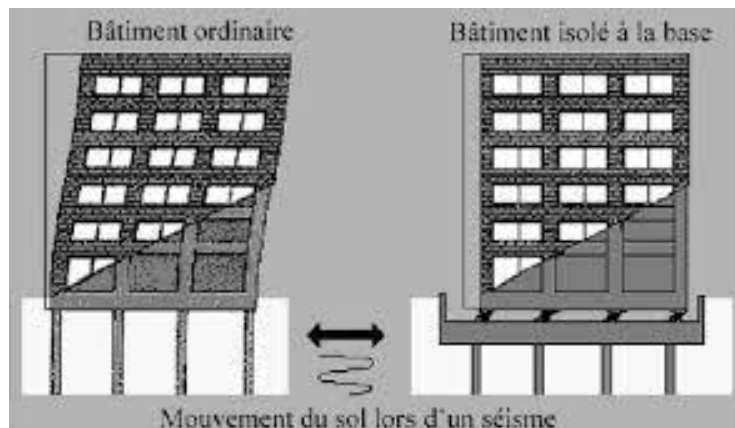


Figure.3.24 :Deux types de structure : une conventionnelle encastrée dans le sol, et une autre protégée contre les séismes par un système d'isolation à la base. [32]

Objectifs de l'isolation parasismique [31] :

Les objectifs principaux de la construction parasismique sont de :

- comprendre l'effet d'interaction entre les bâtiments et le sol ;
- prévoir les conséquences potentielles des tremblements de terre ;
- concevoir et construire des structures résistantes aux tremblements de terre, conformément aux normes de construction parasismique.

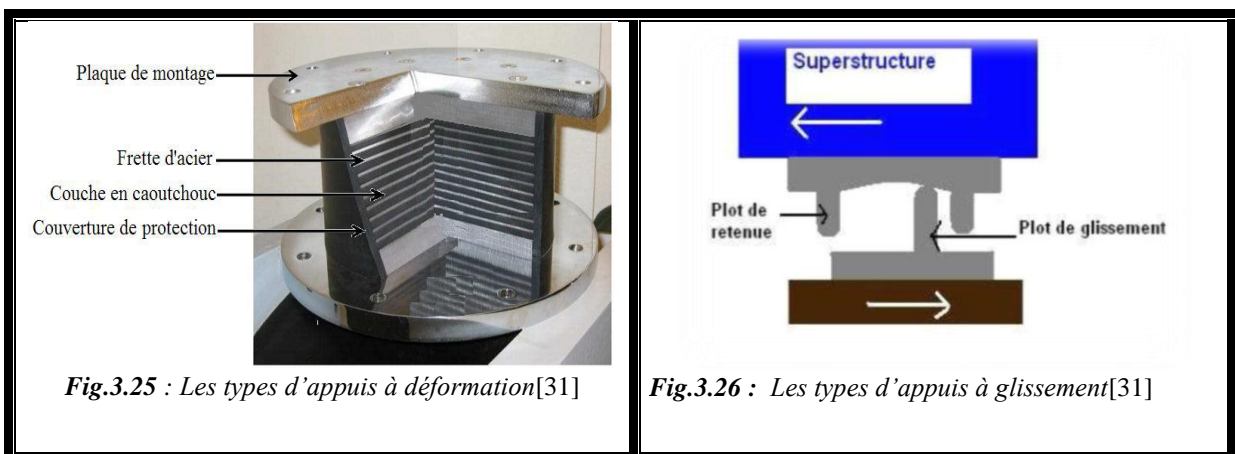
Avantages de l'isolation parasismique [24] :

