

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL



FILIERE : GÉNIE CIVIL
OPTION : STRUCTURE

N° :.....

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

Par : KHODJA Smail

TORKI Dinar

Intitulé

**COMPARAISON DU CODE RPA AVEC DES
CODES ÉTRANGERS (FOCALISÉE SUR
CERTAINS POINTS IMPORTANTS)**

Soutenu devant le jury composé de :

Dr. TITOU MESSAOUD	Université de M'sila	Président
Dr. SILINE MOHAMMED	Université de M'sila	Examineur
Dr. BOULAOUAD ABDERRACHID	Université de M'sila	Encadreur

Année universitaire : 2020 / 2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENT

Tout d'abord, Nous remercions Dieu clément et Miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous exprimons toutes nos profondes reconnaissances à Mr. BOULAOUAD Abderrachid, Docteur à l'Université de Mohamed Boudiaf – M'sila, pour sa patience et sa coopération le long de cette période et les conseils pertinents apportés durant la réalisation de ce mémoire, ainsi que pour son intérêt et sa grande disponibilité.

Nos remerciements s'adressent aux membres de jury qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

Nous remercions aussi nos parents, nos grandes familles, ainsi nos amis pour leurs soutien et leurs encouragements.

Toute notre gratitude va à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation.

Merci à tous

DÉDICACES

Toute notre gratitude et remerciement vont à dieu le tout puissant qui nous a donné la force, la patience, le courage et la volonté pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je dédie à :

A mes très chers parents.

A ma femme BOUDISSA Ouahiba,

A mes chers enfants (Issameddine, Ahmed Firas, Moncef, Mahdi et Abdessalem)

A mes sœurs (Nabaouia, Souad et Hadjer)

A tous les amis que j'aime et qui m'aiment ;

Je vous dédie ce mémoire.

Merci pour votre Amour et votre Soutien

KHODJA Smail...

DÉDICACES

Toute notre gratitude et remerciement vont à dieu le tout puissant qui nous a donné la force, la patience, le courage et la volonté pour arriver à ce stade afin de réaliser ce travail que je dédie à :

A la mémoire de mon père.

A ma mère,

A ma femme,

A notre encadreur monsieur BOULAOUAD Abderrachid,

A toute ma chère famille ;

Je vous dédie ce mémoire.

Merci pour votre Amour et votre Soutien

TROKI Dinar...

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	I
LISTE DES FIGURES	IV
LISTE DES TABLEAUX	VI
RÉSUMÉ	VII
ABSTRACT	VII
ملخص	VII
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1

CHAPITRE I : NOTIONS PRÉLIMINAIRES À LA SISMOLOGIE

I.1. INTRODUCTION.....	3
I.2. L'ORIGINE DES SÉISMES.....	4
I.3. LES ONDES SISMIQUES.....	5
I.3.1. Les ondes de volume	5
I.3.2. Les ondes de surface.....	6
I.4. LE MICRO ZONAGE.....	7
I.4.1. LE MICRO ZONAGE SISMIQUE.....	7
I.4.2. LE RESEAU ALGERIEN DE SURVEILLANCE ET D'ALERTE SISMIQUE.....	7
I.4.3. HISTORIQUE DE LA SISMICITE EN ALGERIE.....	8
I.4.4. ACTIVITÉ SISMIQUE.....	9
I.5. CONCLUSION	10

CHAPITRE II : NOTIONS DE REGLEMENTATIONS PARASISMIQUES

II.1. INTRODUCTION.....	11
II.2. NECESSITE DES REGLEMENTS PARASISMIQUES.....	11
II.3. CONTENU DES CODES PARASISMIQUES.	12
II.4. LA CONSTRUCTION PARASISMIQUE	12
II.5. LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE DANS LE MONDE.....	13
II.6. PRÉSENTATION DES CODES PARASISMIQUE.....	14
II.6.1. LES REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES	14
II.6.1.1. EVOLUTION DE RÈGLES PARASISMIQUE ALGÉRIEN (RPA)	14
II.6.1.2. OBJECTIFS DE RPA 99 VERSION 2003	15
II.6.1.3. DOMAINE D'APPLICATION	15
II.6.1.4. CONDITIONS D'APPLICATION	15

