



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de Technologie

Département de GENIE CIVIL

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Structure

MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER

THEME

Réflexions sur le code RPA 2003

Dirigé par :

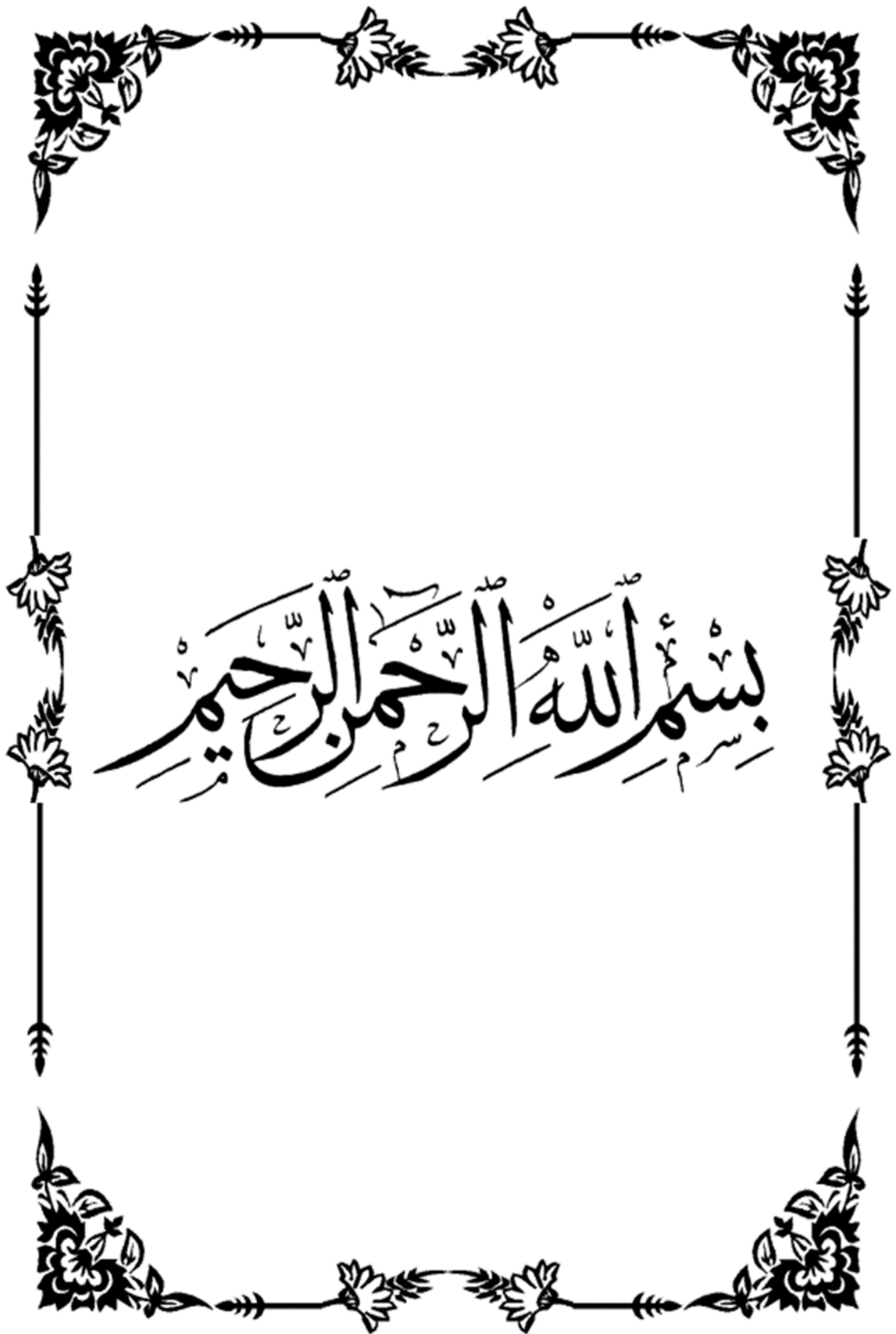
Dr. Boulaouad Abderachid

Présenté par :

CHALABI NOURA

AZZOUZ CHAIMA

Promotion : 2022 / 2023



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DÉDICACES

Remerciements

Je remercie d'abord le bon DIEU le tout puissant qui m'a guidé et ma donnée 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.

Et à tous les enseignants de 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.

DÉDICACES

Je dédie le présent travail

A l'âme de mes très chers parents, mes sœurs et mes frères

A mon mari ainsi qu'à mes enfants

CHALABI NOURA

إهداء

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى أما بعد:

الحمد لله الذي وفقنا لهذا العمل المتواضع واهدي هذا التخرج إلى أعز الناس إلى قلبي إلى والدتي العزيزة ووالدي العزيز اللذان كانا عوناً وسنداً لي، وكان دعائهما المبارك حفظهما الله

إلى كل الذين تقاسموا معي عباً الحياة العائلة الكريمة من إخوتي (نوردين -ناصر - علي- رضا -بلال)وأخواتي (فتيحة -حورية -نادية- لعمرية) حفظهم الله

إلى الأستاذ المؤطر الذي أعانني ووجهني في انجاز المذكرة ولم يبخل علي بكل معلومة
الدكتور بولعواد عبد الرشيد

إلى كافة أساتذة قسم الهندسة المدنية خاصة و كلية التكنولوجيا عامة.

إلى جميع الأساتذة من الابتدائي إلى الجامعة الذين بذلوا كل مجهوداتهم لأصلا إلى هذا النجاح.

وإلى رفيقات المشوار الاتي قاسمتني لحظاته(شلابي نورة- أستاذة دليلة و الأصدقاء كل واحد باسمهم)رعاهم الله ووفقهم .

و إلى كل من يعرفني ووقف معي وساهم في هذا النجاح من قريب او من بعيد.

طالبة عزوز شيماء

Résumé

Depuis son entrée en vigueur en 1981, la réglementation parasismique Algérienne est sujette à des révisions et actualisation (1983, 1988, 1999 et 2003) dans le but de répondre aux nouvelles exigences. Cependant, ces révisions restent encore insuffisantes au vu des constatations faites durant tous les séismes qui ont frappé et marqué le pays.

Cette réalité doit priser en compte par la révision et l'actualisation de cette réglementation parasismique en vue de son amélioration afin 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.

Dans cette perspective, les remarques et recommandations que nous présentons ici pourraient être bénéfiques.

ملخص

منذ دخولها حيز التنفيذ في عام 1981، خضعت الأنظمة الزلزالية الجزائرية للمراجعة والتحديث (1983 و 1988 و 1999 و 2003) من أجل تلبية المتطلبات الجديدة. ومع ذلك، لا تزال هذه المراجعات غير كافية في ضوء النتائج التي تم التوصل إليها خلال جميع الزلازل التي ضربت البلاد. يجب أخذ هذا الواقع بعين الاعتبار من خلال مراجعة وتحديث هذا التنظيم الزلزالي بهدف تحسينه من أجل التطور في البناء الزلزالي، الذي يظل الوسيلة الوحيدة لمنع الكوارث الناجمة عن الزلازل كونها ظواهر لا يمكن التنبؤ بها تماما. ومن هذا المنظور، يمكن أن تكون الملاحظات والتوصيات التي نقدمها هنا مفيدة.

Summary

Since its entry into effect in 1981, Algerian seismic regulations have been subjected to revision and updating (1983, 1988, 1999 and 2003) in order to catch up the new requirements. However, these revisions are still insufficient compared to the results found during all the earthquakes that have struck the country. This reality must be taken into account by revising and updating this seismic regulation to improve it in order to evolve in seismic constructions, which remains the only way to prevent disasters due to earthquakes, which are completely unpredictable phenomena. From this perspective, the remarks and recommendations we present here could be beneficial.

Table des matières

Dédicace

ملخص/Résumés/ Abstract

Table des matières

Liste des figure

Liste des tableaux

Introduction Générale1

Chapitre I : Séismes

I.1. Introduction2

I.2. L'origine du phénomène sismique2

I.2.1. Tectonique des plaques2

I.2.2. La structure interne de la Terre3

I.2.3. Foyer et épiceintre5

I.3. Les faille5

I.3.1. Type des failles6

I.3.1.1. Faille normal6

I.3.1.2. Faille inverse6

I.3.1.3. Faille décrochant6

I.4 Classification des séismes7

I.4.1. Les séismes superficiels7

I.4.2. Les séismes intermédiaires7

I.4.3. Les séismes profonds7

I.5. Propagation des ondes sismiques7

I.5.1. Les ondes de volumes	8
I.5.1.1. Ondes primaires ou ondes longitudinales (P)	8
I.5.1.2. Onde secondaire ou ondes de cisaillements (S)	8
I.5.2. Les ondes de surface	9
I.5.2.1. Ondes de Rayleigh (R)	9
I.5.2.2. Ondes de Love (L).....	9
I.6. Caractéristiques d'un séisme	10
I.6.1. La magnitude (M)	10
I.6.2. L'intensité	10
I.7. La localisation des séismes	12
I.7.1. Les séismes inter-plaquent	12
I.7.2. Les séismes intra-plaque	12
I.7.3. Les séismes liés à l'activité volcanique	12
I.7.4. Les séismes liés à l'activité humaine	12
I.8. Historique de la sismicité en Algérie	13

Chapitre II : Prévention sismique

II.1.1. Introduction	15
II.1.2. Conception parasismique.....	16
II.1.2.1. Diviser les formes complexes en formes simples.....	16
II.1.2.2. Contreventements.....	17
II.1.2.2.1. Contreventement décalé.....	17
II.1.2.2.2. Sauts de rigidité et de résistance.....	18
II.1.2.2.3. Distance entre les éléments de contreventement	18
II.1.2.3. Diaphragmes.....	19

II.1.2.4. Régularité en élévation.....	20
II.1.2.5. Régularité en plan.....	20
II.1.2.6. Rez-de-chaussée flexibles.....	22
II.1.2.7. Étages flexibles.....	22
II.1.2.8. Joints parasismiques.....	23
II.1.3. Réglementation sismique.....	25
II.1.3.1 Introduction.....	25
II.1.3.2. Nécessite des règlements parasismiques.....	26
II.1.3.3. La Règlementation parasismique dans le monde	28
II.1.3.4. Les Règles parasismiques Algériennes RPA [1-5].....	29
II.1.3.4.1. Objectifs de RPA 99 Version 2003	30
II.1.3.4.2. Domaine d'application	30
II.1.3.4.3. Conditions d'application	31
II.1.3.5. Les Règles parasismiques Euro code 8 [5]	32
II.1.3.5.1. Objectifs de L'Euro code 8	33
II.1.3.6. Code American Uniform Building code (UBC97) [6]	33
II.1.3.6.1. Histoire D'Uniform Building code (UBC).....	33
II.1.3.7. Conclusion	34
II.2.1. Introduction.....	35
II.2.2. Comparaison de L'RPA99/V2003et L'EC8 et UBC97	35
II.2.3. Comparaison des zones sismiques	35
II.2.4. Classification des Sols Selon RPA99/V2003	38
II.2.5. Classification des Sols Selon EuroCode8	39
II.2.6. Classification des Sols Selon L'UBC 97	40

II.2.7. Comparaison de la classification des sites entre le RPA99 /v2003, l'EC8 ET UBC97	42
II.2.8. Comparaison des spectres de réponse	42
II.2.8.1. Spectre de réponse de calcul du RPA 99 Version 2003	43
II.2.8.2. Spectre de réponse de L'Euro code 8	45
II.2.8.2.1. Spectre de réponse élastique horizontal (EN 1998-1 Art. 3.2.2)..	46
II.2.8.2.2. Spectre de réponse élastique vertical	47
II.2.8.2.3. Spectre de calcul pour l'analyse élastique	48
II.2.8.3. Spectre de réponse de L'UBC 97	49
II.2.9. Estimation empirique de la période fondamentale	52
II.2.9.1 Période fondamentale selon le RPA 99/v 2003	52
II.2.9.2. Période fondamentale selon l'Euro code 8	53
II.2.9.3 .Période fondamentale selon le code Américain UBC 97	54
II.2.10. Classification des Ouvrages Selon Leur Importance.....	57
II.2.10.1. Classification des Ouvrages Selon RPA 99 Version 2003	58
II.2.10.2. Classification des Ouvrages Selon L'Eurocod8	58
II.2.10.3. Classification des ouvrages selon L'UBC 97	59
II.2.11. COMMENTAIRES	60

Chapitre III : Code Algérien RPA

III.1. Introduction	61
III.2. Historique de code Algérien RPA Evolution de règles parasismique Algérienne [23].....	62
III.3. Les Principaux Points de Réflexion	63
III.3.1. Critique de classification	63

III.3.1.1.Classification des Sites	63
III.3.2.Justification de Sécurité	67
III.3.2.1.La Ductilité	67
III.3.2.2.La Composante verticale de l'action sismique	68
III.3.3.La Méthode de Calcul	71
III.3.4.Le spectre de réponse	72
III.3.4.1.Définition	72

Chapitre IV : Critique et recommandations

IV.1.Introduction	76
IV.2.Critique et recommandations	76
IV.2.1.Critères de Classification des sites (Chapitre III des RPA)	76
IV.2.1.1. Classification des zones sismiques	76
IV.2.1.2. Classification des sites	76
IV.2.2.Les Règles de calcul (Chapitre IV des RPA).....	77
IV.2.3. Justification de la sécurité (Chapitre V des RPA).....	78
Conclusion Générale	80
Références bibliographiques	81

Liste des figures

Figure I.1 : La carte du monde montrant les principales plaques tectoniques [7].....	3
Figure I.2 : La structure interne de la terre [3].....	4
Figure I.3 : localisation de séisme [4].....	5
Figure I.4 : Les types des failles sismiques [2].....	6
Figure I.5 : Mouvement des particules au passage d'une onde P [4].....	8
Figure I.6 : Mouvement des particules au passage d'une onde S [4].....	9
Figure I.7 : Les ondes sismiques Love et Rayleigh [4].....	10
Figure I.8 : la décroissance de l'intensité sismique [12].....	11
FigureII.1 : Des formes complexes aux formes simples.....	17
Figure II.2 : Le contreventement décalé [8].....	18
Figure II.3 : Sauts de rigidité et de résistance [8].....	18
Figure II.4 : Distance entre les contreventements [10].....	19
Figure II.5 : Distribution de l'effort horizontal du diaphragme au contreventement vertical [11].....	20
Figure II.6 : Retrait et porte-à-faux. Exemples de règles de limitations des irrégularités [12].....	20
Figure II.7 : Régularité en plan [12].....	21
Figure II.8 : Destruction du RDC [8].....	22
Figure II.9 : Rez-de-chaussée flexibles [8].....	22
Figure II.10: Etages flexibles [13].....	23
Figure II.11 : Un joint parasismique entre deux bâtiments [9].....	24
Figure II.12 : Les cartes des zones sismiques de L'Algérie et de la France....	36

Figure II.13 : Carte des zones sismique Etats –Unis d’Amérique(UBC97).....	37
Figure II.14 : Graphique indicatif de la méthode de détermination du spectre de réponse.....	43
Figure II .15 : Spectres de réponse élastique normalisée pour les4types de sites.....	45
Figure II.16 : Forme du spectre de réponse élastique donné par l’Euro code ...	47
Figure II.17 : spectre de calcul de l’UBC 97.....	51
Figure III.1 : Le coefficient d’amplification dynamique D [20].....	65
Figure III.2 : Organigramme pour la prise en compte de la composante vertical de l’action sismique.....	71
Figure III.3 : spectre de réponse spectre de RPA 99/v2003	74
Figure III.4 : spectre de calcul de l’UBC 97.....	74
Figure III.5 : Forme du spectre de réponse élastique donné par l’Euro code8.....	75

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Historique de la sismicité en Algérie [15].....	13
Tableau II.1 : Comparaison des zones sismique pour l' RPA99/v2003, l'EC8et UBC97.....	37
Tableau II.2 : Classification des sites selon RPA99/v2003. [12].....	39
Tableau II.3 : Classification des sites selon l'Eurocode8. [20].....	40
Tableau II.4 : Classification des sites UBC1997 [21].....	41
Tableau II.5 : Comparaison de la classification des sites Entre RPA99/v2003, l'EC8 et UBC97.....	42
Tableau II.6 : Type site en fonction des périodes de transition. [12].....	44
Tableau II.7 : Coefficient d'accélération de zone A. [12].....	45
Tableau II.8 : Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type	46
Tableau II.9 : Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type2.....	46
Tableau II.10 : Valeurs recommandées des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique verticale.....	47
Tableau II.11 : Valeurs de coefficient sismique Ca selon l'UBC 1997.....	50
Tableau II.12 : Valeurs de coefficient sismique CV selon l'UBC 1997.....	50
Tableau II.13 : Comparaison des spectres de calcul du RPA99/v2003 l'EC8 et UBC 97.....	52
Tableau II.14 : Comparaison des périodes.....	56
Tableau II .15 : Classification des ouvrages selon le RPA 99/V2003[12].....	58

TableauII.16 : Classification des Ouvrages Selon l'EC8 [20].....	58
Tableau II.17 : classification des ouvrages selon L'UBC 97.....	59
Tableau III.1 : Valeurs de $\epsilon(\%)$ [20].....	65
Tableau III .2 : Valeur de période caractéristique [20].....	65
Tableau III.3 : Comparaison de la classification des sites selon l'EC8 et RPA99/v2003 [12] [20].....	66
Tableau III.4: valeur de base q_0 du coefficient de comportement [20] [16].....	68
Tableau III.5 : Facteur de comportement RPS2000 version 2011 [24].....	68
Tableau III.6 : Valeurs de l'accélération de calcul du sol dans la direction verticale.....	70
Le tableau III.7 :.....	73

Introduction Générale

Introduction Générale

Les séismes font partie des catastrophes naturelles les plus dévastatrices.

Ils sont responsables de la destruction de villes entières et la cause de désastre économique pour les pays touchés.

L'Algérie une de ces payes qui a connu au cours du siècle dernier plusieurs séismes destructeurs causants d'énormes pertes humaines et matérielles. Cela pose un ultime défi aux spécialistes de génie parasismique et aux ingénieurs en génie civil de concevoir des bâtiments capable de résister aux forces sismiques.

l'expérience algérienne dans le domaine de la réduction du risque sismique a commencé après le tremblement de terre majeur d'El-Asnam du 10 Octobre 1980 qui a entraîné la mort de plus de 3000 personnes ; suite auquel la première version des règles parasismiques algériennes, RPA 81 qui est entrée en vigueur en 1981 et qui ne cesse d'être révisée et actualisée (1981, 1983, 1988, 1999 et 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.

Cette réalité doit être prise en compte par la révision et l'actualisation de cette réglementation parasismique en vue de son amélioration afin 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.

Dans cette perspective, nous essayons de donner ici une contribution à l'amélioration des règles parasismiques algériennes (RPA) par une critique constructive focalisée sur certains points essentiels choisis sur la base de leçons tirées des derniers événements sismiques (Boumerdes en 2003) et du progrès de la recherche scientifique dans le domaine génie parasismique

Chapitre I:

Séismes

1. I.1. Introduction:

Le mot séisme vient de grec seismos qui signifie « secousse ». C'est une série de secousses du sol, plus ou moins violentes, soudaines, imprévisibles et localisées. On parle également de tremblement de terre. Les séismes mettent en évidence l'activité interne de la planète Terre. 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 dans toutes les directions et atteignent la surface du sol.