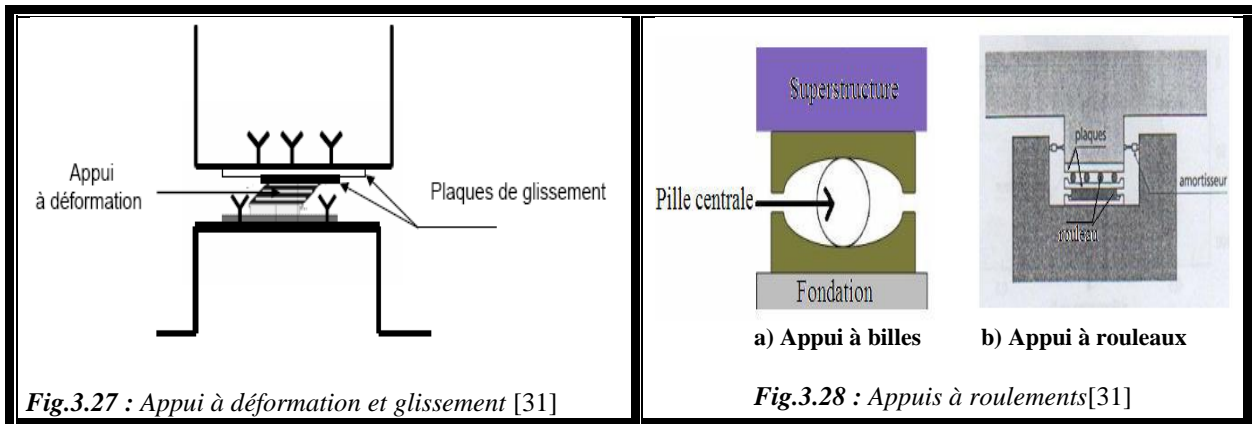
- Le niveau de protection pouvant être obtenu est très supérieur au niveau exigé par les règles parasismiques, les ouvrages restent normalement opérationnels, même après les séismes violents.
- Les dégâts aux éléments non structuraux et à l'équipement, qui représentent parfois un investissement considérable (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).

Les différents types d'appuis parasismiques [31] :

Plusieurs types d'appuis parasismiques existent. Certains ont déjà été utilisés, d'autres sont restés au stade d'études théoriques. Selon leur mode de fonctionnement, ils peuvent être classés en plusieurs catégories :

- Appuis à déformation ... Figure.3.25 ;
- Appuis à glissement... Figure.3.26;
- Appuis à déformation et glissement... Figure.3.27;
- Appuis à roulement... Figure.3.28.





Pour limiter l’action sismique sur les constructions , il est proposé que les règles parasismiques Algériennes adoptent la technique de l’isolation parasismique à la base, particulièrement pour les bâtiments stratégiques du Groupe1A qui doivent demeurer opérationnels suite d’un séisme majeur tel que les hôpitaux et les centres de gestion des catastrophes, ainsi les bâtiments à forte densité de population et les immeubles de grande hauteur. . Sachant toujours que le recours à la technique d’isolation parasismique est préférable lorsque cette dernière fournit des avantages technico-économiques face à d’autres techniques de protection.

CONCLUSION

Au terme de ce chapitre, et à travers la lecture des récentes règles parasismiques Algériennes RPA99 Version 2003, comparativement à d'autres réglementations, ainsi que l'analyse de certains séismes surtout celui de Boumerdes et de Beni Ilmenène, nous formulons certaines critiques concernant certaines parties qui à notre humble avis devraient être revues et faire l'objet d'une étude beaucoup plus approfondie, résumées en principaux points ci-dessous :

1 : Donner beaucoup plus de détail dans la classification du sol, en ajoutant d'autres classes de sites pour mieux reconnaître des zones liquéfiables ou instables ainsi que pour la prise en compte éventuelle de leurs propriétés dynamiques dans les calculs, surtout le site de sol de sable moyennement dense ou de gravier, et d'alluvions ou sol liquéfiable d'argiles sensibles ou autre sol non compris précédemment.

2 : Réviser des conditions de limitation de l'excentricité imposée par le RPA99/v2003 qui doivent être basées sur un rapport de rigidité à chaque niveau et pour chaque direction de calcul, ce qui est plus logique et réaliste.