II.6.2. LES REGLES PARASISMIQUES EUROCODE 8	16
II.6.2.1. EVOLUTION DE RÈGLES PARASISMIQUE ALGÉRIEN (RPA)	16
II.6.3. CODE AMERICAN UNIFORM BUILDING CODE (UBC97).....	17
II.6.3.1. HISTOIRE D'UNIFORM BUILDING CODE (UBC).....	17
II.7. CONCLUSION	18

CHAPITRE III : COMPARAISON DES REGLES PARASISMIQUES

III.1. INTRODUCTION.....	19
III.2. COMPARAISON DU RPA99/V2003 AVEC L'EC8 ET L'UBC 97	19
III.2.1. COMPARAISON DE LA CLASSIFICATION DES SOLS	19
III.2.1.1. CLASSIFICATION DES SOLS SELON RPA99/V2003	19
III.2.1.2. CLASSIFICATION DES SOLS SELON EUROCODE 8	20
III.2.1.3. CLASSIFICATION DES SOLS SELON L'UBC 97	21
III.2.1.4. COMMENTAIRES.....	21
III.2.2. COMPARAISON DES ZONES SISMIQUES	23
III.2.2.1. CLASSIFICATION DES ZONES SISMIQUES SELON RPA99/V2003	23
III.2.2.2. CLASSIFICATION DES ZONES SISMIQUES SELON EUROCODE 8	23
III.2.2.3. CLASSIFICATION DES ZONES SISMIQUES SELON L'UBC 97	24
III.2.2.4. COMMENTAIRES.....	25
III.2.3. COMPARAISON DES SPECTRES DE REPONSE.....	26
III.2.3.1. SPECTRE DE REPONSE DE CALCUL DU RPA 99 VERSION 2003.....	26
III.2.3.2. SPECTRE DE REPONSE DE L'EUROCODE 8.....	28
III.2.3.2.1. Spectre de réponse élastique horizontal (EN 1998-1 Art. 3.2.2).....	28
III.2.3.2.2. Spectre de réponse élastique vertical	29
III.2.3.2.3. Spectre de calcul pour l'analyse élastique.....	29
III.2.3.3. SPECTRE DE REPONSE DE L'UBC 97	30
III.2.3.4. COMMENTAIRES.....	32
III.2.4. CLASSIFICATION DES OUVRAGES SELON LEUR IMPORTANCE.....	33
III.2.4.1. CLASSIFICATION SELON RPA 99 VERSION 2003	33
III.2.4.2. CLASSIFICATION SELON L'EUROCODE 8	33
III.2.4.3. CLASSIFICATION SELON L'UBC 97.....	34
III.2.4.4. COMMENTAIRES.....	35
III.2.5. Classification des batiments selon leur configuration geometrique.....	35
III.2.5.1. SELON RPA	35
III.2.5.1.1. Régularité en plan selon le RPA	35
III.2.5.1.2. Régularité en élévation selon le RPA.....	36

III.2.5.2. SELON EUROCODE 8	37
III.2.5.2.1. Critères de régularité en plan pour l'EC8.....	37
III.2.5.2.2. Critères de régularité en élévation pour l'EC8.....	38
III.2.5.3. SELON UBC.....	40
III.2.5.3.1. Irrégularités en plan selon l'UBC.....	40
III.2.5.3.2. Irrégularités en élévation selon l'UBC.....	41
III.2.5.4. COMMENTAIRES.....	42
III.2.6. METHODES DE CALCUL SISMIQUE.....	43
III.2.6.1. presentation des differentes methodes d'estimation des forces sismiques.....	43
III.2.6.2. ACTIONS SISMIQUES	44
III.2.6.2.1. Calcul de la force sismique totale selon RPA99/v2003	44
III.2.6.2.1.1. Distribution de la résultante des forces selon la hauteur.....	45
III.2.6.2.1.2. Distribution horizontale des forces sismiques.....	46
III.2.6.2.2. Calcul de la force sismique totale selon l'Eurocode 8	46
III.2.6.2.2.1. Effort tranchant à la base de la structure	46
III.2.6.2.2.2. Distribution des forces sismiques horizontales	47
III.2.6.2.3. Calcul de la force sismique totale selon l'UBC 97	47
III.2.6.2.3.1. Distribution des forces sismiques verticales	48
III.2.6.2.3.2. Distribution des forces sismiques horizontales	49
III.2.6.2.4. Comparaison les actions sismique.....	49
III.2.6.2.4.1. méthodes de calcul de l'effort tranchant à la base	49
III.2.6.2.4.2. Distribution des forces sismiques.....	50
III.2.6.3. COMMENTAIRES.....	51
III.3. CONCLUSION	53