I.2. L'origine du phénomène sismique:

Les plaques continentales et océaniques qui constituent la croûte terrestre se déplacent à la surface de la planète sous l'effet des courants thermiques qui animent le magma visqueux situé en profondeur.

Ce phénomène est étudié sous le nom de « Tectonique des plaques ».

I.2.1. Tectonique des plaques:

La tectonique des plaques est une théorie initiée dès la première moitié du 20ème siècle par Alfred Wegener et développée et structurée au début des années 70. Elle permet d'expliquer la formation et l'évolution de la croûte terrestre au cours des temps géologiques. La croûte terrestre et le manteau supérieur rigide constituent la lithosphère terrestre. Celle-ci est découpée en plaques, appelées plaques tectoniques, qui se déplacent lentement sur le manteau supérieur plastique appelé asthénosphère. Ce manteau est en fusion partielle et permet la dérive des plaques qui reposent sur lui. Les plaques

Chapitre I: Séismes

peuvent converger et entrer en collision, diverger et s'éloigner l'une de l'autre ou glisser l'une contre l'autre le long d'une faille.

C'est à la frontière des plaques que l'activité sismique est la plus intense.

Les tremblements de terre sont provoqués par une rupture brutale des roches le long d'un plan de faille où se concentrent les forces tectoniques. Cette rupture génère des ondes sismiques dont le passage à travers le sol provoque des vibrations qui peuvent être ressenties à la surface [2].

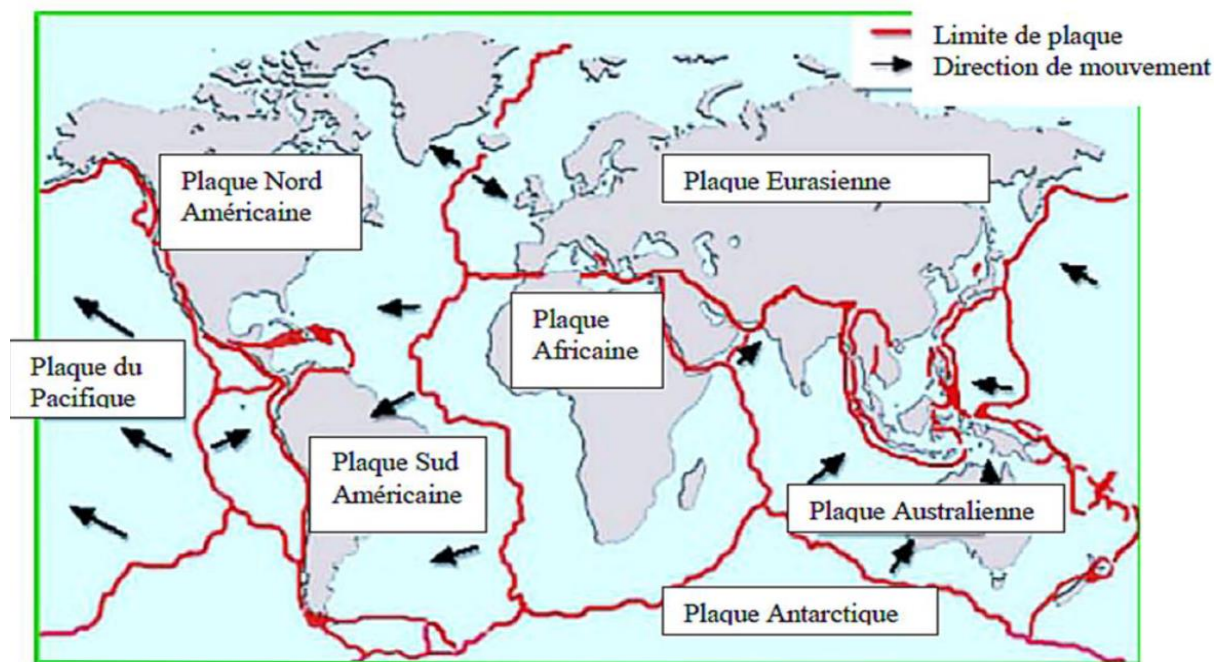


Figure I.1 : La carte du monde montrant les principales plaques tectoniques [7].

I.2.2. La structure interne de la Terre:

On distingue trois parties principales, la croûte, d'épaisseur allant de 10 à 70 kilomètres, puis le manteau, qui s'étend de la base de la croûte jusqu'à une profondeur de 2900 kilomètres et enfin le noyau.

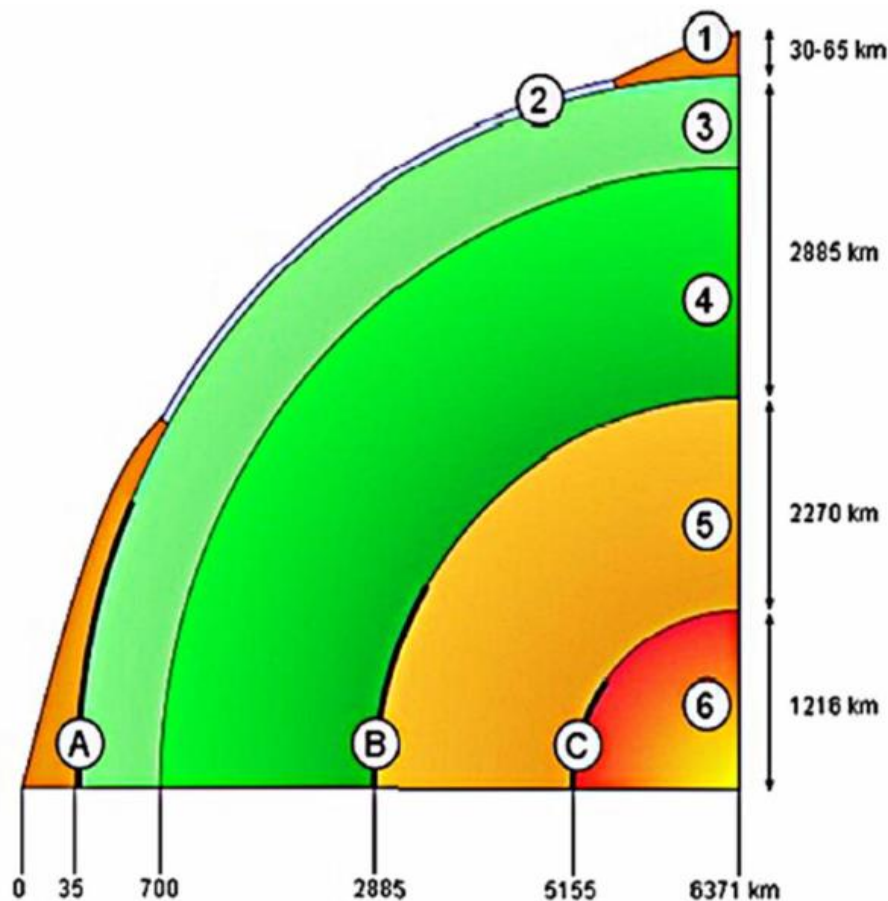
- La croûte (ou écorce): elle est à l'état solide. On distingue deux types de croûte, océanique et continentale.

La croûte océanique : se situe essentiellement sous les océans. Son épaisseur est de 5 km à 10 km en moyenne. Elle est constituée de roches basaltiques.

Chapitre I: Séismes

La croûte continentale : se trouve au niveau des continents. Son épaisseur est de 30 à 35 km au niveau des plaines continentales et de 50 à 65 km sous les chaînes des montagnes. Moins dense que la croûte océanique, elle est formée de roches granitiques essentiellement.

- Le manteau : constitué par un manteau supérieur rigide jusqu'à 70 à 150 km, puis plastique jusqu'à 700 km de profondeur, et un manteau inférieur, solide et situé entre 700 et 2 900 km de profondeur.
- Le noyau : constitue la partie centrale de la Terre. Divisé en un noyau interne solide et un noyau externe liquide. Le centre de la Terre se trouve à 6370 km de profondeur [3].



Structure de la Terre
1. croûte continentale 2. croûte océanique 3. manteau supérieur
4. manteau inférieur 5. noyau externe 6. noyau interne
A: Discontinuité de Mohorovicic B: Discontinuité de Gutenberg C: Discontinuité de Lehmann

Figure I.2 : La structure interne de la terre [3].

I.2.3. Foyer et épicentre:

Les ondes sismiques semblent provenir d'une région déterminée appelée foyer ou hypocentre du séisme. Le point de la surface du sol situé à la verticale du foyer est son épicentre. La distance entre ce point et l'endroit d'enregistrement de l'accélérogramme est appelée distance épacentrale [4].

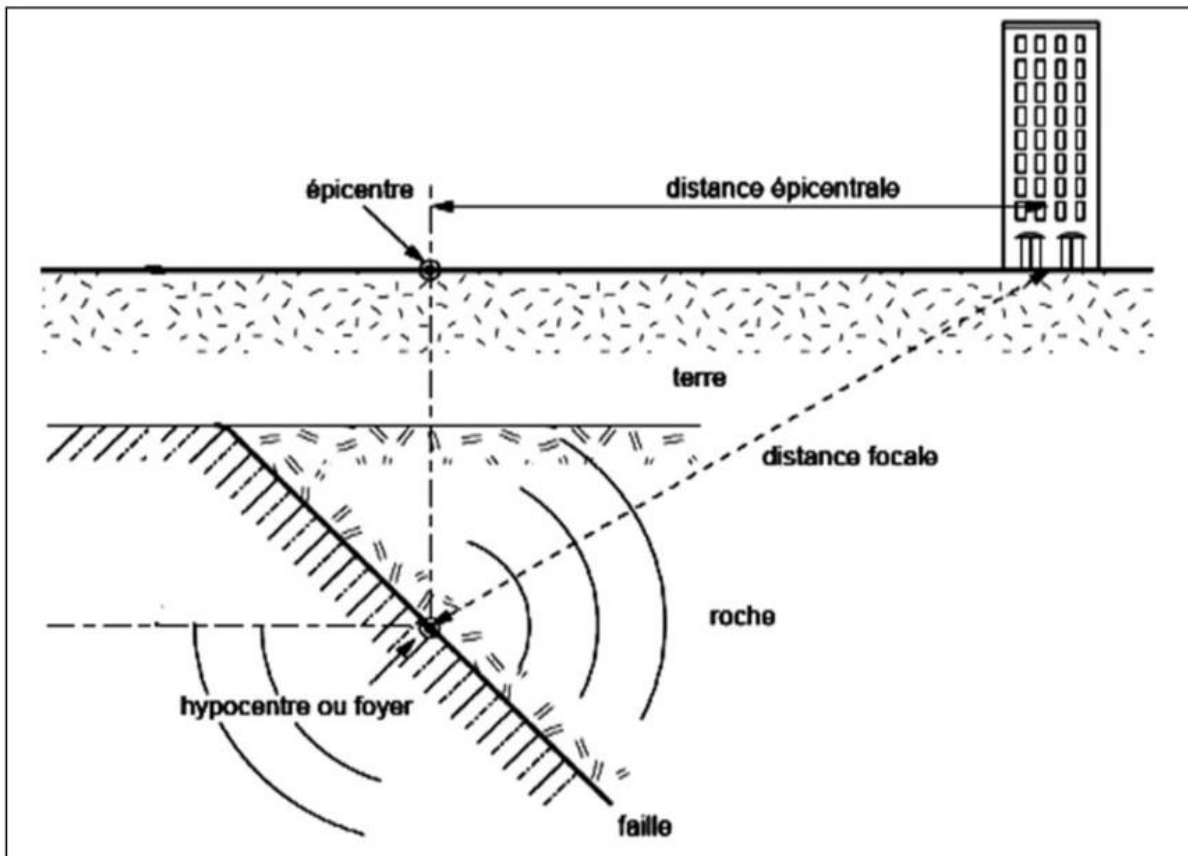


Figure I.3 : localisation de séisme [4].

I.3. Les failles:

Le mouvement relatif continu des plaques tectoniques qui existe en profondeur dans la partie ductile du manteau est généralement accommodé par des ruptures successives dans la partie fragile superficielle de l'écorce terrestre. Les surfaces de ruptures sont nommées des failles tectoniques.

Une faille est donc une cassure avec déplacement de masse dans les matériaux rigides de l'écorce terrestre, en réaction à une contrainte. Les forces qui génèrent

Chapitre I: Séismes

cette contrainte peuvent agir en compression, en extension ou en couple, définissant autant de types des failles [2].

I.3.1. Type des failles:

L'analyse des ondes sismiques permet de comprendre quel type de faille est à l'origine du séisme, de trouver l'orientation de cette faille, ainsi que la direction du Glissement sur cette faille.

I.3.1.1. Faille normal:

Une faille normale résulte de mouvements d'extension. La déformation entraîne un affaissement des roches initiales.

I.3.1.2. Faille inverse :

Une faille inverse apparaît lors de mouvements de compression.

La déformation entraîne un raccourcissement des terrains initiaux.

I.3.1.3. Faille décrochant :

Une faille en décrochement provoque un déplacement des blocs uniquement dans le sens horizontal [2].

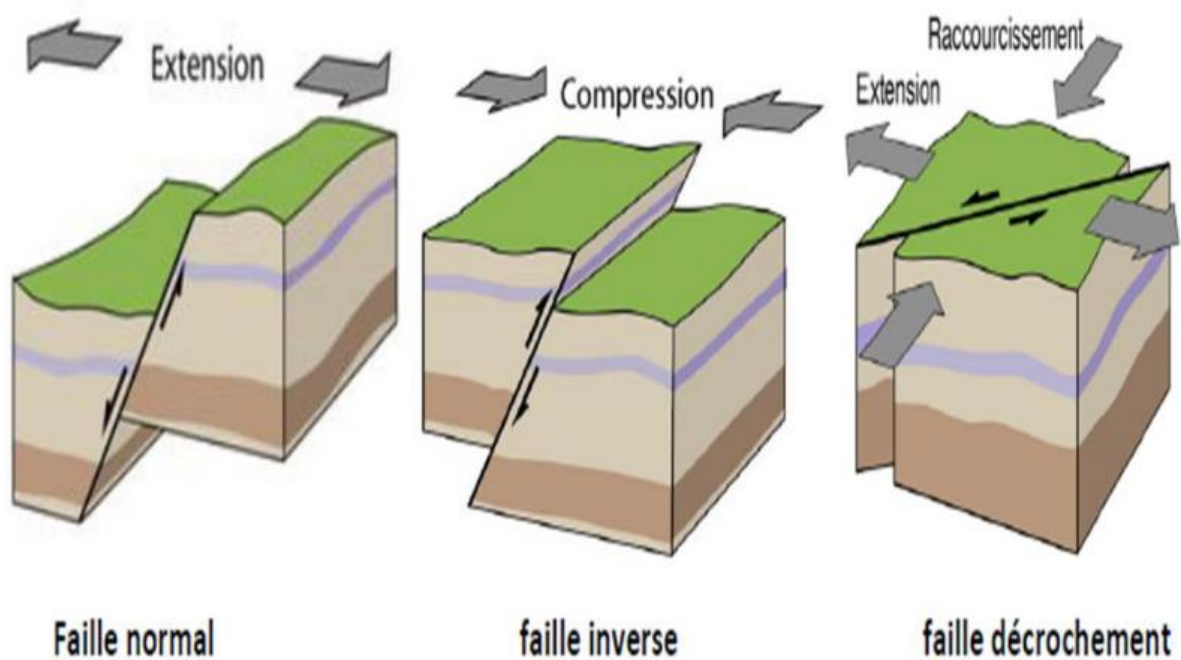


Figure I.4 : Les types des failles sismiques [2].

I.4. Classification des séismes :

Le foyer ou l'hypocentre est le lieu qui constitue l'origine de l'énergie de l'ébranlement des roches. Selon la profondeur des foyers on classe les séismes en [1]:

- Les séismes superficiels.
- Les séismes intermédiaires.
- Les séismes profonds.

I.4.1. Les séismes superficiels :

La croûte terrestre étant rigide, elle peut casser. Etant donné que les plaques lithosphériques ont une épaisseur moyenne d'environ 70 Km, la majorité des séismes sont évidemment superficiels c'est à dire que les foyers ne dépassent pas une profondeur de quelques dizaines de kilomètre (0 – 70 Km environ).

I.4.2. Les séismes intermédiaires :

Ce sont des ébranlements dont la profondeur des foyers est comprise entre 70 et 350 Km. Cette catégorie de séismes constitue environ 25% de la totalité des séismes.

I.4.3. Les séismes profonds :

Ils sont rares que les deux catégories précédentes et ne représentent qu'environ 5%. Les séismes profonds ont des foyers qui se situent entre 350 et 700 Km.

I.5. Propagation des ondes sismiques :

A partir du foyer, la secousse sismique se propage sous forme d'ondes de divers type, qui compte tenu de l'hétérogénéité du sol, engendrent en surface un mouvement complexe difficilement prédictible en un site donné [1].

On peut distinguer les types d'ondes suivants:

I.5.1. Les ondes de volumes :

I.5.1.1. Ondes primaires ou ondes longitudinales (P) :

Ce type d'ondes fait osciller les ouvrages d'avant en arrière dans la même direction que leur propagation, elles induisent donc, un mouvement vertical dans les ouvrages. Ce mouvement sera d'autant plus important que l'ouvrage se trouve à proximité de l'épicentre. Elles se propagent dans la croûte terrestre avec une vitesse de 6 à 8 km/s et s'accompagnent d'un changement de volume (Compression et dilatation alternées).

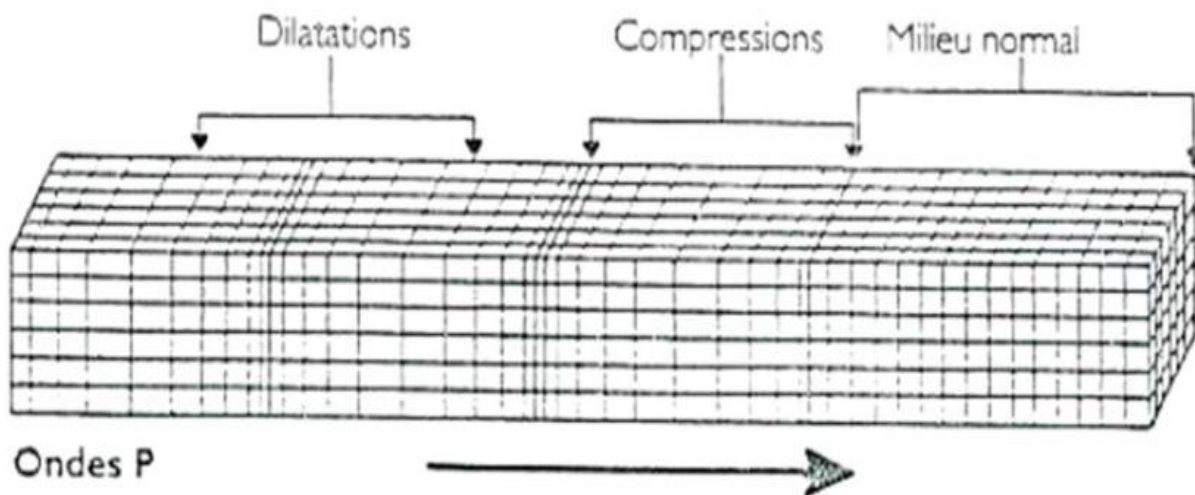


Figure I.5 : Mouvement des particules au passage d'une onde P [4].

I.5.1.2. Onde secondaire ou ondes de cisaillements (S) :

Elles se propagent dans la croûte terrestre, avec une vitesse d'environ 3 à 5 km/s et s'accompagnent d'une distorsion dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation, provoquant un cisaillement sans changement de volume. C'est bien ce type d'ondes qui produit un mouvement horizontal dans les ouvrages.