- Encourager l'utilisation des plans carrés ou proches du carré qui conviennent très bien, et limiter le rapport longueur/largeur des bâtiments, de façon à rester inférieur ou égale 3.

- Adoucir et renforcer les angles rentrants du bâtiment par une forme plus fluide, une construction idéale présenterait la même rigidité dans toutes les directions, ou une variation progressive de la rigidité. Cette démarche relève de la partie architecturale, Il s'agit d'une correction partielle mais efficace, souvent employée.

3.1 : Réduire le coefficient de comportement des systèmes de contreventement poteaux poutres autostables avec maçonnerie insérée, et limiter leur utilisation surtout dans les sols de type 3 ou 4 où elles doivent être carrément interdites, et ne les tolérer qu'au site 1 ou 2 pour 3 ou 4 niveaux en zone I et zone II, en revenant à leurs interdictions en zone III quel que soit le nombre de leurs niveaux comme c'était le cas dans le RPA83, et les substituer par des structures mixtes ou les structures en maçonnerie chaînée ou armée, qui sont plus performantes et stables et qui ont un meilleur comportement sismique comme cela a été observé lors des différents séismes.

3.2.1 : Pour les structures en poteaux poutres autostables avec maçonnerie insérée , utiliser temporairement les périodes déduites des méthodes empiriques qui tiennent compte du type de remplissage par le biais du coefficient C_t ($T = C_t h_N^{3/4}$) comme référence, afin de corriger le facteur d'amplification dynamique , quand les éléments secondaires ne sont pas pris en compte dans le modèle alors que la rigidité induite par l'ossature-maçonnerie insérée est très importante.

3.2.2 : Introduire la répartition de la maçonnerie et les éléments non structuraux dans la notion de définition des structures régulières, ainsi que la mission de contrôle de la qualité des matériaux et de suivi d'exécution dans le calcul de facteur de qualité.

3.2.3 : Définir les structures autostables avec remplissage en maçonnerie rigide simplement par maçonnerie insérée dans les cadres poteaux poutres sans aucune autre indication prêtant à confusion et interprétation, ou autres détails qui ne sont d'aucune utilité.

4 : Éviter l'effet de poteau court dû à la présence d'allèges, Contreventer la façade ou le bâtiment par un ou plusieurs voiles en béton qui assurent la résistance aux charges horizontales , et opter pour des allèges ayant une rigidité nettement inférieure à celle des poteaux. On peut utiliser les techniques des façades légères, sinon découpler les allèges lourdes de l'ossature par des joints résilients.

5.1 : Pour les systèmes de contreventement mixte (portique-voile) , traiter de la dominance du système de contreventement en introduisant un minimum de rigidité concernant la proportion des voiles de contreventement pour la définition de ce cas de structures.

Et tenir compte des développements des méthodes de calcul basées sur l'analyse numérique ou les suppositions et hypothèses de la reprise des efforts sismiques ne doivent plus poser un problème au vue de la répartition des efforts et se limiter aux systèmes de structure contreventés par portique, par voile ou avec interaction sans tenir compte de la répartition de l'effort normal tel que mentionné par le RPA.

5.2 : Revoir le coefficients de comportement pour les structures mixtes portiques/voiles avec interaction, qui est de valeur $R=5$, il devrait y avoir un paramètre permettant de se situer dans ce type de combinaison de système d'interaction, ou il faut en premier dissocier

entre portique avec et sans maçonnerie insérée qui sont très différents de par leur comportement respectif et l'interaction voile portique, ensuite tenir compte d'un coefficient de comportement qui sera proportionnel à la distribution de l'effort tranchant dans chaque élément de contreventement, ce qui est adopté dans l'EUROCODE8.