CHAPITRE IV : PRINCIPES ET TECHNIQUES DE L'ISOLATION SISMIQUE

IV.1. INTRODUCTION	54
IV.2. NOTIONS SUR LES REGLEMENTS DE CONCEPTIONS EN ALGERIE	55
IV.2.1. Charges permanentes et charges d'exploitation (DTR-BC 2.2)	55
IV.2.2. Règles parasismiques Algériennes " R.P.A 99 / version 2003" (DTR-BC 2.48).....	55
IV.2.3. Les règles de conception et de calcul des structures en béton arme	56
IV.2.4. Règle de conception et de calcul des structures en acier "CCM 97": (DTR-BC 2.44).....	56
IV.2.5. Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton	56
IV.2.6. Les règles de conception et de calcul des parois et murs en béton banché.....	56
IV.2.7. Règles de calcul des fondations superficielles.....	57
IV.2.8. Dénomination provisoire des sols et des roches	57

IV.2.9. Recommandations techniques pour la réparation et le renforcement des ouvrages.....	56
IV.3. TECHNIQUES DE L'ISOLATION SISMIQUE	57
IV.3.1. HISTORIQUE DE L'ISOLATION SISMIQUE	57
IV.3.2. OBJECTIFS DE L'ISOLATION PARASISMIQUE	61
IV.3.3. PRINCIPE DE BASE DE L'ISOLATION SISMIQUE A LA BASE.....	61
IV.3.4. LES DIFFÉRENTS TYPES DES APPUIS PARASISMIQUES	62
IV.3.4.1. APPUI A BASE D'ÉLASTOMÈRE	62
IV.3.4.1.1. Appui en élastomère à faible amortissement	63
IV.3.4.1.2. Appui en élastomère à amortissement élevé	63
IV.3.4.1.3. Appui en élastomère au noyau de plomb.....	64
IV.3.4.2. APPUIS DE PENDULE A FRICTION	65
IV.3.5. CONFIGURATION DE L'ISOLATION SISMIQUE	66
IV.3.6. AMORTISSEURS	67
IV.3.6.1. AMORTISSEUR A FROTTEMENT	67
IV.3.6.2. AMORTISSEURS VISQUEUX.....	68
IV.3.7. LES REGLES DE CONCEPTION DES APPUIS	68
IV.3.8. INSTALLATION DE L'ISOLATEUR SISMIQUE	69
IV.3.8.1. INSTALLATION DE L'ISOLATEUR SISMIQUE	69
IV.4. CONCLUSION	70
CONCLUSION GENERALE	58
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	59

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1 Séisme du 21 Mai 2003, Wilaya de Boumerdes.....	4
Figure I.2 Naissance du séisme.....	5
Figure I.3 Les ondes sismiques.....	6
Figure I.4 La carte du réseau algérien de surveillance et d'alerte sismique.....	8
Figure I.5 La carte de sismicité de l'Algérie du Nord.....	9

CHAPITRE III

Figure III.1 La carte de micro zonage d'Algérie.....	23
Figure III.2 La carte de micro zonage de la France.....	24
Figure III.3 La carte des zones sismiques d'Etats-Unis d'Amérique.....	25
Figure III.4 Graphique indicatif de la méthode de détermination du spectre de réponse.....	26
Figure III.5 Spectre de réponse élastique normalisé pour les 4 types de sites.....	27
Figure III.6 Forme du spectre de réponse élastique donné par l'Eurocode.....	28
Figure III.7 Spectre de calcul de l'UBC 97.....	30
Figure III.8 Limites des décrochements en plan selon RPA.....	36
Figure III.9 Limites des décrochements en élévation selon RPA.....	36
Figure III.10 Critères de régularité en plan selon Eurocode8.....	37
Figure III.11(a-b) Critères de régularité en plan selon Eurocode8.....	39
Figure III.11(c-d) Critères de régularité en élévation pour l'EC8.....	40
Figure III.12 Critères de régularité en plan selon UBC.....	41
Figure III.13 Distribution de la résultante des forces sur les différents niveaux.....	45