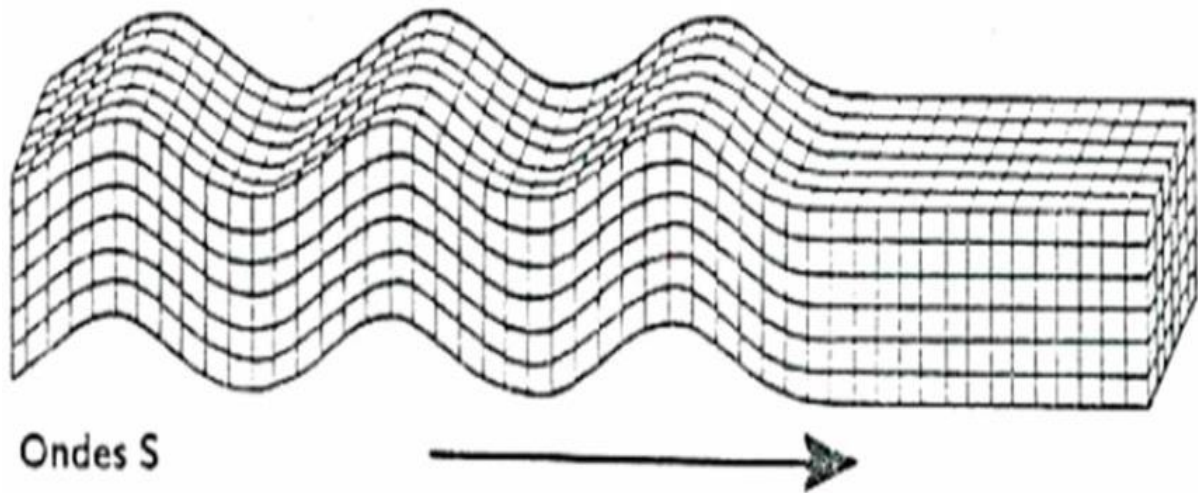


Figure I.6 : Mouvement des particules au passage d'une onde S [4].

Les ondes P se propagent toujours à plus grande vitesse que les ondes S, ainsi quand un tremblement de terre se produit, les ondes P sont les premières à se manifester et à être enregistrées dans les observatoires sismologiques du monde entier.

I.5.2. Les ondes de surface :

Les ondes de volume qui arrivent à la surface de la terre donnant naissance à des ondes de surface de deux types :

I.5.2.1. Ondes de Rayleigh (R) :

Ce sont des ondes pour lesquelles les points du sol décrivent des ellipses dans le plan vertical et dans le sens rétrograde. Ce mouvement entraîne des compressions ou des tractions, ainsi que des cisaillements dans le sol.

I.5.2.2. Ondes de Love (L):

Ce sont des ondes pour lesquelles les points du sol se déplacent dans un plan tangent à la surface et perpendiculairement à la propagation.

Leur mouvement n'engendre que des contraintes de cisaillement.

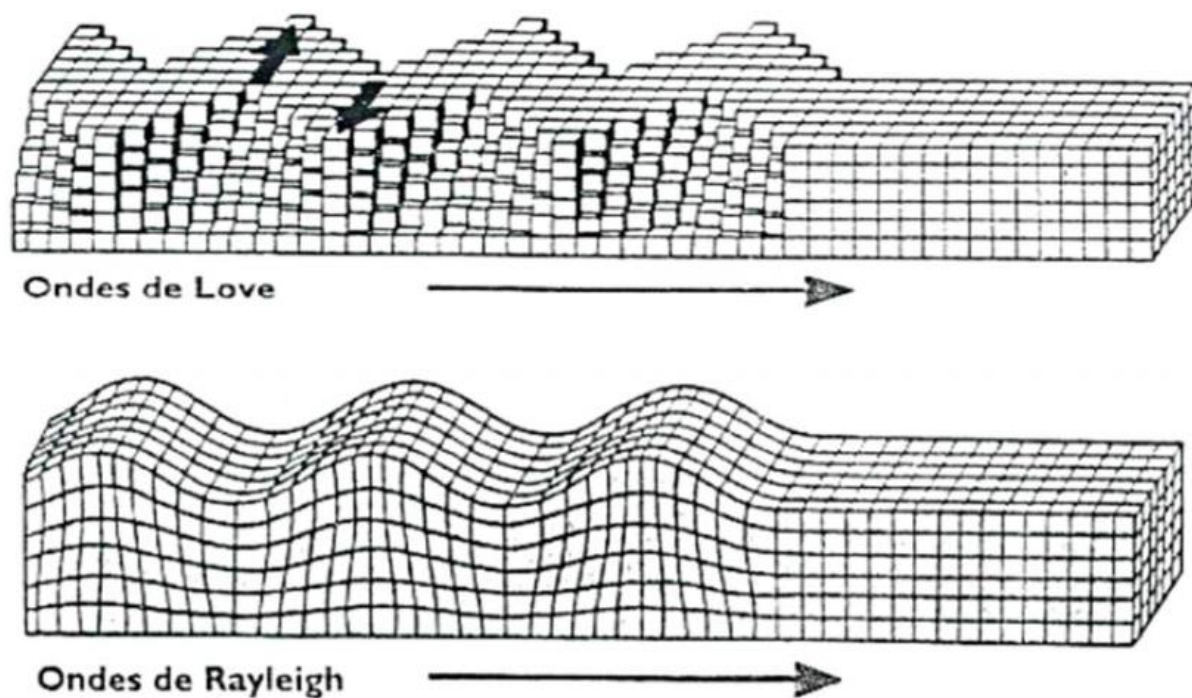


Figure I.7 : Les ondes sismiques Love et Rayleigh [4].

I.6. Caractéristiques d'un séisme :

Le mouvement sismique est souvent caractérisé par [5] .

I.6.1. La magnitude (M):

La notion magnitude a été introduite en 1935 par le sismologue américain RICHTER. Elle caractérise l'énergie libérée par la rupture de la faille dans la zone épacentrale. En pratique, la magnitude d'une secousse sismique est déterminée d'après les enregistrements des mouvements du sol effectués en un certain nombre de points d'observation située à des distances quelconques de l'épicentre. La notion de magnitude est incomparablement supérieure à celle d'intensité, pour un même tremblement de terre.

I.6.2. L'intensité :

L'intensité d'un séisme est définie en un lieu par rapport aux effets produits par ce séisme, qu'ils soient seulement observés ou ressentis par l'homme (réveil, chute d'objets, fissures ...) ou qu'ils aient causés des dégâts plus ou moins importants aux constructions. L'intensité d'un séisme dépend du lieu d'observation des effets causés par le séisme. Elle décroît généralement

Chapitre I: Séismes

lorsqu'on s'éloigne de l'épicentre du séisme mais varie aussi selon la structure géologique.

Une forte intensité est souvent associée à des zones de roches molles (sable, vase, argile et remblais), alors qu'on note une faible intensité dans des zones de roches plus solides (grès). Plusieurs échelles d'intensité ont été définies.

Les plus utilisées sont l'échelle de Mercalli qui date de 1902 et qui a été modifiée en 1956 et l'échelle MSK créée en 1964, du nom des trois sismologues européens Medvedev, Sponheuer et Karnik. Ces deux échelles comportent douze degrés notés généralement en chiffres romains de I à XII.

Le degré I correspond aux secousses les plus faibles, à peine ressenties, le degré XII aux secousses les plus fortes, celles ayant entraîné une destruction totale des bâtiments.

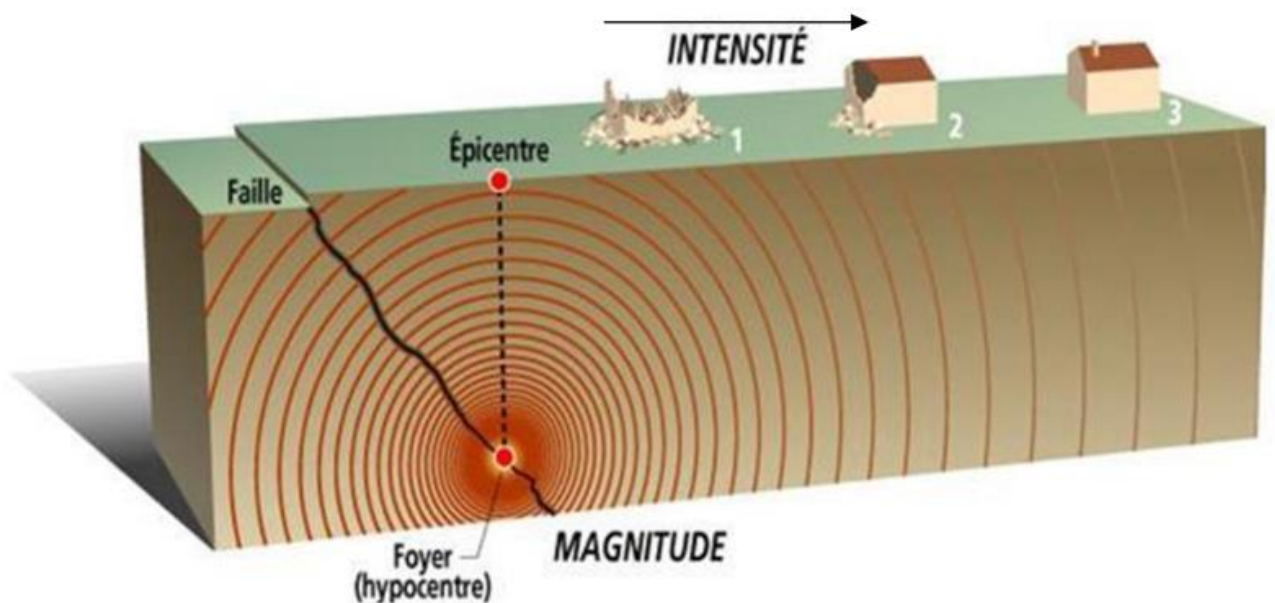


Figure I.8 : la décroissance de l'intensité sismique [6].

I.7. La localisation des séismes :

L'activité sismique est principalement liée à la tectonique des plaques [6].

I.7.1. Les séismes inter-plaquent :

Dans la majorité des cas, les séismes se déclenchent en limite de plaques. C'est en effet au niveau de ces contacts que les contraintes occasionnées par la dérive des continents sont les plus fortes.

Séismes et volcanisme sont souvent associés sur ces limites de plaques.

I.7.2. Les séismes intra-plaque :

Même à l'intérieur des plaques tectoniques, des failles peuvent jouer et occasionner des séismes.

Généralement moins violents que les précédents, ils correspondent à des réajustements des pressions dans la croûte terrestre.

I.7.3. Les séismes liés à l'activité volcanique :

Les éruptions volcaniques, autre phénomène associé à la tectonique des plaques, occasionnent une multitude de séismes.

Ces derniers peuvent permettre de prédire l'imminence d'une éruption.

I.7.4. Les séismes liés à l'activité humaine :

Certaines activités humaines peuvent occasionner des séismes, généralement modérés.

Il s'agit notamment de la mise en eau des barrages ou de l'exploitation des gisements souterrains (gaz, minerais,etc.).

I.8. Historique de la sismicité en Algérie :

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.[15]

Tableau I.1 : Historique de la sismicité en Algérie [15]

Localité	Date	Magnitud e 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.
Ain El Hassan (ElAsnam)	25/08/1922	IX-X 5.1	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.

Chapitre I: Séismes

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	R macrosismique = 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.

Chapitre II :

Prévention sismique

II.1.1 Introduction :

Le risque sismique reste, à nos jours, une chose difficile à cerner tant Il est complexe. Par conséquent, la prévention du risque sismique consisterait, tout d'abord, à construire parasismique. L'Algérie est un pays qui a beaucoup souffert des effets dévastateurs des séismes. Lors du dernier tremblement de terre qui a secoué les régions d'Alger et de Boumerdès (21Mai 2003), le bilan dressé est très lourd : plus de 3000 morts, environ 10000 blessés, d'importants immeubles complètement détruits ou endommagés, plusieurs ouvrages d'art déplacés. Après le séisme de Chlef en 1980. Pour se protéger des destructions pouvant être occasionnées par les tremblements de terre, les pays concernés se sont dotés de règles parasismiques. La construction parasismique veut dire construire de telle manière que les bâtiments, même endommagés ne s'effondrent pas. En autre terme, l'application d'un certain nombre de prescriptions réglementaires sur les constructions, ceci nous oblige d'appréhender le comportement des ouvrages et de valider les méthodes de calcul. La bonne définition des sollicitations sismiques susceptibles de se développer lors un séisme résulte un bon dimensionnement des structures qui peuvent résister lors l'excitation sismique sans effondrement. [12]

Dans la conception parasismique des structures en béton armé, les règles utilisées sont basés sur les connaissances plus récentes dans le domaine de la recherche scientifique. Ces règles constituent un ensemble de normes de conception très avancé. Parmi les objectifs visés de ces normes sont d'assurer la protection des vies humaines et de limiter les dommages que peut avoir la structure durant une secousse sismique.

II.1.2. Conception parasismique:

Les principes de construction des structures parasismiques :

Ces normes posent les bases de la construction parasismique :

- Il faut privilégier les formes compactes et équilibrées par rapport à la longueur et à la largeur du bâtiment.
- Les charges sont homogènes d'un étage à un autre.
- La position du centre de gravité devrait être la plus basse possible avec une distribution uniforme des masses.
- Il faut éviter que le bâtiment ne rentre en résonance.

II.1.2.1. Diviser les formes complexes en formes simples:

Les bâtiments possédant une architecture régulière et symétrique se comportent mieux et sont plus résistants que les bâtiments aux formes géométriques complexes.

En effet, les bâtiments aux formes complexes (L, T, etc.) sont moins résistants par rapport aux bâtiments symétriques car la jonction de deux parties formant une pièce complexe est soumise à des contraintes importantes.

Chaque forme géométrique possède sa propre réaction. Ainsi, si l'on assemble un bâtiment avec des formes dissymétriques, chaque partie aura une réponse sismique différente, fragilisant alors l'ensemble de la structure et rendant presque impossible la prévision de la réaction du bâtiment lors d'un séisme.

Il faut donc diviser la structure complexe en volumes élémentaires reliés par des joints parasismiques. Par exemple, les bâtiments en L entraînent des concentrations de contraintes locales au niveau des angles qui peuvent être très néfastes [9].

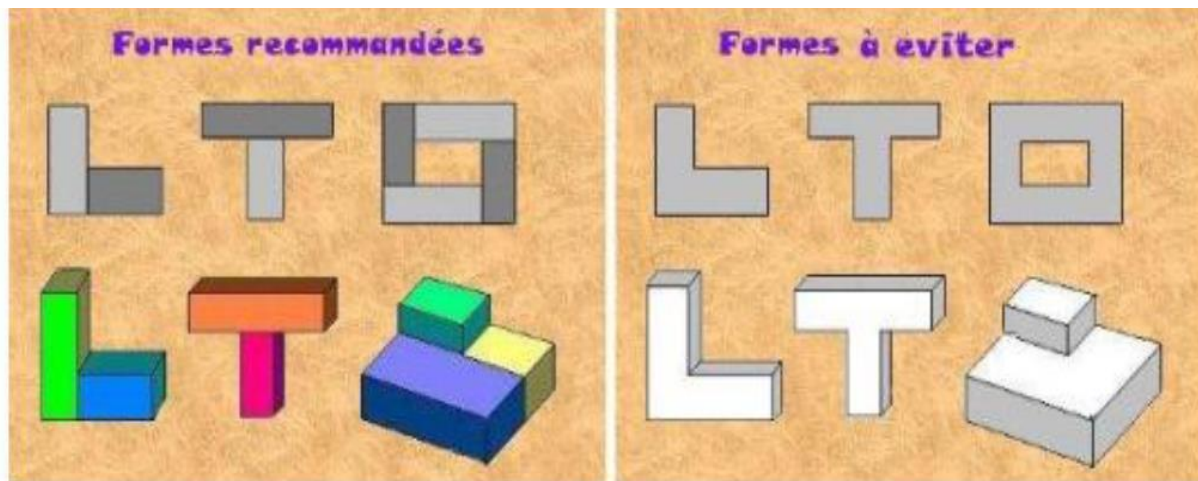


Figure II.1 : Des formes complexes aux formes simples

II.1.2.2. Contreventements:

II.1.2.2.1. Contreventement décalé:

Les contreventements sont décalés lorsque leur position diffère d'un étage à l'autre. Les moments de flexion et les efforts tranchants induits par cette disposition ne peuvent généralement pas être reportés de manière satisfaisante. Les décalages perturbent la transmission des efforts, réduisent la capacité portante et diminuent la ductilité (aptitude à se déformer plastiquement) des contreventements. Ils sont en outre responsables d'importantes sollicitations et déformations affectant d'autres éléments porteurs.

En comparaison avec des contreventements continus sur toute la hauteur du bâtiment et construits dans les règles de l'art, les décalages de contreventement augmentent la vulnérabilité de l'ouvrage et réduisent notablement sa tenue au séisme dans la plupart des cas. C'est pourquoi il faut absolument éviter de décaler les contreventements.

II.1.2.2.2. Sauts de rigidité et de résistance:

En changeant la section des contreventements d'un étage à l'autre, on crée des discontinuités et on provoque de brusques variations de rigidité et de résistance du bâtiment.

Il peut en résulter des hétérogénéités dans le comportement dynamique, d'où des sollicitations supplémentaires et des problèmes de transmission des efforts à l'échelle locale. Le cas échéant, il vaut mieux diminuer la rigidité et la résistance de bas en haut (à droite dans la figure II.2) que faire l'inverse (à gauche).

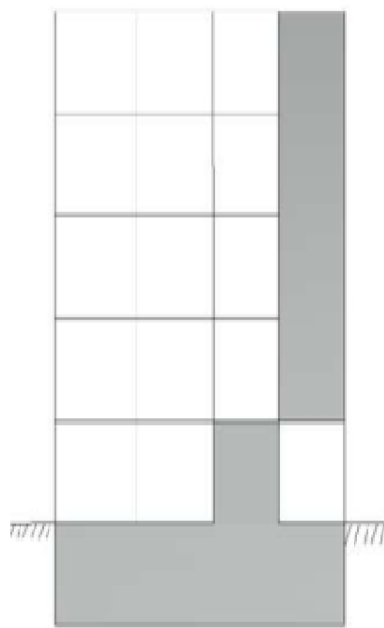


Figure II.2 : Le contreventement décalé [8].

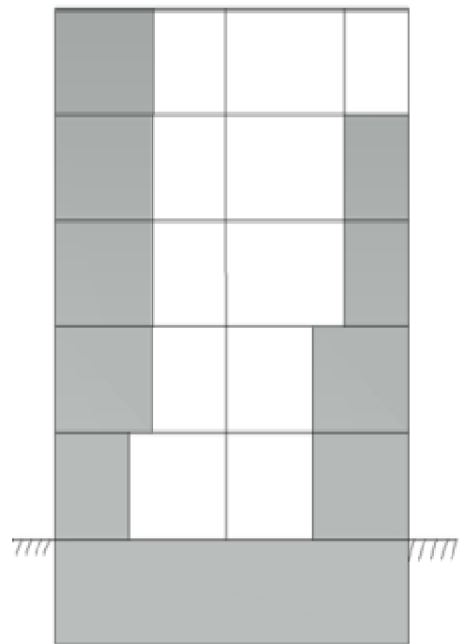


Figure II.3 : Sauts de rigidité et de résistance [8].