6 : Mettre à jours les combinaisons de charges avec le règlement de béton armé CBA93 vers des méthodes qui tiennent compte à la fois des lois de la probabilité pour la détermination des différentes actions et résistance ainsi qu'une utilisation des matériaux aux états limites ou le domaine de plastification est considéré.

$$G_{\max} + G_{\min} + E + \psi_{11} Q_i + \sum \psi_{2i} Q_i$$

7 : Remplacer tout joint de dilatation par un joint parasismique en raison des impératifs de non entrechoquement , et augmenter les dimensions calculées en fonction des déformations possibles des constructions, avec un minimum réglementaire de 6 cm pour les structures en zone de forte et moyenne sismicité (zones II et III), et de 4 cm en autres zones, de façon à permettre le déplacement des blocs voisins sans aucune interaction (chocs) :

$$d_{\min} = 15\text{mm} + (\delta_1 + \delta_2) \text{ mm} \geq 60 \text{ mm}.$$

8 : Définir les niveaux de ductilité pour chaque type de structure avec les valeurs correspondant à chaque niveau, et les dispositions constructives adéquates dans les zones nodales pour obtenir le niveau visé et donner à la structure un comportement satisfaisant .

9 : Utiliser obligatoirement des cadres au lieu des U interposés au niveau des nœuds, et éviter carrément les recouvrements en zone nodale sinon appliquer une majoration en terme de longueur, toutes les longueurs de recouvrement ou d'ancrage sont à majorer de 30% pour la part située hors zones critiques ,et de 50% pour la part située dans la zone critique .

10 : Adopter l'application des Règles Algériennes parasismique sur les bâtiments existants, qui nécessitent un renforcement parasismique pour réduire le risque sismique en évitant son effondrement, par un diagnostic préalable du comportement de l'ouvrage sous séisme . Ce renforcement parasismique peut consister en un renforcement de la structure et/ou du sol d'assise. afin de limiter l'action sismique sur la construction ,et augmenter la résistance mécanique de l'ouvrage .

Dans certains cas, la réduction de la vulnérabilité se fait par un changement d'usage et réduction de la catégorie d'importance sans travaux.

Établir l'inventaire d'un parc immobilier vis-à-vis du risque sismique et de le trier selon un ordre de priorité.

11 : Les règles parasismiques Algériennes peuvent adopter la technique de l'isolation parasismique à la base pour limiter l'action sismique sur les constructions , particulièrement pour les bâtiments stratégiques du Groupe1A, ainsi les bâtiments à forte densité de population et les immeubles de grande hauteur.

Sachant toujours que le recours à la technique d'isolation parasismique est préférable lorsque cette dernière fournit des avantages technico-économiques face à d'autres techniques de protection.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

La réglementation parasismique qui est entrée en vigueur en 1983 et qui a été révisée en 1988, en 1999 et en 2003, reste toujours insuffisante en matière de conception et de réalisation d'ouvrages capables de résister aux effondrements au vu des constatations faites durant tous les séismes qui nous ont frappés et marqués.

Dans ce mémoire, et sur la base des enseignements tirés des séismes récents ainsi que l'étude comparative du code RPA99 version 2003 avec d'autres codes parasismiques, nous avons donné une contribution à l'amélioration de la réglementation existante qui consiste à corriger les défaillances observées par la proposition des recommandations théoriques et pratiques suivantes :