CHAPITRE IV

Figure IV.1 Musée national d'art occidental (Japon).....	58
Figure IV.2 Hôpital Gervasutta à Udine (Italie).....	58
Figure IV.3 Bâtiment outdoor bench (USA).....	58
Figure IV.4 Gratte-ciels. (Chine).....	59
Figure IV.5 Hôpital Pierre Zobda-Quitman sur appuis parasismique. (France).....	59
Figure IV.6 Immeuble william clayton wellington (Nouvelle Zélande).....	60
Figure IV.7 Le Grand mosquée d'Alger. (Algérie).....	60
Figure IV.8 Effets d'une secousse sismique sur un bâtiment avec et sans isolation à la base.....	61

LISTE DES FIGURES

Figure IV.9 Effets d'une secousse sismique sur un bâtiment avec et sans isolation à la base.....	62
Figure IV.10 Appuis en élastomère à amortissement faible.....	63
Figure IV.11 (a) Appui en élastomère à amortissement élevé, (b) la coupe de section de l'appui	63
Figure IV.12 Appui en élastomère : (a) au repos, (b) la déformé de l'isolateur	64
Figure IV.13 Appui en élastomère au noyau de plomb.....	64
Figure IV.14-a Appui de pendule à friction	65
Figure IV.14-b Appui de pendule à friction avec doubles surfaces concaves.....	65
Figure IV.15 Les différentes déformations de l'appui de pendule à friction.....	66
Figure IV.16 Possibilités de dispositions des « isolateurs » dans le cas d'un vide-sanitaire ou d'un sous-sol..	66
Figure IV.17 (a) Amortisseur à frottement, (b) différente méthode de mise en oeuvre.....	67
Figure IV.18 Système de contreventement avec amortisseurs visqueux dans un bâtiment	68
Figure IV.19 Installation de l'isolateur dans un bâtiment	69

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE III

Tableaux III.1	Classification des sites selon RPA99/v2003.....	20
Tableaux III.2	Classification des sites selon l'Eurocode 8.....	20
Tableaux III.3	Classification des sites selon l'UBC 97	21
Tableaux III.4	Comparaison de la classification des sites Entre RPA99/v2003, l'EC8 et UBC 97.....	21
Tableaux III.5	Classification des zones sismiques RPA99/V2003	23
Tableaux III.6	Classification des zones sismiques sites Selon l'EC8.....	24
Tableaux III.7	La classification des zones sismiques UBC 97	24
Tableaux III.8	Comparaison des zones sismiques pour l'RPA99/v2003, l'EC8 et UBC 97.....	25
Tableaux III.9	Coefficient d'accélération de zone A.....	27
Tableaux III.10	Type de site en fonction des périodes de transition.....	27
Tableaux III.11	Valeurs des paramètres les spectres de réponses élastique recommandés de type 1	28
Tableaux III.12	Valeurs des paramètres les spectres de réponses élastique recommandés de type 2.....	28
Tableaux III.13	Valeurs recommandées des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique verticale	29
Tableaux III.14	Valeurs de coefficient sismique C_a selon l'UBC 1997	31
Tableaux III.15	Valeurs de coefficient sismique C_v selon l'UBC 1997.....	31
Tableaux III.16	Comparaison des spectres de calcul du RPA99/v2003 l'EC8 et UBC 97.....	32
Tableaux III.17	Classification des ouvrages selon le RPA 99/v2003	33
Tableaux III.18	Classification des ouvrages selon l'EC8	33
Tableaux III.19	Classification des ouvrages selon l'UBC 1997	34
Tableaux III.20	Types d'irrégularité en plan selon l'UBC	40
Tableaux III.21	Types d'irrégularité en élévation selon l'UBC	41
Tableaux III.22	Comparaison des Méthodes de calcul de la force sismique.....	43
Tableaux III.23	Comparaison des expressions des forces sismiques	49
Tableaux III.24	Distribution des forces sismiques.....	50
Tableaux III.25	Différentes formules proposées par le code UBC pour le calcul de l'effort sismique total à la base d'une structure.....	52