II.1.2.2.3. Distance entre les éléments de contreventement :

Disposés en façade ou près des façades pour conférer un grand bras de levier au couple résistant à la torsion (Figure II.4). La solution la plus efficace consiste à utiliser la totalité des façades en tant qu'élément de contreventement [10].

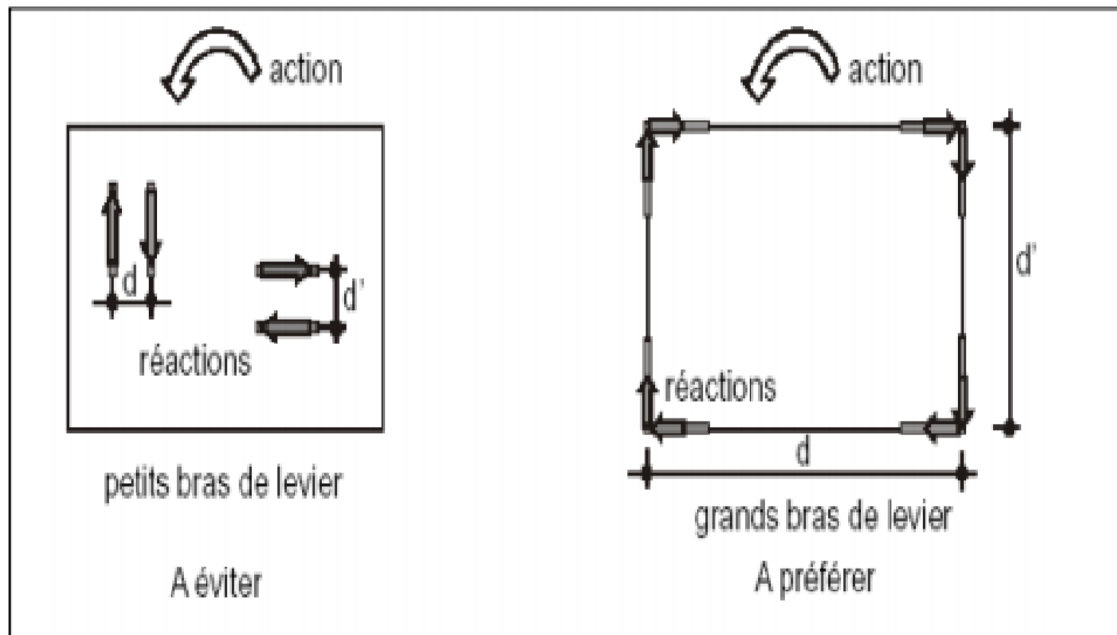


Figure II.4 : Distance entre les contreventements [10]

II.1.2.3. Diaphragmes:

Les diaphragmes sont des éléments planchers, toitures, etc..., la rigidité du diaphragme dépend principalement du matériau dont il est constitué et de sa forme. Une dalle en béton armé est préférable car elle est nettement plus rigide dans son plan qu'un plancher en bois, par exemple, des diaphragmes percés de grandes ouvertures sont à éviter car ils sont trop flexibles. Le rôle des diaphragmes est de transmettre les charges horizontales aux éléments verticaux de contreventement. La transmission doit être plus uniforme possible pour ne pas surcharger un élément particulier et l'amener à la rupture.

Dans ce but le diaphragme doit être, dans son plan, plus rigide que les éléments verticaux de la stabilisation, évidemment, une bonne liaison doit être assurée entre eux.

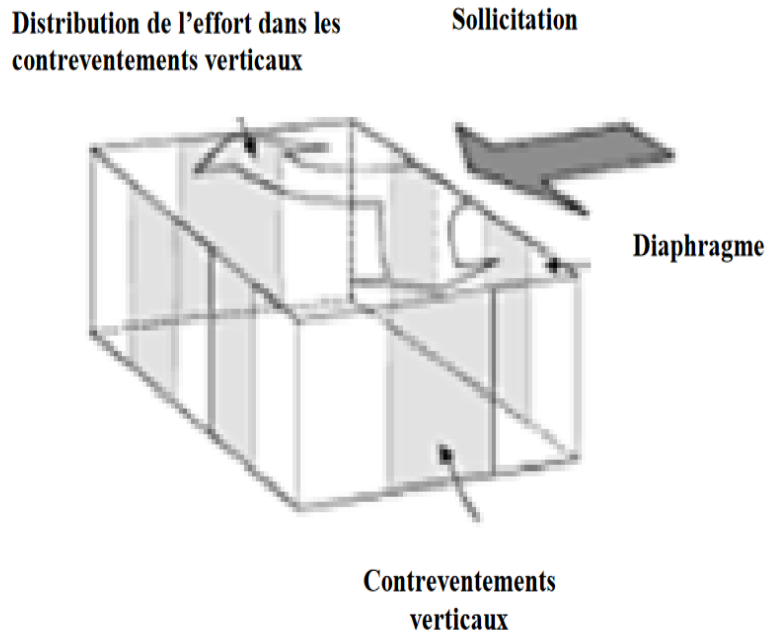


Figure II.5 : Distribution de l'effort horizontal du diaphragme au contreventement vertical [11]

II.1.2.4. Régularité en élévation:

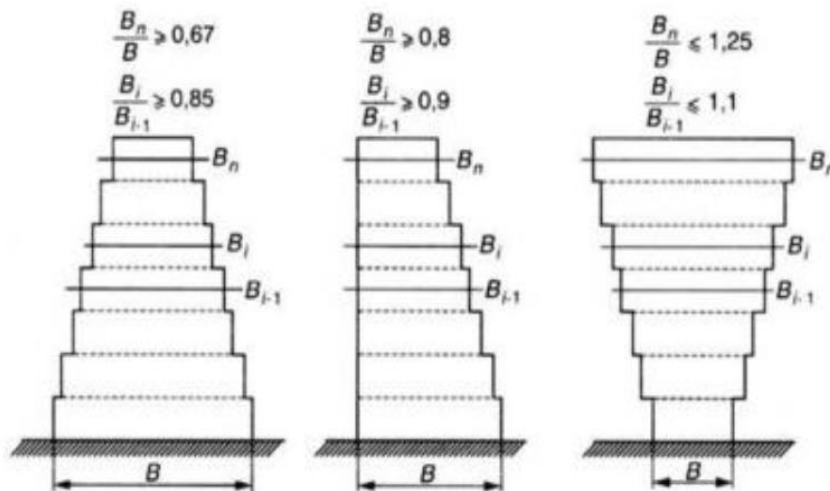


Figure II.6 : Retrait et porte-à-faux. Exemples de règles de limitations des irrégularités[12]

II.1.2.5. Régularité en plan:

Le bâtiment doit présenter une configuration sensiblement symétrique vis-à-vis de deux directions orthogonales aussi bien pour la distribution des rigidités que pour celle des masses.

Chapitre II: Prévention sismique

A chaque niveau et pour chaque direction de calcul, la distance entre le centre de gravité des masses et le centre des rigidités ne dépasse pas 15% de la dimension du bâtiment mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée. 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 Distribution de l'effort dans les contreventements verticaux Sollicitation Diaphragme Contreventements verticaux excéder 25% de la dimension totale du bâtiment dans cette direction. 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.

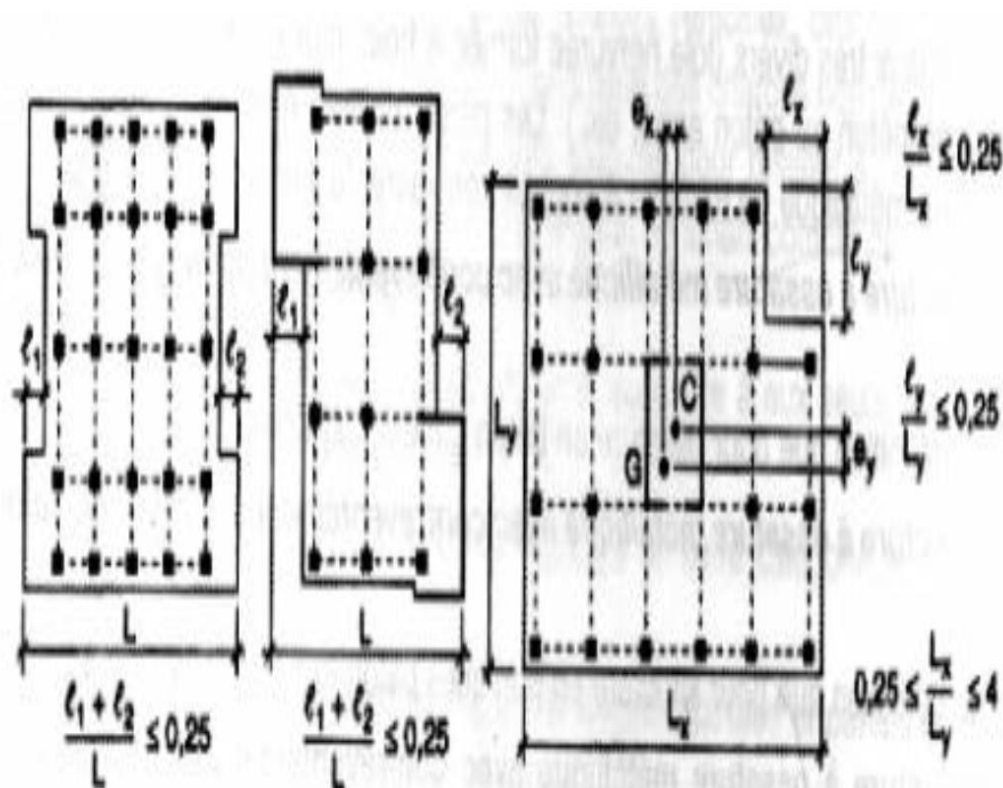


Figure II.7 : Régularité en plan [12]

II.1.2.6. Rez-de-chaussée flexibles:

L'effondrement d'un bâtiment soumis à un tremblement de terre est souvent dû au fait que si les étages supérieurs sont bien contreventés, le rez-de-chaussée est transparent et ne comprend que des colonnes porteuses. Il en résulte un niveau mou, flexible dans le plan horizontal.

Or les colonnes sont souvent incapables de suivre sans dégâts les déplacements relatifs entre le sol qui oscille et la partie supérieure du bâtiment qui tend à rester sur place. Les déformations plastiques, dites rotules plastiques, qui apparaissent aux extrémités des colonnes déclenchent un mécanisme redouté dit «des colonnes» (ou «d'étage»), caractérisé par une concentration des déformations plastiques aux extrémités des colonnes. Il en résulte un comportement instable et l'effondrement du bâtiment est souvent inévitable [8].



Figure II.8 : Destruction du RDC [8].

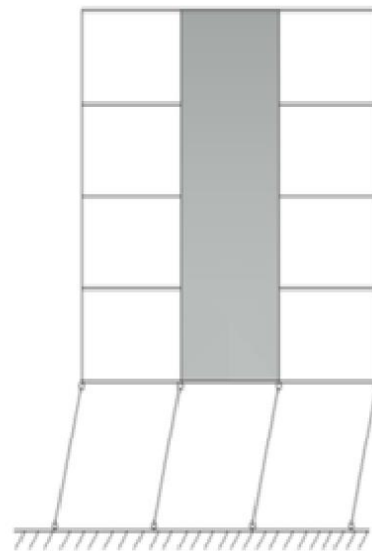


Figure II.9 : Rez-de-chaussée flexibles [8].

II.1.2.7. Étages flexibles:

Un étage peut également être plus flexible que les autres s'il est équipé de contreventements moins résistants ou que ces dispositifs font totalement défaut. Il arrive aussi que la résistance ultime dans le plan horizontal soit fortement

Chapitre II: Prévention sismique

réduite à partir d'une certaine hauteur dans toute la partie supérieure du bâtiment. Un tel ouvrage est également exposé au redouté mécanisme de colonnes (ou d'étage) [8]



Figure II.10: Etages flexibles [13]

II.1.2.8. Joints parasismiques:

On a donc vu dans la partie précédente que les formes complexes étaient divisées en formes simples. Cependant, il ne faudrait pas que ces parties autrefois reliées entre elles et maintenant séparées ne s'entrechoquent. Les joints parasismiques ont donc été créés à cet effet.



Figure II.11 : Un joint parasismique entre deux bâtiments [9]

II.1.3. Réglementation sismique:

II.1.3.1 Introduction:

Le risque sismique reste, à nos jours, une chose difficile à cerner tant il est complexe. Par conséquent, la prévention du risque sismique consisterait, tout d'abord, à construire parasismique.

L'Algérie est un pays qui a beaucoup souffert des effets dévastateurs des séismes. Lors du dernier tremblement de terre qui a secoué les régions d'Alger et de Boumerdès (21Mai 2003), le bilan dressé est très lourd : plus de 3000 morts, environ 10000 blessés, d'importants immeubles complètement détruits ou endommagés, plusieurs ouvrages d'art déplacés. Après le séisme de Chlef en 1980. Pour se protéger des destructions pouvant être occasionnées par les tremblements de terre, les pays concernés se sont dotés de règles parasismiques. La construction parasismique veut dire construire de telle manière que les bâtiments, même endommagés ne s'effondrent pas. En autre terme, l'application d'un certain nombre de prescriptions réglementaires sur les constructions, ceci nous oblige d'appréhender le comportement des ouvrages et de valider les méthodes de calcul. La bonne définition des sollicitations sismiques susceptibles de se développer lors un séisme résulte un bon dimensionnement des structures qui peuvent résister lors l'excitation sismique sans effondrement. [7] Dans la conception parasismique des structures en béton armé, les règles utilisées sont basés sur les connaissances plus récentes dans le domaine de la recherche scientifique. Ces règles constituent un ensemble de normes de conception très avancé. Parmi les objectifs visés de ces normes sont d'assurer la protection des vies humaines et de limiter les dommages que peut avoir la structure durant une secousse sismique.

II.1.3.2. Nécessité des règlements parasismiques:

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

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 ce règles et encourage les chercheurs à améliorer d'avantage ces derniers.

[3]

Chapitre II: Prévention sismique

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

- 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.
- 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.

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.

Spécifiques dus à la nature particulières des charges

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.

II.1.3.3. La Règlementation 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 Kantô 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 AFPS90 qui ont été en grande partie reproduites dans la rédaction des règles PS 92.

Chapitre II: Prévention sismique

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 euro Code 8.

II.1.3.4. Les Règles parasismiques Algériennes RPA [12] :

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 version83, 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 zonage, l'annulation de la restriction pour l'utilisation des portiques auto stables 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 en1999 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'autre 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.

Chapitre II: Prévention sismique

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.

II.1.3.4.1. Objectifs de RPA 99 Version 2003 :

Les présentes règles 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. 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.

II.1.3.4.2. Domaine d'application :

Les règles sont applicables à toutes les constructions courantes. Par contre, elles ne sont pas directement applicables aux constructions telles que [12] :

- Constructions et installations pour lesquelles les conséquences d'un dommage même léger peuvent être d'une exceptionnelle gravité:

Chapitre II: Prévention sismique

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 sismicité

Négligeable de la classification des zones sismiques.

II.1.3.4.3. Conditions d'application :

Les constructions auxquelles s'appliquent les règles doivent satisfaire concomitamment aux règles de conception, de calcul et d'exécution applicables [4] 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.

Chapitre II: Prévention sismique

- Amélioration de la présentation du RPA en tant qu'outil de travail très utilisé.

II.1.3.5. Les Règles parasismiques Eurocode 8 [20] :

Les Euro codes constituent un ensemble intégré de normes européennes pour la conception et le dimensionnement des bâtiments et des structures de génie civil, y compris leurs fondations et leur résistance aux séismes.

Le but du programme des Euro codes est d'établir un ensemble de règles techniques communes pour la conception de bâtiments et d'ouvrages de génie civil, qui sont destinés à remplacer les règles actuellement en vigueur dans les différents états membres de l'Union Européenne.

L'Eurocode8 s'insère dans l'ensemble du projet des Euro codes structuraux lancé par la Commission européenne pour permettre l'harmonisation des règles techniques de construction au sein de l'Union européenne.

La norme française la plus récente concernant les bâtiments en zone sismique est connue sous le nom de PS 92.

Dans le cadre européen, la norme relative à la construction en zone sismique est l'Euro code 8.

Elle comprend six parties. Les parties 1 et 5 sont nécessaires pour la conception des bâtiments ; elles couvrent le même champ que les PS 92.

Et sont décomposés comme suit :

- EN 19981 Règles générales Actions sismiques Règles pour les bâtiments.
- EN 19982 Ponts.
- EN 1998 4 Silos, réservoirs, tuyauterie.
- EN 1998 5 Fondations, géotechnique.

Chapitre II: Prévention sismique

- EN 1998 6 Tours, mats, cheminées.

II.1.3.5.1. Objectifs de L'Eurocode 8 :

- Les « Euro codes structuraux » constituent un ensemble de normes concernant la conception structurale et géotechnique des bâtiments et des ouvrages de génie civil.
- Ils ne traitent de l'exécution. Et du contrôle que dans la mesure où il est nécessaire d'indiquer la qualité des produits de construction et le niveau de qualité de la mise en œuvre, nécessaires pour assurer la compatibilité avec les règles de conception.
- Tant qu'un ensemble harmonisé. De spécifications techniques des produits et de méthodes d'analyse des performances n'est pas disponible, un certain nombre d'Euro codes structuraux traiteront de certains de ces aspects dans des annexes informatives.

II.1.3.6. Code American Uniform Building code (UBC97).

[21] :

L'UBC a été publiée en 1927 par le Conseil international des officiels de la construction, qui était basée à Whittier, Californie. Il était destiné à promouvoir la sécurité publique et a fourni des exigences normalisées pour la construction. Sécurité qui ne varient de ville en ville comme cela avait été le cas auparavant.

II.1.3.6.1. Histoire D' Uniform Building code (UBC):

ICBO a continué de publier les versions mises à jour du code env. après tous les trois ans jusqu'en 1997, qui a été en retrait que la version finale après laquelle en 2000 l'UBC a été remplacé par IBC (International Building Code), mais IBC est surtout utilisé dans les États-Unis d'Amérique et quelques autres pays.

La plupart des pays en développement utilisent encore UBC (code de

Chapitre II: Prévention sismique

construction uniforme). Comme déjà mentionné dans le début que les normes jouent un rôle très important dans la mesure du niveau de précision et d'optimisme dans la qualité et le degré de la performance est à maintenir et renforcée. Les normes varient d'un endroit à l'autre comme les normes que nous avons pour l'Amérique pourraient ne pas être utilisables dans les pays asiatiques comme la Chine, etc. La raison de cette variation dans la norme est la variabilité de la disponibilité du type de matériaux disponibles, la qualité du matériel.

Par exemple, le sol de l'Amérique est très différent collectivement que celle de la Chine ou tout autre pays. Cette variation est également présente dans le pays. Les zones sismiques sont différentes. Cette variation peut être facilement observée dans le génie civil que chaque projet a différents ensembles de caractéristiques malgré le fait que, même si les matériaux et les exigences sont considérées comme identiques. Le code est uniforme Code du bâtiment ayant une forme courte de UBC.

Conseil international des officiels de la construction ayant leur siège social en Californie a publié ce code pour la première fois le chemin du retour en 1927. ICBO a été destiné à promouvoir la sécurité publique en fournissant des normes et des exigences pour assurer la construction en toute sécurité.