- Ajouter d'autres classes de sites pour une meilleure reconnaissance des zones liquéfiables ou instables.
- Encourager les formes carrées ou proches du carré, limiter le rapport longueur/largeur des bâtiments, qui doit être inférieur ou égal à 3 et enfin, adoucir et renforcer les angles rentrants par une forme plus fluide.
- Interdire les systèmes poteaux-poutres auto-stables avec maçonnerie insérée en zone III et dans les sols de type 3 ou 4 et les substituer par des structures mixtes.
- Revoir les coefficients de comportement pour les structures mixtes portiques/voiles avec interaction, qui sera proportionnel à la distribution de l'effort tranchant, et traiter de la dominance du système de contreventement en introduisant un minimum de rigidité à la proportion des voiles .
- Opter pour des allèges ayant une rigidité inférieure à celle des poteaux, sinon découpler les allèges lourdes de l'ossature par des joints résilients, pour éviter l'effet de poteau court.
- Mettre à jour les combinaisons de charges avec le règlement de béton armé CBA93, et recommander l'utilisation des matériaux aux états limites là où le domaine de plastification est considéré.
- Remplacer tout joint de dilatation par un joint parasismique et augmenter le minimum réglementaire pour les structures en zone de forte et moyenne sismicité (6 cm en zones II et III), et 4 cm en autres zones.
- Utiliser obligatoirement des cadres au lieu des U interposés au niveau des nœuds, et éviter carrément les recouvrements en zone nodale sinon appliquer une majoration en terme de longueur, de 30% pour la part située hors zones critiques, et de 50% pour la part située dans la zone critique .
- Appliquer des Règles Algériennes parasismique sur les bâtiments existants.
- Adopter la technique de l'isolation parasismique à la base, pour quelques ouvrages vitaux du Groupe 1A, ou les établissements recevant du public des deux premières catégories et les immeubles de grande hauteur.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Règles Parasismiques Algériennes (RPA81), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [2] Règles Parasismiques Algériennes (RPA81 version 1983), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [3] Règles Parasismiques Algériennes (RPA 88), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [4] Règles Parasismiques Algériennes (RPA99), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [5] Règles Parasismiques Algériennes (RPA99/version 2003), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [6] Code de Béton Algérien (CBA-93), Document technique réglementaire , Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [7] Règles Techniques de Conception et de Calcul des Ouvrages et Constructions en Béton Armé suivant la Méthode des États Limites (BAEL 91), 1992, Edition Eyrolles , Paris, France.
- [8] Règles de Construction Parasismiques Françaises, PS92 applicables aux bâtiments, 1995, Editions de Eyrolles, Paris, France.
- [9] Règlement de Construction Parasismique (R.P.S 2000), Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement. Royaume du Maroc.
- [10] Eurocode 8 XP ENV 1998-1-3, Conception et dimensionnement des structures pour la résistance aux séismes et document d'application nationale, Normalisation française , Association Française de Normalisation (AFNOR), 2003, Saint-Denis La Plaine, France.
- [11] Eurocode 8, 1998-1-3, Calcul des structures pour leur résistance aux séismes. Partie 1: Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments, 2003, Comité Européen de normalisation, Brussels.
- [12] BELAZOUGUI Mohammed, Directeur du (CGS), Fichier Journées d'étude de Génie Civil, Le Séisme de Boumerdes du 2003 (Causes des dégâts et pathologie constatée), Université de Msila les 24 et 25 Nov 2015.
- [13] BELAZOUGUI Mohammed, Directeur du (CGS), Fichier Journées d'étude de Génie Civil, Pathologie liée au séisme cas du séisme de Beni Ilmène, M'sila du 14 Mai 2010, Université de Msila les 24 et 25 Nov 2015.
- [14] KASSOUL Amar, Yousfi Mahfoud, BOUKORSI Elarbi et ELKHEIRI Nouredine, (2013), Comparaison des normes euro code 8 (EC8) et les règles parasismiques algériennes rpa99/v2003, Laboratoire de Structures, Géotechnique et Risques (LSGR), Université Hassiba Benbouali de Chlef, Algérie.