RÉSUMÉ

Ce projet concerne une étude comparative entre les règles parasismiques algériennes (RPA99/v2003), la norme européenne l'Eurocode8 (EC8) et la norme américaine l'Uniform Building Code (UBC97) selon les paramètres sismiques, classification des sols, les zones de sismicité, spectre de réponse, l'importance des ouvrages, la configuration des bâtiments et les méthodes de calcul sismique et la justification de la sécurité. Ce mémoire a permis d'établir une comparaison sur les différentes directives des trois codes d'une manière générale. L'objectif de ce travail est de conclure des points de divergence et de convergence entre les trois codes dans différentes instructions de calcul.

Mots clés : Comparaison - Séismes - Règles parasismiques - RPA99/v2003 - Eurocode8 - UBC97.

ABSTRACT

This project concerns a comparative study between the Algerian seismic rules (RPA99/v2003), the European standard Eurocode8 (EC8) and the American standard the Uniform Building Code (UBC97) according to the seismic parameters, classification of soils, areas of seismicity, response spectrum, the importance of structures, building configuration and seismic calculation methods and safety justification. This brief allowed for a comparison of the different directives of the two codes in general. The aim of this work is to deduce the convergence or differences among the three bases in earthquake studies to propose instructions and rules to be undertaken in such seismic calculation.

Keywords: comparison study - earthquake - seismic bases - Algerian seismic code 2003 - European standard Eurocode 8 - American standard code 97.

ملخص

هذا المشروع هو عبارة عن دراسة مقارنة بين القوانين الجزائرية المضادة للزلازل، المعيار الأوروبي أورو كود 8 والمعيار الأمريكي كود البناء الموحد. على حسب للمعايير الزلزالية، تصنيف التربة، مناطق الزلازل، طيف الاستجابة، أهمية الهياكل، تكوين بناء طرق الحساب الزلزالية وتأكيد الأمن. هذه المذكرة تسمح بإجراء مقارنة لمختلف التوجهات للمستندين بصفة عامة. الهدف من هذا العمل هو استنتاج نقاط التباعد والتقارب بين القواعد الثلاثة في تعليمات حسابية مختلفة.

الكلمات المفتاحية : مقارنة - الزلازل - القواعد الزلزالية - القواعد الزلزالية الجزائرية 2003 - معيار الأوروبي اوروكود 8 - معيار الأمريكي 97.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Un séisme ou un tremblement de terre se traduit en surface par des vibrations du sol. Il provient de la fracturation des roches en profondeur. Cette fracturation est due à une grande accumulation d'énergie qui se libère, en créant ou en faisant rejouer des failles, au moment où le seuil de rupture mécanique des roches est atteint.

Les séismes font partie des cataclysmes naturels qui ont exercé une grande fascination sur l'humanité. Ils sont responsable de la destruction des villes entières, la cause de la mort de millions d'hommes et souvent des conséquences économiques désastreuses pour les pays touchés. Cela pose un ultime défi aux spécialistes de génie parasismique et aux ingénieurs en génie civil de concevoir des bâtiments, des ponts des barrages capables de résister aux forces dévastatrices engendrées par les tremblements de terre. [1]

Ce pour ça dans monde il y a plusieurs des règles parasismique, 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.