II.1.3.7. Conclusion :

Ce chapitre a été destiné à une revue pour les règlements parasismiques afin d'identifier les motifs qui ont conduit à l'adoption de normes parasismiques en Algérie (RPA 99 Version 2003), en Europe (Euro code 8) et en Amérique le Code du bâtiment uniforme USA (UBC 97), l'historique, les objectifs,

Les différentes compositions de chaque règlement et les efforts déployés pour la délivrance de ces règles

II.2.1. Introduction:

Le calcul et la vérification de la résistance des structures aux séismes sont fonction du niveau de l'action sismique considérée, pour l'évaluation de cette dernière, différentes méthodes sont adoptées à travers le monde, données par des documents techniques appelés « règlements parasismiques ».

Afin d'avoir un aperçu sur les différentes méthodologies du calcul sismique, une étude comparative est faite entre les règlements RPA (Règlement Parasismique Algérien) [4], Eurocode8 (règlement Européen) [5] et UBC (règlement Américain) [6].

II.2.2. Comparaison de L'RPA99/V2003 et L'EC8 et UBC97 :

Cette comparaison est faite en prenant en considération les différents facteurs qui interviennent dans la détermination de l'action sismique agissant sur un ouvrage ; focalisé sur certains points importants :

Les zones sismiques.

- La classification des sols.
- Les spectres de réponse.
- La classification des ouvrages selon leur importance.
- La classification des bâtiments selon leur configuration.
- Les méthodes de calcul sismique.

II.2.3. Comparaison des zones sismiques :

Les cartes sismiques sont des documents portés à connaissance, qui visent à rendre Carte graphiquement visible le risque.

Chapitre II: Prévention sismique

Elles se basent sur les données géologiques et géotechniques disponibles, et sur l'analyse des évènements récents et de l'histoire sismique quand elle existe.

La Figure II.12 présente le zonage sismique de l'Algérie utilisé dans RPA 9v2003 et comme exemple on présente le zonage de la France comme pays Européen.

Et La Figure II.13 Zonage dans les États-Unis d'Amérique (UBC 97).

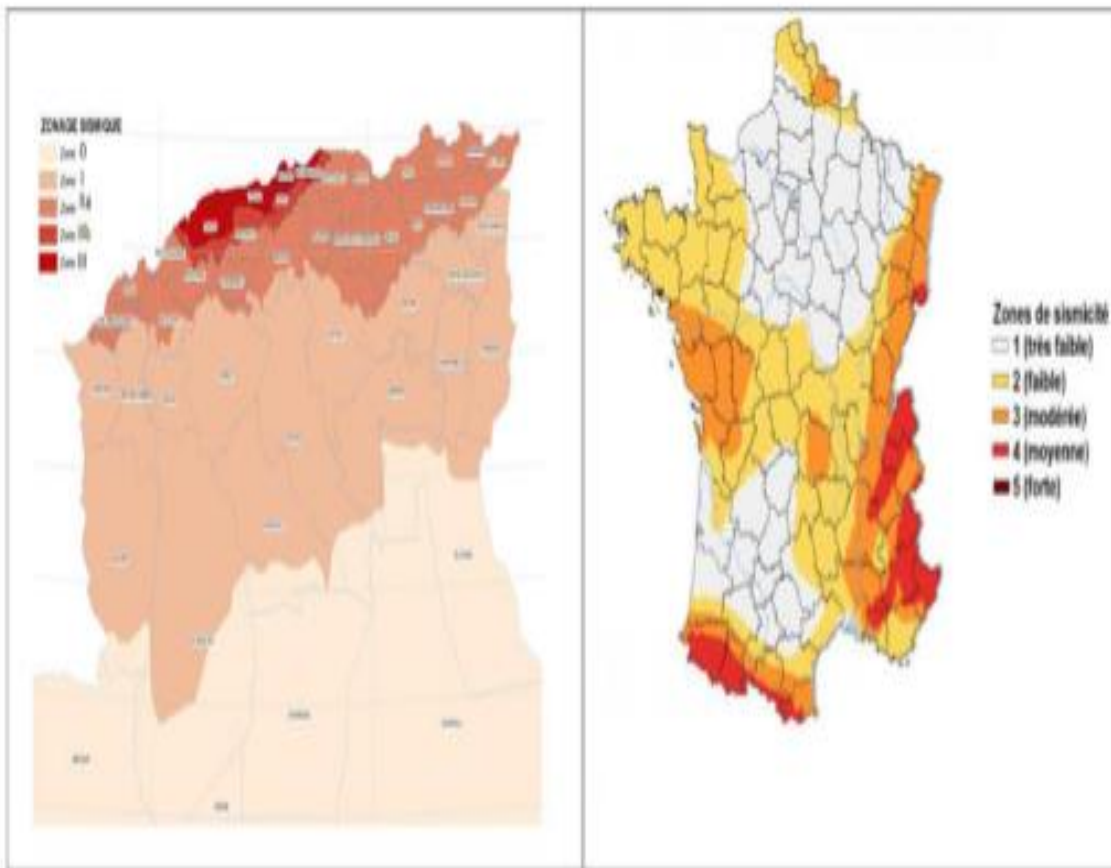


Figure II.12 : Les cartes des zones sismiques de L'Algérie et de la France

Chapitre II: Prévention sismique

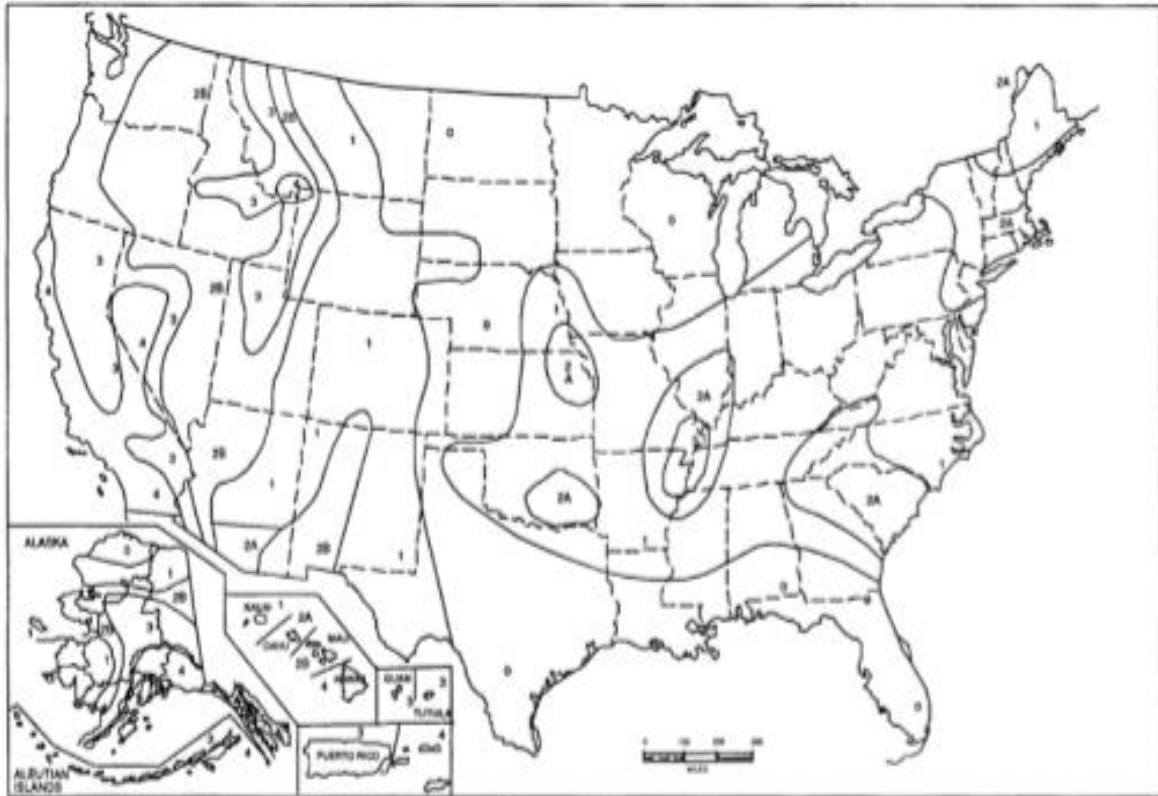


Figure II.13 : Carte des zones sismique Etats –Unis d’Amérique(UBC97).

Tableau II.1 : Comparaison des zones sismique pour l’ RPA99/v2003, l’EC8et UBC97.

RPA 99/ v 2003		Eurocode 8		UBC 97	
Zone	Sismicité	Zone	Sismicité	Zone	Sismicité
Zone 0	Négligeable	Zone 1	Très faible	Zone 1	Très faible
Zone I	Faible	Zone 2	Faible	Zone II a	Faible
Zone II a	Moyenne	Zone 3	Modérée	Zone II b	Modérée
Zone II b	Moyenne	Zone 4	Moyenne	Zone 3	Moyenne
Zone III	Élevée	Zone 5	Forte	Zone 4	Forte

II.2.4. Classification des Sols Selon RPA99/V2003 :

RPA99/v2003 classes les sols en quatre catégories sur la base de la valeur moyenne de la vitesse de propagation des ondes de cisaillement V_s si elle disponible ou la valeur de résultats d'essais [pénétromètre statique (qc), SPT (N), pressiomètre (Pl , Ep), Résistance en compression simple (qu)]

Peuvent être utilisées pour classer un site selon le tableau suivant.

$$V_s = \frac{\sum_i^n h_i}{\sum_i^n \left(\frac{h_i}{V_{si}} \right)}$$

Avec : V_s Vitesse d'onde de cisaillement à travers la couche (i) d'épaisseur h_i .

Le RPA exige des investigations approfondies dans les cas suivantes :

- Présence de sols instables sous les actions sismiques tels que :
sols liquéfiables, sols faiblement cimentés, anciens remblais.
- Présence de sols vaseux ou d'argile avec une très forte teneur en matière organique sur une épaisseur de plus de 3 m.
- Présence d'argile très plastique sur une épaisseur de plus de 6 m.
- Présence sur une épaisseur de plus de 30 m d'une couche d'argile molle à moyennement raide.

Le tableau(II.2) de l'RPA 99/v2003 ci-dessous désigne les quatre classes de sol :

Tableau II.2 : Classification des sites selon RPA99/v2003. [12]

cat.	Description	qc (MPa)	N	Pl (MPa)	Ep (MPa)	qu (MPa)	Vs (m/s)
S1	Rocheux (a)	-	-	> 5	>100-	>10	≥800
S2	Ferme	>15	> 50	> 2	>20	> 0.4	≥400 - <800
S3	Meuble	1.5~15	10~50	1 ~ 2	5 ~ 20	0.1~0.4	≥200 - <400
S4	Très Meuble ou Présence de 3m au moins d'argile molle	< 1.5	< 10	<1	< 5	< 0.1	≥ 100 <200

II.2.5. Classification des Sols Selon EuroCode8 :

L'Euro code 8 distingue Cinq (5) catégories de sites normaux, de A (rocheux) à E (très souples), ainsi que Deux (2) catégories de sites spéciaux à S1 (très souples) et S2 (liquéfiable) devant faire l'objet d'investigations particulières.

Le tableau (III.2) de l'Euro code 8 [20] ci-dessous désigne les 7 classes de sol :

Tableau II.3 : Classification des sites selon l'Eurocode8. [20]

Classe de sol	Description	Paramètres		
		Vs.30 (m/s)	NSPT (coups/30 cm)	CU (kPa)
A	Site rocheux	>800	-	-
B	Site ferme	360 – 800	> 50	> 250
C	Site profond de sable moyennement dense et gravier ou d'argile moyennement raide	180 – 360	15 – 50	70 – 250
D	Site de sol sans cohésion de densité faible à moyenne	< 180	< 15	< 70
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	< 100 (valeur indicative)	—	10 – 20
S2	Site de sol liquéfiable d'argiles sensibles ou autre sol non compris précédemment			

II.2.6. Classification des Sols Selon L'UBC 97 :

L'UBC 97 distingue six types de sols SA, SB, SC, SD, SE et SF, le tableau (II.4) ci-dessous donne

Ces différents types de sols ainsi que les vitesses de propagation des ondes de cisaillement pour les 30 mètres supérieurs

Tableau II.4 : Classification des sites UBC1997 [21]

Type de profil de sol	Description	Valeur moyenne de V_s dans les 30m supérieurs en m/s
SA	Roche dure	≥ 1500
SB	Roche	760-1500
SC	Sol très dense	360-760
SD	Sol raide	180-360
SE	Sol mou	< 180
SF	Sols nécessitant une évaluation spécifique	

II.2.7. Comparaison de la classification des sites entre le RPA99 /v2003, l'EC8 ET UBC97 :

Tableau II.5 : Comparaison de la classification des sites Entre RPA99/v2003, l'EC8 et UBC97

RPA 99/ v 2003		Eurocode 8		UBC 97	
Catégorie	V _{s, 30} (m/s)	Catégorie	V _{s, 30} (m/s)	Catégorie	V _{s, 30} (m/s)
-	-	-	-	SA	≥ 1500
S1	≥ 800	A	> 800	SB	760 -1500
S2	≥400 - <800	B	360 – 800	SC	360-760
-	-	C	180 – 360	SD	180-360
S3	≥200 - <400	D	< 180	SE	< 180
-	-	E	-	SF	-
S4	≥ 100 <200	S1	< 100 (valeur indicative)	-	-
-	-	S2	-	-	-

Acti

II.2.8. Comparaison des spectres de réponse :

Le spectre de réponse représente la caractérisation des tremblements de terre la plus couramment utilisée dans la pratique de l'engineering, car il décrit les caractéristiques fréquentielles du mouvement du sol de sorte qu'il soit directement appliqué dans l'analyse et le dimensionnement des structures.

Le spectre de réponse du sol est obtenu en appliquant les mouvements du sol à la base d'oscillateurs à un degré de liberté, pour un taux d'amortissement

Chapitre II: Prévention sismique

donné, et de représenter sur un graphe la réponse maximale de l'oscillateur en fonction de sa fréquence naturelle ou de sa période naturelle . C'est une représentation utile pour démontrer la période prédominante des mouvements sismiques.

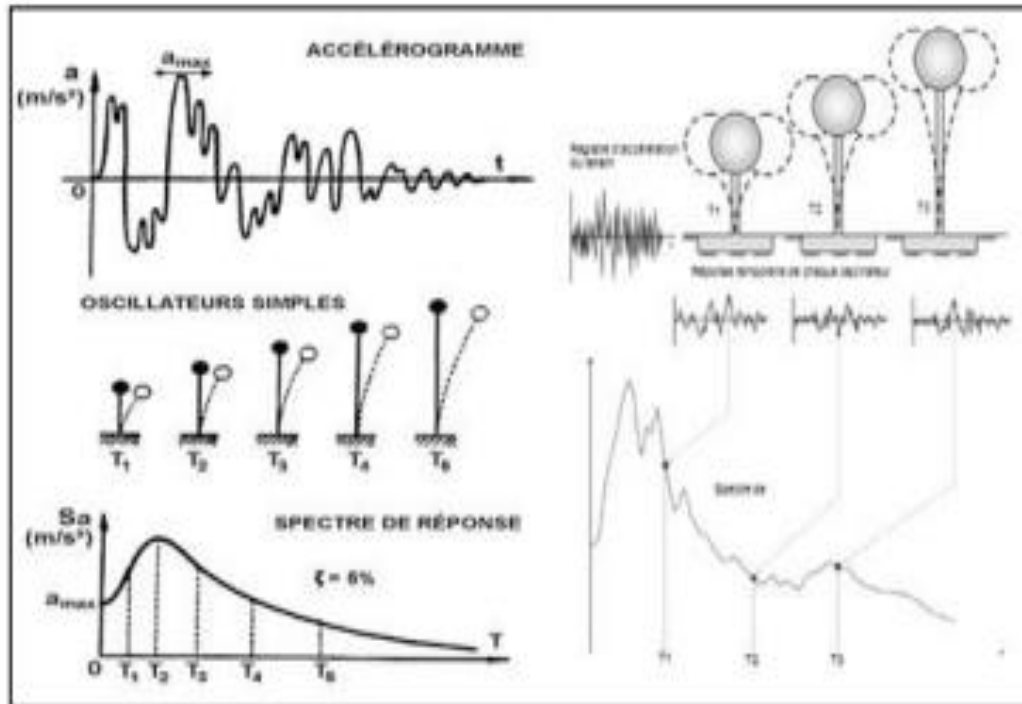


Figure II.14 : Graphique indicatif de la méthode de détermination du spectre de réponse.

II.2.8.1. Spectre de réponse de calcul du RPA 99 Version 2003 :

Le spectre de réponse des structures est un outil pour estimer la réponse d'un bâtiment au séisme, En général il s'agit de réponse en accélération, mais il existe des spectres en déplacement et en vitesse.

Le spectre de réponse inélastique est obtenu en réduisant un spectre de réponse élastique en utilisant. Un coefficient de réduction ou un coefficient de comportement R. Le spectre de réponse dans les règlements algériens (RPA99v2003) [12] est donné par la formule suivante :

Chapitre II: Prévention sismique

$$\frac{s_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases}$$

A : Coefficient d'accélération de zone.

ξ : Pourcentage d'amortissement critique.

R : Coefficient de comportement de la structure.

Q : Facteur de qualité.

η : Facteur de correction d'amortissement.

T1, T2 : Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site, donné par le tableau (II.6)

Tableau II.6 : Type site en fonction des périodes de transition. [12]

Site	S1	S2	S3	S4
T1 (sec)	0.15	0.15	0.15	0.15
T2 (sec)	0.30	0.40	0.5	0.70

Tableau II.7 : Coefficient d'accélération de zone A. [12]

Groupe D'usage	Zone			
	I	II a	II b	III
1A	0.15	0.25	0.30	0.40
1B	0.12	0.20	0.25	0.3
2	0.10	0.15	0.20	0.25
3	0.07	0.10	0.14	0.18

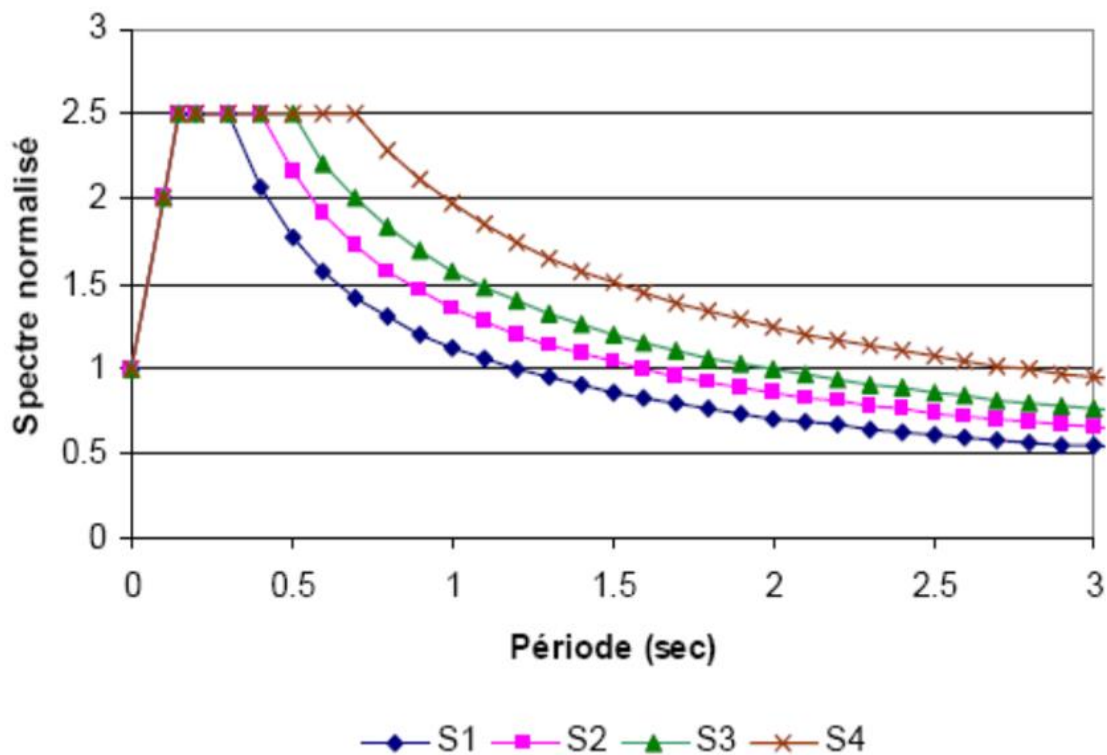


Figure II .15 : Spectres de réponse élastique normalisée pour les 4 types de sites.