- [15] DJAFER HENNI Imane, DENINE Sidali, KHELIFA KERFAH Ilyas, KASSOUL Amar, Analyse de la vulnérabilité d'un bâtiment administratif situé dans une zone de moyenne sismicité en Algérie, Laboratoire de Structures, Géotechnique et Risques (LSGR), Université Hassiba Benbouali de Chlef ,Algérie.
- [16] BOUTERAA Zohra, Évaluation De La Vulnérabilité Sismique Des Ponts De La Wilaya De Chlef, Mémoire de Magister, Faculté de Sciences et Sciences de l'Ingénieur, Université Hassiba Benbouali de Chlef ,Algérie.
- [17] ABACHA Issam, 2015,Étude de la sismicité de la région Nord-est de l'Algérie, Thèse De Doctorat , Université Ferhat Abbas-Sétif ,Algérie.
- [18] ABACHA Issam, 2009, Surveillance sismique de la région de Constantine par réseau sismologique et GPS. Mémoire de Magister, Université de Sétif, Algérie.
- [19] BALANDIER Patricia, Construction Parasismique En Béton Arme, DDE de la Martinique – SECQUIP.
- [20] ABDESSELAM Halima, 2013, Effet du confinement latéral sur la résistance et la ductilité des structures en béton arme dimensionnées selon le Règlement Parasismique Algérien Rpa99/V2003 , Mémoire de magister , Université Hassiba Benbouali de Chlef ,Algérie.
- [21] KASSOUL Amar, 2015, Vulnérabilité et Réhabilitation des Structures, Chapitre II : Pathologie des bâtiments endommagés par les séismes, Faculté de Génie Civil et d'Architecture, Géotechnique, Département de Génie Civil ,Université Hassiba Benbouali de Chlef, Algérie.
- [22] TALEB Rafik,(2017), Règles Parasismiques Algériennes RPA 99 - Version 2003 pour les Structures de Bâtiments en Béton Armé : Interprétations et Propositions, Laboratoire de Génie Civil et Géo-matériaux, Département de Génie Civil, Blida, Algérie.
- [23] BISCH Philippe,(2017), Eurocode 8 : retour d'expérience et perspectives, AFPS Montreuil.
- [24] BALANDIER Patricia, Le séisme et les bâtiments, Introduction à la construction parasismique, VOLUME 3,DDE Martinique – SECQUIP –,France.
- [25] BALANDIER Patricia, 2001,Cours de construction parasismique – volume 2, conception Parasismique Des Batiments (Structures),DDE Martinique – SECQUIP –,France.
- [26] Normalisation des Infrastructures et équipements culturels, 2008,Ministère de la culture, Direction des études prospectives de la documentation et de l'Informatique ,Algérie.
- [27] LAYADI Ismail, Ali MESSABHIA, Jean-Patrick PLASSIARD, 2016,Comportement mécanique des structures en béton armé avec remplissage en maçonnerie, 34èmes Rencontres de l'AUGC, Université de Liège, Belgique.
- [28] Milan ZACEK, Cahier 1, 2009, conception parasismiques des bâtiments, Laboratoires les grands ateliers Villefontaine ,France.

- [29] A.LOUZAI, Comportement sismique des structures en portiques en béton armé avec remplissage en maçonnerie, Mémoire de Magister, Faculté du Génie de la Construction, Département de Génie Civil Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie.
- [30] BELAID Hania ,Réduction du risque sismique par l'amélioration de la ductilité des structures en portiques auto-stables, Mémoire de Magister, Faculté du Génie, Département de Génie Civil ,Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou,, Algérie.
- [31] MEGHOUCHE Djedjiga , Effet des conditions de contact sur la réponse dynamique des structures , Mémoire de Magister, Faculté des Sciences de l'Ingénieur , Département de Génie Civil ,Université M'hamed Bougara, Boumerdes , Algérie.
- [32] BENAHMED Nouria, LASRI Soumia , 2016, Effet des Isolateurs de base sur la réponse dynamique d'un bâtiment, Mémoire de master, Département de Génie Civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, Algérie.
- [33] Centre De Recherche En Astronomie Astrophysique Et Géophysique(CRAAG) ,Bouzareah Alger Algérie , Disponible sur (<http://www.craag.dz>), (consulté le 10/03/2018)
- [34] Le règlement parasismique RPS2000-Maroc en 16 points ,Maroc , Disponible sur (<http://www.structureparasismic.com/PdvRps2000.html>), (consulté le 03/03/2018)