La réglementation de la construction est en perpétuelle évolution. Les techniques de mesure et de calculs ainsi que les retours d'expérience accumulés au fil des siècles permettent aux concepteurs de tenter d'anticiper un grand nombre de sinistres auxquels les bâtiments sont susceptibles d'être confrontés dans leur vie. Ces sinistres peuvent être de plusieurs natures : nature des matériaux, mise en œuvre, sollicitations d'exploitation ou bien encore naturelles comme le vent ou les séismes. La réglementation présentée concerne les bâtiments à risque normal, pour lesquels les conséquences d'un séisme sont limitées à la structure même du bâtiment et à ses occupants. [2]

La réglementation parasismique Algérienne qui est entrée en vigueur depuis 1981 et qui ne cesse d'être révisée et actualisée (en 1983, en 1988, en 1999 et en 2003) afin d'être plus réaliste et répondre aux nouvelles exigences, reste toujours insuffisante au vu des constatations faites durant tous les séismes qui nous ont frappés et marqués. [3]

La version actuelle utilisée est nommée le règlement parasismique algérien RPA 99/v2003 « DTR BC 2-48» [4], et qui a été approuvé par la commission technique permanente lors de sa réunion du 4 Décembre 1999.

En Europe, il y a un règlement plus utilisable qui s'appelle Eurocode [5]. C'est une norme de conception et de calcul des bâtiments et des structures de génie civil. Elles ont pour objet d'harmoniser

les règles de conception et de calcul au sein des différents états européens – membres de l'Union Européenne (UE) et de l'association européenne de libre-échange (AELE) – et de contribuer ainsi à la création du marché unique de la construction (ouverture du marché européen aux entreprises et aux bureaux d'ingénierie) et au renforcement de la compétitivité de l'ingénierie. Elles s'appliquent aux différents matériaux (béton, acier, bois, etc.) et aux différents types de construction (bâtiments, ponts, silos, etc.).

Les Eurocodes constituent un ensemble de 58 normes regroupées en 10 groupes de normes (NF EN 1990 à NF EN 1999), l'Eurocode 8 est la partie qui traite des conceptions parasismique elle est basé sur le calcul des structures pour leur résistance aux séismes. Ce code comporte des parties qui donnent les normes qui permettent le dimensionnement parasismique des Bâtiments, Ponts, la réhabilitation des Bâtiments endommagées, les Silos, les Réservoirs, les Canalisations, les Fondations et les structures élancées comme les Tours, les Mâts et les Cheminées.

Aux États-Unis d'Amérique et quelques autres pays, les Règlements utilisables comportent L'UBC (uniforme building code), et l'IBC (international building code), ce Dernier a été développé à partir du programme national de recherche du risque sismique (NEHRP), en vue d'apporter une uniformité au code national du bâtiment des États-Unis, dans cette étude nous allons nous intéresser seulement à « l'UBC97 » [6].

L'objectif de ce mémoire c'est l'étude comparative de l'RPA99 Version 2003 [4] avec l'UBC97 [5] et l'Eurocode 8 [6] focalisée sur certains points importants, afin d'effectuer trouver les déférences et les points commun entre les trois codes et les inconvénients des codes algériennes. Pour atteindre l'objectif de ce travail, le présent mémoire est organisé en quatre chapitres comme suit :

- Le premier chapitre contient des notions préliminaires à la sismologie.
- Le deuxième chapitre contient des notions de règlementations parasismiques.
- Le troisième chapitre nous avons fait une comparaison des règles parasismiques faite entre les trois règlements l'RPA99/v 2003 [4], l'Eurocode 8 [5] et l'UBC 97 [6] focalisée sur certains points importants.
- Le quatrième chapitre nous avons abordé les règles de conception, notamment la technique d'isollements sismique à la base dans les déférents règlements en question.

Finalement une conclusion générale clôture la thèse.

Chapitre I

**NOTIONS PRÉLIMINAIRES
À LA SISMOLOGIE**

I.1. INTRODUCTION.

Les séismes font partie des catastrophes naturelles les plus dévastatrices. L'homme veut en limiter les effets afin d'éviter des conséquences désastreuses.

Le séisme est un risque naturel imprévisible qui détruit des bâtiments, des routes et des autres infrastructures. Il paralyse la fonction urbaine et cause la perte en vie humaine en l'espace d'un temps très court. Bien qu'il soit virtuellement impossible de prédire le temps exact où se produira cette catastrophe, il est possible de déterminer la probabilité relative de l'occurrence d'un séisme. Il est donc essentiel de se préparer au risque si l'on est dans une zone sismique comme l'Algérie ou le Japon.

Pour réduire le risque sismique, il est très important de se faire des images réalistes sur cet aléa de manière à mieux se préparer à l'avance et à se comporter correctement en cas de séisme.