II.2.8.2. Spectre de réponse de L’Euro code 8 :

Dans le domaine d’application de L’Euro code 8, le mouvement dû au séisme en un point donné de la surface du sol est représenté par un spectre de réponse élastique en accélération, dénommé par la suite «spectre de réponse élastique».

II.2.8.2.1. Spectre de réponse élastique horizontal (EN 1998-1 Art.

3.2.2) :

Tableau II.8 : Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type :

Classe de sol	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1.0	0.15	0.4	2.0
B	1.2	0.15	0.5	2.0
C	1.15	0.20	0.6	2.0
D	1.35	0.20	0.8	2.0
E	1.4	0.15	0.5	2.0

Tableau II.9 : Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type2.

Classe de sol	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1.0	0.05	0.25	1.2
B	1.35	0.05	0.25	1.2
C	1.5	0.10	0.25	1.2
D	1.8	0.10	0.30	1.2
E	1.6	0.05	0.25	1.2

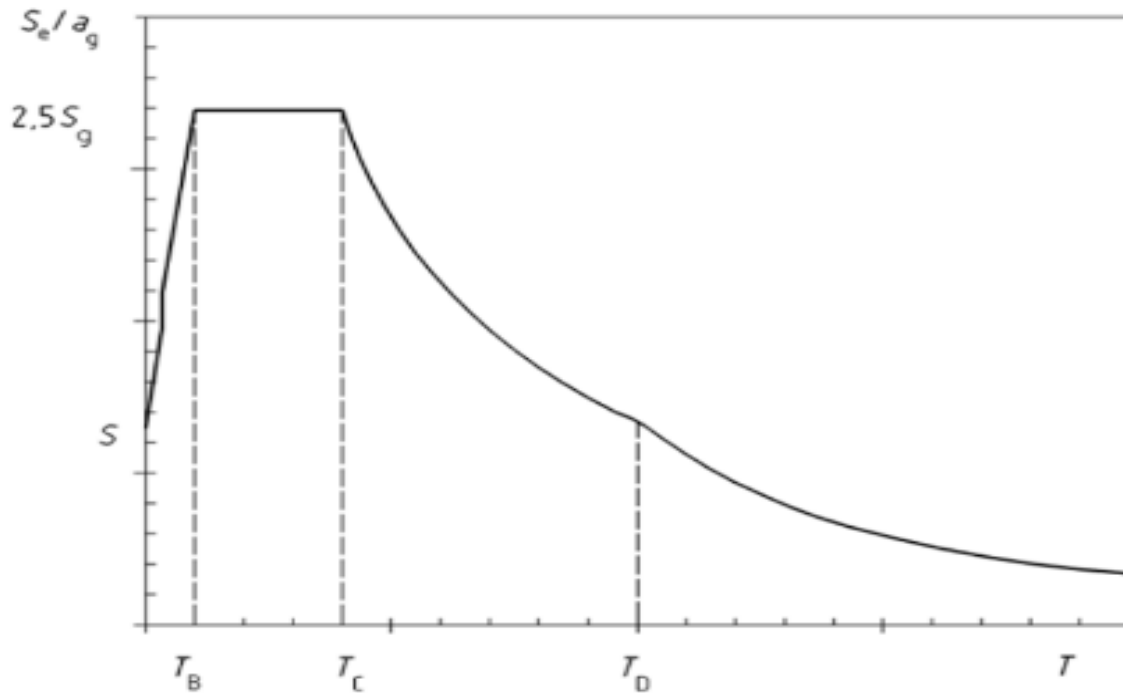


Figure II.16 : Forme du spectre de réponse élastique donné par l'Euro code.

II.2.8.2.2. Spectre de réponse élastique vertical :

Tableau II.10 : Valeurs recommandées des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique verticale.

Spectre	a_{vg} / a_g	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
Zone sismicité 5 (type 1)	0.90	0.05	0.15	1.0
Zone sismicité 1 à 4 (type 2)	0.45	0.05	0.15	1.0

La composante verticale de l'action sismique (EC8 -(Art 4.3.3.5.2)) est considérée dans les calculs si a_{vg} est supérieure à 0,25 g. (2.5 m/s²), dans ce cas il convient de prendre en compte.

La composante verticale de l'action sismique, dans les cas suivants :

- Éléments de structure horizontaux ou presque de 20 m de portée ou plus.

Chapitre II: Prévention sismique

- Éléments horizontaux ou presque horizontaux en console de plus de 5 m de long.
- Éléments précontraints horizontaux ou presque horizontaux.
- Poutres supportant des poteaux.
- Structures sur appuis parasismiques.

II.2.8.2.3. Spectre de calcul pour l'analyse élastique :

En fait, le coefficient de comportement est une fonction de la période du mode fondamental. Pour lui conserver sa valeur constante, c'est le spectre élastique qui est modifié et transformé en spectre de calcul par la prolongation du plateau de la zone amplifiée jusqu'au point de période nulle et le relèvement de la branche descendante. Pour les composantes horizontales de l'action sismique, le spectre de calcul $S_d(T)$, doit être défini par les expressions suivantes :

Où :

a_g , T_B , T_C , T_D et S sont définis en spectre de réponse élastique horizontal.

$S_d(T)$: est le spectre de calcul.

q : est le coefficient de comportement.

β : est le coefficient correspondant à la limite inférieure du spectre de calcul horizontal.

La valeur de β selon [20] (Art-3.2.2.5 (4)) recommandée est de 0.2.

$$\begin{aligned} S_d(T) &= a_g \cdot S \left[\frac{2}{a} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] & 0 \leq T \leq T_B \\ S_d(T) &= a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} & T_B \leq T \leq T_C \\ S_d(T) &= \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} & T_C \leq T \leq T_D \\ S_d(T) &= \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} & T_D \leq T \end{aligned}$$

II.2.8.3. Spectre de réponse de L'UBC 97 :

L'UBC 97 considère les expressions suivantes du spectre de réponse de calcul et est représenté sur 1

$$\begin{aligned} S_d(T) &= \left[C_a + \frac{1,5 C_a T}{T_B} \right] & T \leq T_B \\ S_d(T) &= 2.5 C_a \frac{\gamma I}{R} & T_B \leq T \leq T_C \\ S_d(T) &= C_v \frac{\gamma I}{R} & T \leq T_C \end{aligned}$$

Avec :

C_a et C_v sont les coefficients sismiques et les paramètres T_B et T_C sont définis par les formules :

$$T_C = C_v / 2.5 C_a$$

$$\text{Et } T_B = 0.2 T_C.$$

Les coefficients sismiques C_a et C_v sont donnés dans les tableaux :

(II.11) et (II.12).

Chapitre II: Prévention sismique

Tableau II.11 : Valeurs de coefficient sismique Ca selon l'UBC 1997.

Type de profil de sol	Coefficient de zone sismique Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
SA	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32Na
SB	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40Na
SC	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40Na
SD	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44Na
SE	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36Na

Avec :

Na et Nv facteurs de source proche pour les courtes et longues.

Périodes respectivement.

Tableau II.12 : Valeurs de coefficient sismique CV selon l'UBC 1997.

Type de profil de sol	Coefficient de zone sismique Z				
	Z = 0.075	Z = 0.15	Z = 0.2	Z = 0.3	Z = 0.4
SA	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32NV
SB	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40NV
SC	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56NV
SD	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64NV
SE	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96NV

Chapitre II: Prévention sismique

La Figure (II.17) montre la forme du spectre de réponse de calcul de l'UBC 97.

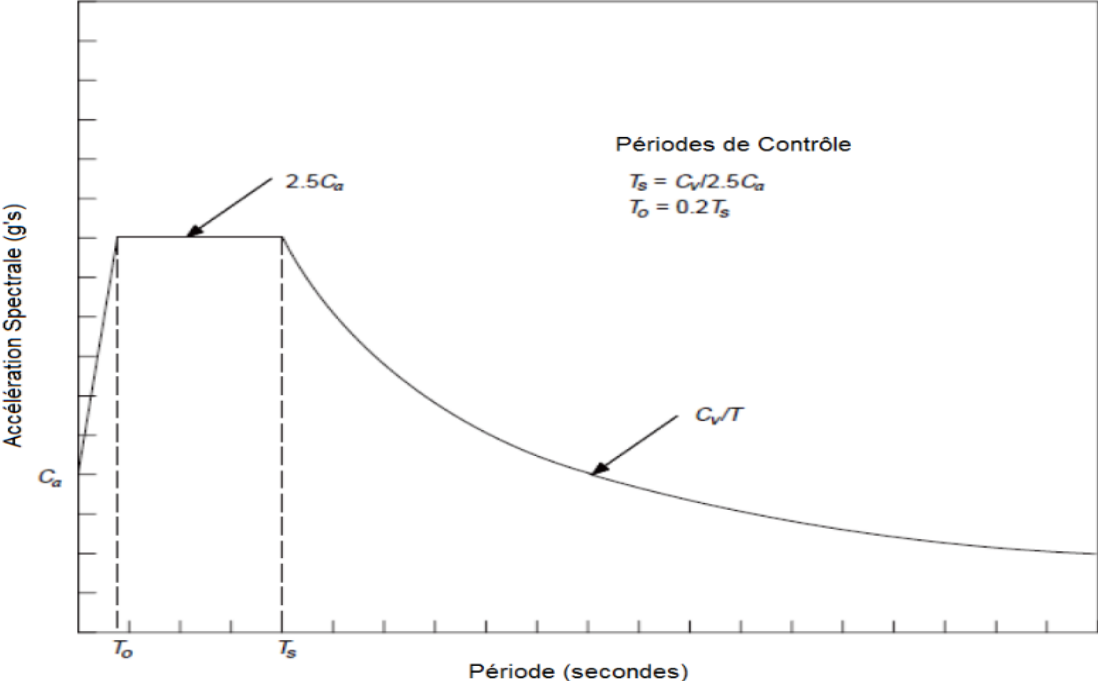


Figure II.17 : spectre de calcul de l'UBC 97

Tableau II.13 : Comparaison des spectres de calcul du RPA99/v2003 l'EC8 et UBC 97

codes	Les spectres de calcul
RPA 99/v2003	$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta (1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta (1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0S \\ 2.5\eta (1.25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3.0S \end{cases}$
EC8	$S_d(T) = a_g \cdot S \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad 0 \leq T \leq T_B$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad T_B \leq T \leq T_C$ $S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad T_C \leq T \leq T_D$ $S_d(T) = \begin{cases} a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad T_D \leq T$
UBC 97	$S_d(T) = \left[C_a + \frac{1.5 C_a T}{T_B} \right] \quad T \leq T_B$ $S_d(T) = 2.5 C_a \frac{\gamma_1}{R} \quad T_B \leq T \leq T_C$ $S_d(T) = C_v \frac{\gamma_1}{R} \quad T \geq T_C$

En remarque que l'RPA99/v2003 adopte un seul spectre de réponse élastique Horizontale de calcul, similaire au 3eme spectre de l'EC8 qui préconise trois spectres de réponse suivant le type de sol par contre L'UBC 97 présente deux spectres de réponse.

II.2.9. Estimation empirique de la période fondamentale :

II.2.9.1 Période fondamentale selon le RPA 99/v 2003 :

La formule empirique qui est donnée dans le code parasismique algérien RPA 99/v 2003 Art 4.2.4 tableau (4.6 ; 4.7) dont nous avons parlé précédemment et pour le calcul de la période fondamentale de vibration est :

Chapitre II: Prévention sismique

$$T = C_{Th} h_N^{3/4} \text{ (L'expression 2.1).}$$

Avec :

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 et donné par le tableau 2.2.

Dans les cas n° 3 et 4 dans le Tableau 2.2 (Valeurs du C_T), on peut également utiliser aussi la formule : $T = 0.09 h_N \sqrt{D}$ (l'expression 2.2)

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

II.2.9.2. Période fondamentale selon l'Euro code 8 :

La période fondamentale d'un bâtiment doit être calculée pour chaque direction considérée par les méthodes suivantes : [20]

- Pour déterminer les périodes fondamentales de vibration T des deux modèles plans du bâtiment, des expressions approchées basées sur les méthodes de dynamique des structures (par exemple, méthode de Rayleigh) peuvent être utilisées.
- Pour les bâtiments jusqu'à 40 m de hauteur, une valeur approchée de T (en s) peut être obtenue par l'expression suivante :

$$T_1 = C_T h^{3/4} \quad (2.7)$$

Où :

- $C_T = 0,085$ portiques spatiaux en acier
- $C_T = 0,075$ portiques spatiaux en béton & ossature acier à triangulation excentrée
- $C_T = 0,050$ autres structures

Chapitre II: Prévention sismique

- H : est la hauteur du bâtiment, depuis les fondations ou le sommet d'un Soubassement rigide.

Par ailleurs, la valeur de C_T dans l'expression (2.7) précédente pour les structures avec des murs de contreventement en béton ou en maçonnerie, peut être prise égale à :

$$C_T = 0.075/\sqrt{A_c} \quad (2.8)$$

Où :

$$A_c = \sum A_i \cdot \left[0.2 + \left(\frac{l_{wi}}{H}\right)^2\right] \quad (2.9)$$

A_c : Est l'aire effective totale des sections des murs de contreventement au premier niveau du bâtiment en m^2 ;

A_i : est l'aire effective de la section transversale du mur de contreventement dans la direction considérée i au premier niveau du bâtiment, en m^2 .

l_{wi} : Est la longueur du mur de contreventement i au premier niveau dans la direction parallèle aux forces appliquées, en m, sous la condition que $\frac{l_{wi}}{H}$ ne dépasse pas 0.9.

II.2.9.3 .Période fondamentale selon le code Américain UBC 97 :

La période du mode fondamental T mentionnée doit être déterminée comme suit : [21]

- **Méthode A** : Pour tous les bâtiments, la valeur T peut être approchée à partir de la formule suivante :

$$T = C_T h_N^{3/4} \quad (2.10)$$

Où :

- $C_T = 0,0853$ pour les ossatures en portique en acier résistant aux moments ;

Chapitre II: Prévention sismique

$C_T = 0,0731$ pour les ossatures en portique en béton armé résistant aux moments;

$C_T = 0,0488$ pour toutes les autres structures.

- Alternativement, la valeur de C_T pour les structures avec des murs de refend en béton ou en maçonnerie peut être prise égale à :

$$C_T = 0.075/\sqrt{Ac} \quad (2.11)$$

La valeur de AC en m^2 est déterminée par la formule suivante :

$$AC = \sum Ae. [0.2 + (De/hn)^2] \quad (2.12)$$

Où :

Ae ; Est la section transversale du mur de contreventement dans la direction considérée au premier niveau du bâtiment, en m^2 ;

De : Est la longueur du mur de contreventement au premier niveau dans la direction parallèle Aux forces appliquées, en m ;

hn : Est la hauteur du bâtiment (m), depuis les fondations jusqu'au dernier étage

; La valeur de (De / hn) utilisées dans la formule (2.12) ne doit pas dépasser 0,9.

- **Méthode B** : La période fondamentale T peut être calculée à l'aide des propriétés structurales et les caractéristiques de déformation des éléments résistants par une analyse appropriée.

L'analyse doit être en conformité avec les exigences de l'article 1630.1.2

[22] La valeur de T obtenue à partir de la méthode B ne doit pas dépasser la

Valeur obtenue à partir de la méthode A de 30% dans la zone sismique 4, et de 40% dans les zones sismiques 1, 2 et 3. [22]

La période fondamentale T peut être calculée en utilisant la formule suivante :

$$T = 2\pi\sqrt{\sum in wi \delta i} / g(\sum in fi \delta i) \quad (2.13)$$

Chapitre II: Prévention sismique

Les valeurs de f_i représentent les forces latérales. Le déplacement élastique δ_i

Doit être calculé en utilisant les forces latérales f_i .

Tableau II.14 : Comparaison des périodes.

Typologies CODE	PBA	PA	PBA/RM	PA/RM	PAE	VBA/M
RPA99/v2003	$T = C_T h_n^x$		$T = \min(C_T h_N^{3/4}; 0.09 h_N \sqrt{D_{x,y}})$			
	Valeur de C_T		Valeur de C_T			
	0.075	0.085	0.05			
EC8	$T = C_T h_n^x$					
	Valeur de C_T					
	0.075	0.085	0.075	0.085	0.075	0.05 $0.075/\sqrt{A_c}$
UBC 97	$T = C_T h_n^x$					
	Valeur de C_T					
	0.075	0.085	0.075	0.085	0.075	0.05 $0.075/\sqrt{A_c}$

Les différentes typologies des structures sont définies comme suit :

PBA : Portique en béton armé sans remplissage en maçonnerie.

PA : Portique en acier sans remplissage en maçonnerie.

PBA/RM : Portique en béton armé avec remplissage en maçonnerie

PA/RM : Portique en acier avec remplissage en maçonnerie.

PAE : Portique en acier à triangulations excentrées.

Chapitre II: Prévention sismique

VBA/M : Voile en béton armé ou murs en maçonnerie.

D'après les différents règlements nous constatons que les formules empiriques diffèrent d'un règlement à un autre et sont généralement fonction de type de structure, La formule de calcul de la période fondamentale. $T = C_T h_n^x$.

Est utilisée dans les trois codes.

II.2.10. Classification des Ouvrages Selon Leur Importance:

Les bâtiments sont classés selon leur importance croissante du point de vue de la sécurité des biens et des personnes et du point de vue leur importance économique.

A chaque catégorie d'importance correspond un coefficient multiplicateur des sollicitations sismiques afin de prendre en compte l'importance du bâtiment dans sa protection.

Le RPA99 /v2003 (Art - 3.2), l'EC8 (Art - 4.2.5) et L'UBC 97 (art 1629.2- table 16k) classent les ouvrages en plusieurs catégories selon leurs importances. Les définitions des catégories d'importance sont indiquées dans les Tableaux (II-15, II-16 et II-17).

II.2.10.1. Classification des Ouvrages Selon RPA 99 Version 2003 :

Tableau II .15 : Classification des ouvrages selon le RPA 99/V2003. [12]

Groupes	Bâtiments
(1A)	Ouvrages d'importance vitale <ul style="list-style-type: none">- Bâtiments abritant les centres de décisions stratégiques.- Bâtiments abritant le personnel et le matériel de secours et (ou) de défense nationale.- Bâtiments des établissements publics de santé...etc.
(1B)	Ouvrages de grande importance <ul style="list-style-type: none">- Ouvrages abritant fréquemment de grands rassemblements de personnes (mosquée, université, constructions sportives...)
(2)	Ouvrages courants ou d'importance moyenne <ul style="list-style-type: none">- Bâtiments d'habitation collective ou à usage de bureaux dont la hauteur ne dépasse pas 48 m.- Parking de stationnement public...
(3)	Ouvrages de faible importance <ul style="list-style-type: none">- Bâtiments industriels ou agricoles abritant des biens de faible valeur.- Bâtiments à risque limité pour les personnes.- Constructions provisoires

II.2.10.2. Classification des Ouvrages Selon L'Eurocod8 :

Tableau II.16 : Classification des Ouvrages Selon l'EC8[20].

Catégorie d'importance	Bâtiments
I	- Bâtiments d'importance mineure pour la sécurité des personnes, par exemple, bâtiments agricoles,..... etc.
II	- Bâtiments courants n'appartenant pas aux autres catégories - Habitations collectives de hauteur inférieure à 28 m.
III	- Bâtiments dont la résistance aux séismes est importante compte tenu des conséquences d'un effondrement, par exemple : écoles, salles de réunion.
IV	- Bâtiments dont l'intégrité en cas de séisme est d'importance vitale pour la protection civile : hôpitaux, casernes de pompiers, centrales électriques.

II.2.10.3. Classification des ouvrages selon L'UBC 97 :

Tableau II.17 : classification des ouvrages selon L'UBC 97

catégorie d'occupation	Occupation ou fonctions de structure	Facteur d'importance sismique, I	Facteur d'importance sismique, Ip
1.	Ouvrages essentielles Groupe I, Division 1 Occupations ayant zones de chirurgie et de traitement d'urgence – station d'incendie et de police . – Garages et abris pour véhicules d'urgence et avions d'urgence. – Structures et abris dans les centres de préparation aux situations d'urgence. – Tours de contrôle de l'aviation. – Structures et équipements des centres de communication gouvernementaux et autres les installations nécessaires pour les interventions d'urgence - Équipements de production d'énergie de secours pour Installations de catégorie 1.	1,25	1,50
2.	Ouvrages dangereuses Groupe H, divisions 1, 2, 6 et 7 Occupations et structures dans les logements ou soutenir les produits chimiques ou substances toxiques ou explosives – Structures non constructives abritant, supportant ou contenant des quantités de substances toxiques ou les substances explosives qui, si elles étaient contenues dans un bâtiment, provoqueraient bâtiment à classer dans le groupe H, division 1, 2 ou 7 occupation.	1,25	1,50
3.	Structures D'occupation Spécial Groupe A, divisions 1, 2 et 2.1 occupations – Bâtiments abritant des logements Groupe E, divisions 1 et 3 Locaux d'une certaine capacité plus de 300 étudiants . – Bâtiments abritant des logements du groupe B Locaux utilisés pour l'enseignement supérieur ou l'éducation des adultes avec une capacité supérieure à 500 étudiants.	1,00	1,00
4.	Structures D'occupation Standard Toutes les structures abritant des habitations ou ayant des fonctions non reprises dans les catégories 1, 2 ou 3 et les tours d'occupation du groupe U	1,00	1,00
5.	Autres ouvrages Groupe U Occupations à l'exception des tours	1,00	1,00

II.2.11.COMMENTAIRES :

Dans les trois règlements, les ouvrages sont classés par ordre d'importance, cette classification est représentée dans les codes Américain et européen par un coefficient d'importance; ce dernier n'apparaît pas directement dans le RPA, mais son influence intervient lors de la détermination du coefficient d'accélération de zone.

Pour l'ensemble des règlements, la catégorie de référence pour juger de l'importance d'un bâtiment est celle abritant des habitations.

A partir de là, les règlements Algérien et européen considèrent 4 catégories d'ouvrages selon leur importance, tandis que le code Américain en considère 5. La catégorie en plus considérée par ce règlement est celle relative aux équipements dangereux qui peuvent aggraver le risque par leur effondrement, en abritant des produits toxiques ou explosifs.

Ce ci traduit l'aspect «superpuissance » de cette région du monde qui abrite un nombre très important des moyens de destruction massive.

Chapitre III :

Code Algérien RPA

III.1.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.

III.2.Historique de code Algérien RPA Evolution de règles parasismique Algérienne[23] :

1955 : Aucune conception parasismique n’existait en Algérie.

Quelques bâtiments étaient construits selon les normes sismiques françaises.

1956-1980 : L’AS55 a été introduit en 1955.

La charge sismique était indiquée en tant que charge statique horizontale (charge morte x coefficient).

LePS69 a été introduit en 1969 : cependant, celui-ci n’était pas obligatoire ni appliqué aux bâtiments ordinaires.

La plupart des bâtiments étaient construits sans aucune conception parasismique.

1978 : Version préliminaire du code parasismique algérien.

- Inspirée du code américain (UBC 73/76).
- Les forces sismiques sont calculées à l’aide de la méthode statique équivalente.

1981 : Edition de la première version du code parasismique algérien (RPA 81).

Après le séisme d’El Asnam (M 7,2 / 10 octobre 1980) et mise en application par arrêté en parallèle avec le “ PS-69 + compléments

1983: RPA – 81 (version 83) exclusivement.

1984: Evaluation du RPA –81 (version 83) à la suite des résultats des études de Micro zonage de Chlef.

1988: Révision du RPA – 81 (version 83) Réaménagement du document.

1999 : Seconde révision du code.

Chapitre III: Code Algérien RPA

- Modifications dans la méthode statique équivalente.
- Meilleure explicitation de la méthode dynamique :(méthode modale spectrale).
- Chapitres « Matériaux » et « Fondations » individualisés.
- Version plus complète et mieux lisible.

2003 : Troisième révision suite au séisme de Boumerdes (M 6,8 / 21 mai 2003).

- Nouveau zonage sismique Nouveau zonage sismique.

Zone 0 Sismicité négligeable.

Zone I Sismicité faible.

Zones II a et II b Sismicité moyenne.

Zone III Sismicité élevée.

- Modification des Valeurs du coefficient d'accélération 'A'.
- Limitation du nombre de niveaux et hauteurs pour les

Constructions contreventées par portiques en BA.

III.3.Les Principaux Points de Réflexion :

III.3.1.Critique de classification :

III.3.1.1.Classification des Sites :

Le RPA99/v2003 adopte quatre (04) catégories seulement de sites, classés en fonction des propriétés mécaniques des sols qui les constituent [12] :

Catégorie S1 (site rocheux).

Catégorie S2 (site ferme).

Catégorie S3 (site meuble).

Chapitre III: Code Algérien RPA

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 III.2) et du coefficient d'amplification dynamique D (Figure III.1).

Ce coefficient est exprimé par la relation suivante :

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

Avec :

η : facteur de correction d'amortissement (quand 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 III.1.

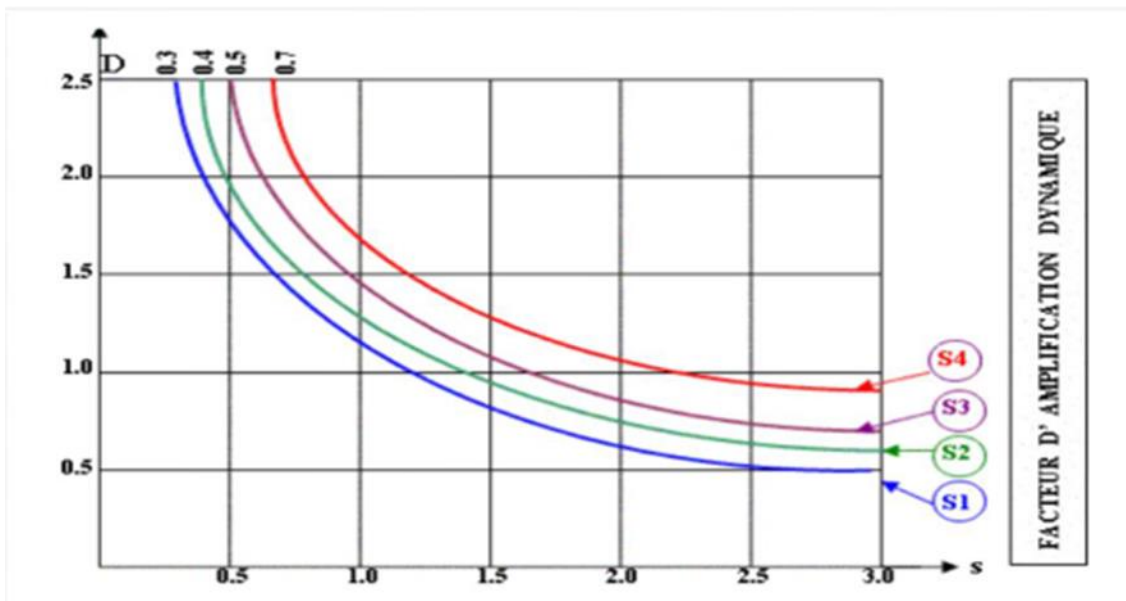


Figure III.1 : Le coefficient d'amplification dynamique D [20].

Tableau III.1 : Valeurs de $\varepsilon(\%)$ [20].

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

Tableau III .2 : Valeur de période caractéristique [20]

Site	S1	S2	S3	S4
T1 (sec)	0.15	0.15	0.15	0.15
T2 (sec)	0.30	0.40	0.5	0.70

Cependant l'eurocode8 classe les sols en Sept (07) catégories [20], les recommandations de L'eurocode8 classe 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 III.3, montre une confrontation très claire sur ces classifications.

Tableau III.3 : Comparaison de la classification des sites selon l'EC8 et RPA99/v2003 [12] [20].

Eurocode8		RPA 99/V2003	
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 a 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 10m 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

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.

III.3.2. Justification de Sécurité :

III.3.2.1. La Ductilité :

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 [20]; 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 [18].

Le RPS2000 version 2011 : divise la ductilité des structures en trois niveaux; à savoir :

Ductilité faible (ND1), ductilité moyenne (ND 2), grande ductilité (ND3) [24].

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 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 III.4: valeur de base q_0 du coefficient de comportement [20] [16].

Type de structures	DCM	DCH
Système à ossature, système a 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
Système a noyau	2,0	3,0
Système en pendule inversé	1,5	2,0

α_1 et αu sont définis comme suit :

α_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 III.5 : Facteur de comportement RPS2000 version 2011 [24]

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

III.3.2.2.La Composante verticale de l'action sismique :

Le RPA ne parle pas de la composante verticale de séisme par contre on trouve dans Le chapitre 4.3.3.5.2 de la norme NF EN 1998-1 donne les conditions suivantes pour lesquelles la composante verticale de l'action sismique doit être prise en compte (cf. Figure 1) :

Chapitre III: Code Algérien RPA

L'accélération est supérieure à 0,25g; et au moins une des conditions suivantes est satisfaite :

La structure comporte des éléments horizontaux d'une portée supérieure ou égale à 20 m.

La structure comporte des éléments horizontaux en console d'une portée supérieure ou égale à 5m.

La structure comporte des éléments horizontaux précontraints.

La structure comporte des poutres supportant des poteaux.

La structure repose sur des appuis parasismiques.

L'accélération est l'accélération de calcul du sol suivant la direction verticale. En France, cette accélération est obtenue à partir du rapport a_{vg} / a_g , dont la valeur est définie par l'arrêté du 22 octobre 2010 et est rappelée dans l'article Métalétech suivant : Synthèse de la réglementation parasismique française applicable aux bâtiments neufs à risque normal #4 – Partie IV : Définition de l'action sismique.

Les valeurs correspondantes de l'accélération a_{vg} sont données dans le Tableau 1 en fonction de la zone de sismicité et de la catégorie d'importance.

Tableau III.6 : Valeurs de l'accélération de calcul du sol dans la direction verticale.

Accélération verticale de calcul a_{vg} (m/s^2)				
Catégorie d'importance				
Zone de sismicité	I $\gamma_I = 0,8$	II $\gamma_I = 1,0$	III $\gamma_I = 1,2$	IV $\gamma_I = 1,4$
1	0,29	0,36	0,43	0,50
2	0,50	0,63	0,76	0,88
3	0,79	0,99	1,19	1,39
4	1,15	1,44	1,73	2,02
5	1,92	2,40	2,88	3,36

À partir de ces valeurs, et par application des règles précédemment exposées, les observations suivantes peuvent être faites :

Hors des Antilles, pour les zones de sismicité 1 à 4, l'accélération verticale a_{vg} est toujours inférieure à 2,5 m/s^2 : il est alors toujours possible de négliger la composante verticale de l'action sismique ; pas pour les Antilles, en zone de sismicité 5, l'accélération a_{vg} pour les bâtiments de catégorie d'importance II reste inférieure à 2,5 m/s^2 , ce qui permet là encore de ne pas considérer la composante verticale.

Pour les bâtiments courants, la composante verticale de l'action sismique n'est donc généralement à prendre en compte.

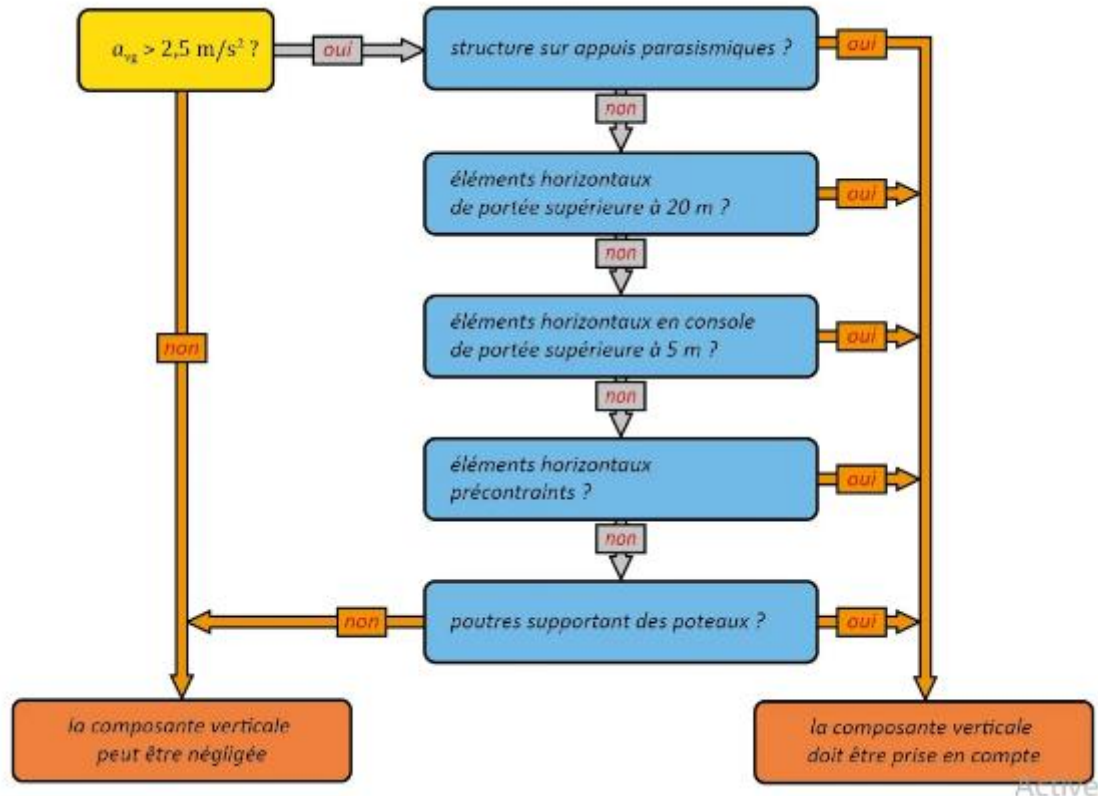


Figure III.2 : Organigramme pour la prise en compte de la composante vertical de l'action sismique.

Pierre-Olivier Martin, directeur projets de recherche, CTICM

III.3.3.La Méthode de Calcul :

Selon Le RPA, le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes:

- Méthode statique équivalente.
- Méthode d'analyse modale spectrale.
- Méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes.

Et dans le but de l'amélioration du code sismique algérien (RPA), nous avons traité certaines lacunes de ce code, en particulier celles relatives aux méthodes d'évaluation sismique.

La revue des principales méthodes d'évaluation sismique nous a permis de constater que la nouvelle procédure dite "en performance" est mieux adaptée à

Chapitre III: Code Algérien RPA

traduire le comportement non -linéaire de la structure étape par étape jusqu'à la rupture. Cela nous a poussés à proposer une méthode alternative à la méthode classique. Cette méthode qui combine la méthodologie de l'ATC 40 et du FEMA avec celle du RPA, est facilement intégrable dans les Règles Parasismiques Algériennes.

Comme le spectre du RPA présente en lui-même une anomalie tout en étant complexe, nous avons procédé à son amélioration par la correction de cette anomalie et la réduction du nombre d'équations, ce qui le rend plus performant. En outre, étant donnée sa particularité, un spectre de calcul spécifique à la province d'Alger a été proposé, l'idée pouvant être étendue à d'autres localités sensibles du pays.

Nouvelle Tendace (Méthode de conception en performance) L'utilisation d'approches plus parfaites qui prennent clairement en compte les non- linéarités des structures est devenue nécessaire.

Dans cette perspective, nous avons à choisir entre deux outils d'analyse qui diffèrent par leur complexité, leur précision et leur consommation de temps: le calcul temporel non linéaire et le calcul statique non linéaire. [19]

III.3.4.Le spectre de réponse :

III.3.4.1.Définition :

Le spectre de réponse est une interprétation graphique de la réponse maximale (en déplacement, vitesse ou accélération) d'un oscillateur simple lors si qu'il soumit à un séisme donné, en fonction de la pulsation w ou de la période T de l'oscillateur.

Exemple :

Soit le bâtiment (portiques en béton armé avec remplissages) à usage d'habitation implanté dans un site ferme situé à la commune d'Algérie

Chapitre III: Code Algérien RPA

- Pourcentage d'amortissement critique $\xi = 10\%$.
- Facteur de qualité $Q = 1$.