Consciente des conséquences éventuelles du risque sismique, la population pourrait être conduite à une bonne prévention contre ce risque.

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

La protection parasismique des bâtiments constitue une prévention efficace contre les effets des tremblements de terre, car plus de 90% des pertes en vies humaines sont dues à l'effondrement des ouvrages [7]. C'est pourquoi les ingénieurs et les architectes ont donnés les principes d'une bonne conception parasismique à l'aide de différents exemples tirés des leçons des séismes passés.

Alors que le 20ème siècle a vu un gigantesque progrès dans l'avancement de la science et du développement technologique, économique et social, mais ce progrès n'a pas été réalisé dans la réduction du nombre de pertes en vies humaines et économiques et de telles catastrophes sont dues à la croissance rapide de la population, à une urbanisation rapide et anarchique, et à une dégradation de l'environnement. Il apparaît actuellement que les catastrophes deviennent de plus en plus nombreuses, plus diversifiées et complexes devant une société qui est de plus en plus vulnérable.

Le début du 21ème siècle est en train d'être marqué par une accélération des risques majeurs liés aux catastrophes « naturelles » telles que les séismes. Ceci constitue le plus grand défi aujourd'hui pour les scientifiques et les pouvoirs publics. Les fréquences des séismes, de par le monde ces derniers temps, interpellent les décideurs en premier lieu et la communauté scientifique en second lieu vers une attention particulière orientée sur les études liées non seulement aux structures des ouvrages d'art et des bâtiments mais aussi à la planification et l'organisation spatiale de la ville liant aux risques sismiques.

Tenant compte que la problématique liée au risque sismique est d'autant plus cruciale qu'il est nécessaire, voir primordial pour nous scientifiques de définir quelles sont les outils ou les méthodes à

donner aux différents intervenants dans l'acte de concevoir ou de réaliser la ville à savoir les architectes, les urbanistes, les aménageurs, les ingénieurs et les pouvoirs publics afin de pouvoir insérer la problématique du risque sismique dans tous les domaines liés à la planification et la gestion de la ville.



Figure I.1 : Séisme du 21 Mai 2003, Wilaya de Boumerdes.

I.2. L'ORIGINE DES SÉISMES.

Dont le principe est connu depuis la seconde moitié du Xe Siècle, La plupart des séismes d'origine naturelle sont dus à des mouvements tectoniques qui correspondent à des ruptures de roches dans les zones de faille. Les autres séismes d'origine naturelle sont liés à l'activité volcanique.

La lithosphère (croûte et manteau supérieur) est morcelée en plusieurs fragments, appelés plaques, qui constituent la surface terrestre. En raison des mouvements de convection au sein du manteau, ces plaques sont mobiles les unes par rapport aux autres, avec des vitesses de quelques centimètres par an.

La majorité des séismes se produisent dans la croûte terrestre, à moins de 15-20 km de profondeur. Les séismes plus profonds sont localisés dans des zones étroites, bien connues. Ils peuvent provoquer des dégâts s'ils sont de forte magnitude.

On classe généralement les séismes en trois catégories suivant leur profondeur :

- les séismes superficiels : 0 – 33 km ;
- les séismes intermédiaires : 33 – 70 km ;
- les séismes profonds : > 70 km, les hypocentres peuvent atteindre 700 km dans certaines zones de subduction (îles Fidji, Colombie).

Les mouvements des plaques peuvent être divergents (extension), convergents (compression) ou en coulissage (cisaillement). Environ 90% des séismes sont localisés au Voisinage des limites de ces plaques.