(Usage d'habitation groupe 2, commune de Alger Zone III) → $A = 0.25$

Portique contreventes pas des voiles $R = 4$

- $T_1 = 0,15$ s
- $T_2 = 0,5$ s (Site S3)

On fait varier la période T correspondant à plusieurs types de structures

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left(1 + \frac{T}{T_1} \left(2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{Q}{R} \right) \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta(1.25A) \left(\frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left(\frac{3}{T} \right)^{5/3} \left(\frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases}$$

Le tableau III.7 :

T	0	0.15	0.5	1.5	3
Sa/g	0.313	0.149	0.149	0.072	0.045

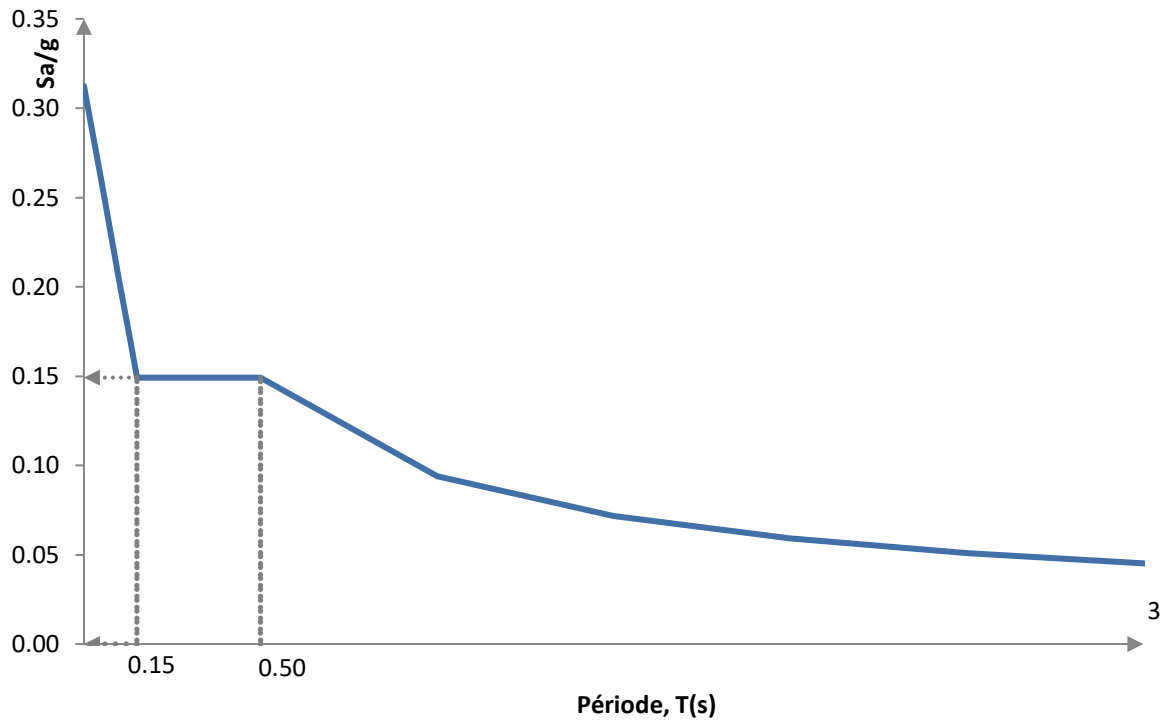


Figure III.3 : spectre de réponse spectre de RPA 99/v2003 :

La première branche du spectre de RPA est une ligne descendante alors que dans tous les spectres des autres règlements elle est ascendante.

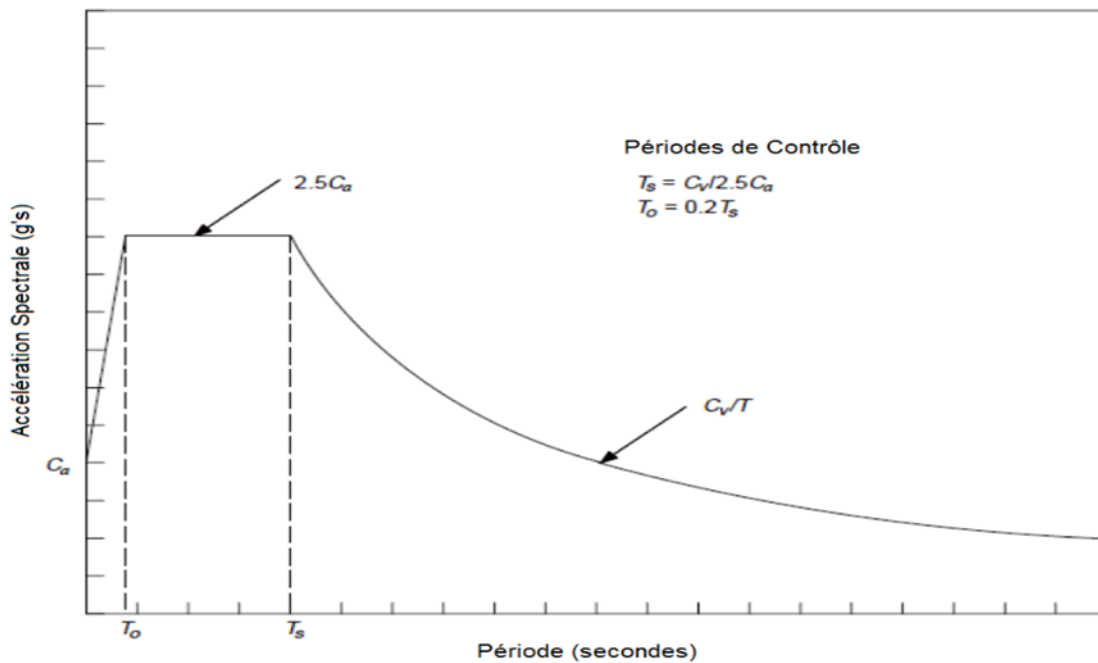


Figure III.4 : spectre de calcul de l'UBC 97.

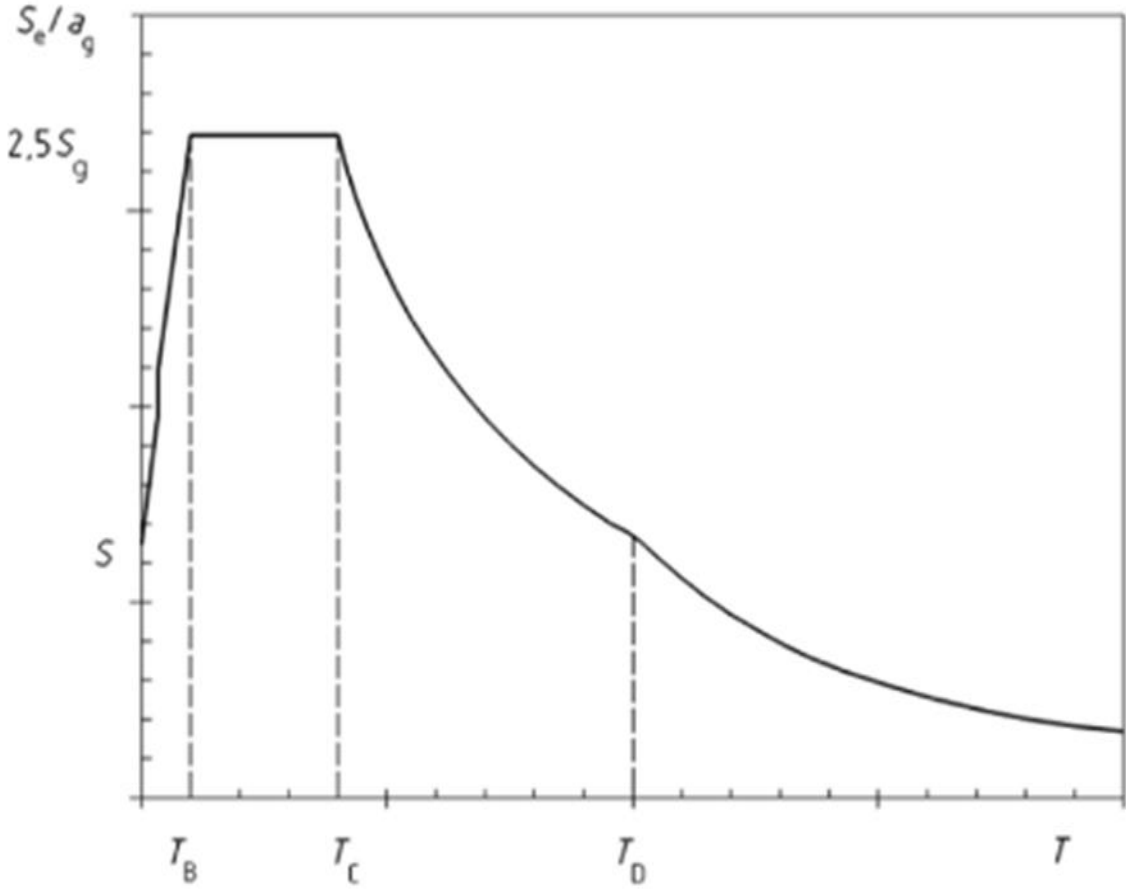


Figure III.5 : Forme du spectre de réponse élastique donné par l’Euro code 8.

Chapitre IV :

Critique et recommandations

IV.1.Introduction :

Au terme de ce chapitre, et à travers la lecture des récentes règles parasismiques Algérienne RPA99 Version 2003, comparativement à d'autres réglementations, ainsi que l'analyse de certains séismes surtout celui de Boumerdes et de Beni Ilmène, 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 critique et recommandations ci-dessous :

IV.2.Critique et recommandations :

IV.2.1.Critères de Classification des sites (Chapitre III des RPA) :

IV.2.1.1. Classification des zones sismiques :

- Ne pas citer la zone 0.
- Ajouter une zone IV spécifique à la région d'Alger (Le grand Alger) avec un coefficient de zone $A=0.5$.

Car cette zone qui a une histoire sismique tragique (elle a été pratiquement détruite par le séisme de 1716 avec un bilan tragique de 20 milles morts). Actuellement, le danger sismique est aggravé dans cette région par les particularités suivantes qu'elle présente:

- la sur population (5000000 habitas).
- la forte densité et la proximité des constructions.
- la présence de structures vitales pour le pays (Ministères, grands hôpitaux, ...).

IV.2.1.2. Classification des sites :

Le sol est le support ultime (final) de la structure et toutes les précautions au niveau de la conception ou de la réalisation ne servent à rien si le sol ne résiste pas. Il faut donc accorder une grande attention à ce facteur. Dans ce cadre, nous

Chapitre IV: Critique et recommandations

proposons de donner beaucoup plus de détail dans la classification du sol, en ajoutant une cinquième catégorie correspondant aux sols liquéfiables (comme dans l'Euro code) et nécessitant l'intervention de spécialistes (comme dans le RPS 2000 du Maroc pour les sols à conditions spéciales).

Certaines capitales du Monde ont même leur spectre de calcul propre, c'est le cas par exemple de Mexico, capitale du Mexique.

IV.2.2. Les Règles de calcul (Chapitre IV des RPA):

Le chapitre des règles de calcul est pratiquement le pivot des Règles Parasismiques Algériennes. Il faut lui accorder l'importance qu'il mérite. Malgré les améliorations qu'il a subies au cours des révisions successives, on peut noter certaines déficiences et émettre quelques propositions:

1) Le calcul de l'effort tranchant à la base est le but final de ce chapitre. Nous avons pu remarquer que les Règles Parasismiques Algériennes recommandent uniquement 3 méthodes de calcul de cet effort, à savoir la méthode statique équivalente, la méthode modale spectrale et la méthode par accélérogrammes. Toutes ces méthodes s'appuient sur la capacité (résistance) de la structure.

Une nouvelle méthode dite "conception en performance" associée à la notion de "spectre de capacité", déduite d'une "étude Push-over" la notion de "demande sismique" déduite du "spectre accélération" permettant ainsi :

- d'utiliser au mieux les capacités de la structure à dissiper l'énergie en accordance avec les règles du BAEL.
- de suivre son comportement tout au long de l'expérience sismique (formation de rotules plastiques) permettant ainsi de tracer la courbe de vulnérabilité et de déterminer le degré de dommage subi.

Nous proposons donc d'ajouter cette nouvelle conception aux trois méthodes de calcul précitées.

Chapitre IV: Critique et recommandations

Comme nous devons reconnaître que nous n'avons pas pu assimiler et comprendre cette nouvelle méthode ainsi que les notions qui lui sont rattachées (point de performance, vulnérabilité, degré de dommage, ...) dans le court délai de réalisation de notre projet de fin d'études. C'est pourquoi, nous proposons de l'intégrer comme module complet dans le cursus d'études de l'option structures.

2) Nous avons pu vérifier la pertinence de la remarque faite par certains chercheurs concernant les formules fournies par le code Algérien pour la détermination du spectre de calcul S_a/g , à savoir qu'elles sont complexes d'une part et manquent de précision d'autre part (anomalie au niveau de la 1^{ère} équation). Nous proposons leur révision afin de les rendre plus simples et plus précises.

IV.2.3. Justification de la sécurité (Chapitre V des RPA) :

La justification de la sécurité est le dernier rempart contre le risque sismique, elle a donc également son importance. Les remarques et recommandations concernant ce point peuvent être résumées comme suit:

1) Composante verticale de la force sismique (5.2 Combinaison d'actions) Dans ce paragraphe, on peut lire: "Bien qu'aucune mention n'ait été faite des effets de l'accélération verticale due aux séismes, ces effets sont inclus comme suit :

La combinaison (5-1) comprend la totalité de la charge d'exploitation ainsi que la charge sismique. Du fait que cette charge d'exploitation est tout à fait improbable, une grande partie de celle-ci (environ 40 à 60%) peut effectivement représenter l'effet des accélérations verticales des séismes.

La combinaison (5-2) tient compte de la réduction de la charge verticale qui se produira à cause des effets de l'accélération verticale" A notre humble avis, ce commentaire sous-estime l'effet de la composante verticale de la force sismique qui peut être parfois très importante comme cela a été le cas durant le séisme qui a frappé la région d'El Asnam en 1922 avec un mouvement vertical

Chapitre IV: Critique et recommandations

de 1m !. Il faut donc prendre cet effet en compte explicitement et de façon plus détaillée

2) Justifications vis-à-vis de la ductilité

La ductilité est définie par les RPA (Chap. I, §1.5) comme étant la "Capacité d'un matériau, d'une section, d'un élément ou d'une structure de subir avant rupture des déformations irréversibles sans perte significative de résistance sous sollicitations alternées". Elle est donc d'une importance vitale pour la structure. Pourtant, cette importance n'apparaît pas bien dans les recommandations des RPA qui restent vagues et imprécises sur ce sujet comme on peut le constater en lisant ceci (2.5.5. Ductilité): " La structure et ses éléments doivent avoir une ductilité suffisante pour pouvoir dissiper une grande part de l'énergie induite par le mouvement sismique et conserver leur résistance de calcul sous déformations imposées..." "Nous proposons donc de bien définir les niveaux de ductilité pour chaque type de structure avec les valeurs correspondant à chaque niveau, ceci d'une part.

D'autre part, les derniers séismes, notamment celui de Boumerdes, ont mis en évidence la grande importance des joints dans la construction et leur responsabilité dans les dégâts. Nous recommandons ainsi de se pencher sur la question du soin apporté à ces joints notamment par une meilleure prise en charge de la question du confinement du béton au niveau de ces joints. Il a été démontré, d'ailleurs, que le mauvais confinement est la cause principale de la perte de ductilité et par conséquent de la capacité d'absorption d'énergie.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'expérience Algérienne dans le domaine de la Protection sismique a commencé après le tremblement de terre majeur d'El-Asnam du 10 Octobre 1980 qui a entraîné la mort de plus de 3000 personnes ; suite auquel la première version des Règles Parasismiques algériennes, RPA 81 qui est entrée en vigueur en 1981 et qui ne cesse d'être révisée et actualisée (1983, 1988, 1999 et 2003) afin d'être plus réaliste et répondre aux nouvelles exigences, reste toujours insuffisante au vu des constatations faites durant tous les séismes qui ont frappés le pays.

Cette réalité doit être prise en compte par la révision et l'actualisation de cette réglementation parasismique en vue de son amélioration afin 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.

Le projet de fin d'études de Master, qui est essentiellement destiné à une initiation à la recherche, nous a permis de nous pencher sur la question par une lecture attentionnée des Règles Parasismiques Algériennes (RPA, version 2003) accompagnée d'une comparaison avec des codes sismiques étrangers bien connus (Euro code, UBC, ...) concernant certains points essentiels du règlement tels que les Critères de Classification des sites, le Zonage sismique, les Règles de calcul et la Justification de la sécurité. Cela nous a permis de présenter certaines remarques et recommandations que nous estimons profitables à l'amélioration du présent code. Présentons ici pourraient être bénéfiques puisqu'elles sont basées sur les leçons tirées des derniers événements sismiques (Boumerdes en 2003, Béni Ilmane en 2010, ...) et du progrès de la recherche scientifique dans le domaine génie parasismique.

Références bibliographiques :

- [1] AMOURI Chahinez (2005), Mémoire de magister en génie civil, Construction des spectres de réponse pour la région de Constantine, Université Mentouri de Constantine.
- [2] M. TERRIER (Décembre 2006) avec la collaboration de G. BERTRAND et A. ROULLE, Document d'information sur le risque sismique à destination des medias.
- [3] CHABOU Moulley Charaf, Sciences de la Terre et de l'Univers, module de nature des enveloppes terrestres, Université de Sétif.
- [4] BENLAALA Nawel (2010), Mémoire de magister en génie civil, Influence de l'interaction sol structure sur la réponse sismique des bâtiments, Université Mohamed Khider de Biskra.
- [5] HASSANI Karim (2013), Mémoire de magister en génie civil, Effet des séismes proches et lointains sur la performance sismique des structures auto-stable en béton armé, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [6] Les séismes (Juin 2004), risques naturels majeurs, le ministère de l'Écologie et du Développement durable.
- [7] Kassoul A., Ezziane K., Kadri A., Nouveau pourcentage d'armature pour la condition de ductilité dans les poutres, Revue française de génie civil, Vol. 8, N° 7, 769-791, 2004
- [8] Melle. KACIMI Nacéra, Analyse numérique d'une structure auto stable et d'une structure mixte (portiques + voiles), Mémoire de Magister, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU, 2013.
- [9] Étudiants : Célia TERKI Andréa JULIER Ingrid FIQUET Christopher WINGEL Victor SAVIGNY Maxime NUTTE Projet de Physique P6 STPI/P6/2015-16 Etude des mouvements d'une structure lors d'un séisme.

- [10] Drouna karima, Evaluation des performances parasismiques des portiques.
- [11] DAVIDOVICI (V.) La conception parasismique commence dès le choix de la forme des bâtiments. Les cahiers techniques du bâtiment, mars 1988.
- [12] RPA-99/v2003. Règles parasismiques Algériennes 1999 - Version 2003. DTR-BC 248 - CGS, Alger, 2003.
- [13] BOUSSÂ Leila, EFFET DE CONFORTMENT SUR LES STRUCTURES EN BETON ARME, Mémoire de Magister, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES, 2012
- [14] Dorca L., Influence des diaphragmes semi-rigides sur le comportement sismique des bâtiments courants, Mémoire de fin d'études d'ingénieur de Polytech 'Clermont Ferrand, 2007.
- [15] Centre De Recherche En Astronomie Astrophysique Et Géophysique(CRAAG) ,Bouzareah Alger Algérie , Disponible sur (<http://www.craag.dz>), (consulté le 10/03/2018)
- [16] KASSOUL Amar, Yousfi Mahfoud, BOUKORSI Elarbi et ELKHEIRI Nour eddine,(2013), Comparaison des normes euro code 8 (EC8) et les règles parasismiques algériennes rpa99/v2003, Laboratoire de Structures, Géotechnique et Risques (LSGR),Université Hassiba Benbou ali de Chlef ,Algérie.
- [17] KASSOUL Amar, 2015, Vulnérabilité et Réhabilitation des Structures, 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
- [18] 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.

[19] BERRA Ibrahim , these doct , Méthode Simplifiée d'Analyse Sismique en Performance Intégrable dans les Règles Parasismiques Algériennes université de m'sila

[20]Ec8 (2004) Eurocode 8: conception de structures pour leur résistance aux séismes Partie 1: règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments, norme européenne. Comité européen de normalisation, Comité européen pour Secrétariat de normalisation Central, rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles

[21]UBC(1997) Uniform Building Code, Conférence internationale des responsables du bâtiment. Whittier, Californie, États-Unis.

[22]SELMA, Djellouli. ETUDE COMPARATIVE DE L'ÉVALUATION DES DOMMAGES SISMIQUE POUR UNE STRUCTURE PORTIQUE EN BA ET UNE STRUCTURE MIXTE (PORTIQUES+ VOILES). 2019. Thèse de master. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.

[23]Agence Japonaise de coopération internationale (jica) ministère de l'habitat et de l'urbanisme centre national de recherche Appliquée en Génie parasismique étude de microzonage sismique de la wilaya d'Alger république Algérienne démocratique et populaire

[24] 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.