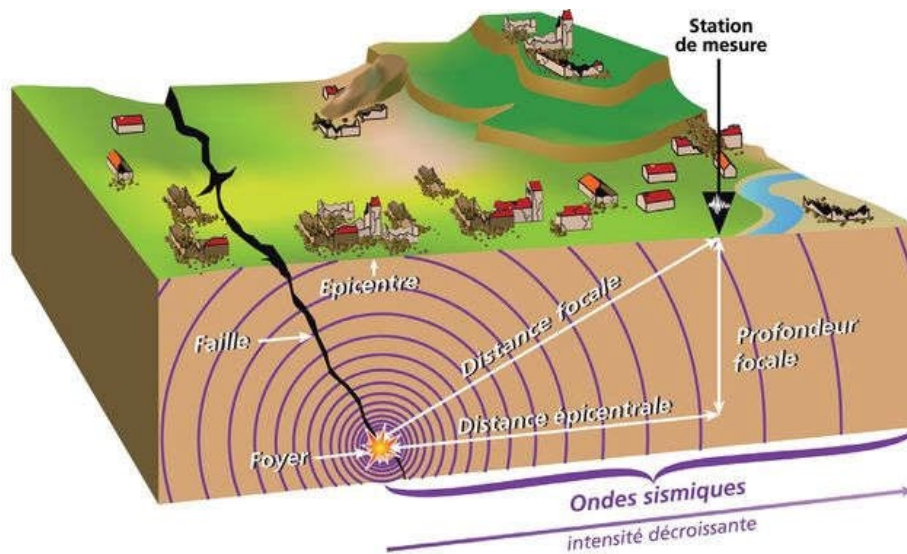


Figure I.2 : Naissance du séisme.

I.3. LES ONDES SISMIQUES.

Les ondes sismiques sont des ondes élastiques. L'onde peut traverser un milieu sans modifier durablement ce milieu. L'impulsion de départ va "pousser" des particules Élémentaires, qui vont "pousser" d'autres particules et reprendre leur place et ainsi de suite.

Les différents types d'ondes sismiques.

I.3.1. Les ondes de volume.

Elles se propagent à l'intérieur du globe suivant des lois proches de celles de l'optique géométrique. Lorsqu'elles se réfléchissent sur des surfaces de discontinuité (et notamment sur la surface du globe), elles interfèrent et génèrent des "ondes de surfaces". Leur vitesse de propagation dépend du matériau traversé et d'une manière générale elle augmente avec la profondeur. Deux types d'ondes se distinguent:

- **Les ondes P** (pour primaires) sont dites de compression ou longitudinales, car le substrat se contracte puis se dilate à leur passage dans le sens de leur déplacement. Elles correspondent aux premiers signaux enregistrés par les sismographes, car ce sont les ondes les plus rapides.
- **Les ondes S** (pour secondaires) sont dites de cisaillement ou transversales, car le substrat se déplace perpendiculairement à la direction de l'onde lorsque celle-ci le traverse. Par ailleurs, elles ne se propagent pas dans les milieux liquides, ce qui signifie qu'elles disparaissent en

pénétrant dans le noyau terrestre externe. Le qualificatif « secondaire » vient du fait qu'elles apparaissent après les ondes P sur les sismogrammes.

La différence de vitesse des ondes P et S explique la différence des temps d'arrivée des ondes P et S. On peut, connaissant leur vitesse, calculer la distance à l'hypocentre. [8]

I.3.2. Les ondes de surface.

Ce sont des ondes guidées par la surface de la terre. Elles sont moins rapides que les ondes de volume mais leur amplitude est généralement plus forte et elles concentrent le maximum d'énergie.

- **Les ondes de Love :** Elle se propage seulement dans les solides non homogènes. C'est une onde transversale polarisée dans le plan horizontal. Le déplacement est essentiellement le même que celui des ondes S mais sans mouvement vertical. Les ondes de Love provoquent donc un ébranlement horizontal, cause de nombreux dégâts par cisaillement des fondations des édifices.
- **L'onde de Rayleigh :** Elle se propage au voisinage de la surface de milieux homogènes et non homogènes. Elle résulte d'interférences entre les composantes verticales des ondes P et S. Comme le montre le schéma, on peut l'enregistrer sur les trois composantes d'un sismographe et pendant une durée qui peut aller jusqu'à plusieurs minutes.

Les ondes de Love se propagent à environ 4 km/s, elles sont plus rapides que les ondes de Rayleigh. Restant en surface, les ondes de Love et de Rayleigh n'y subissent qu'un faible amortissement, ce qui fait qu'on les reçoit avec des amplitudes très supérieures à celles des ondes de volume, et elles sont parfois encore détectables après avoir fait plusieurs fois le tour de la terre.

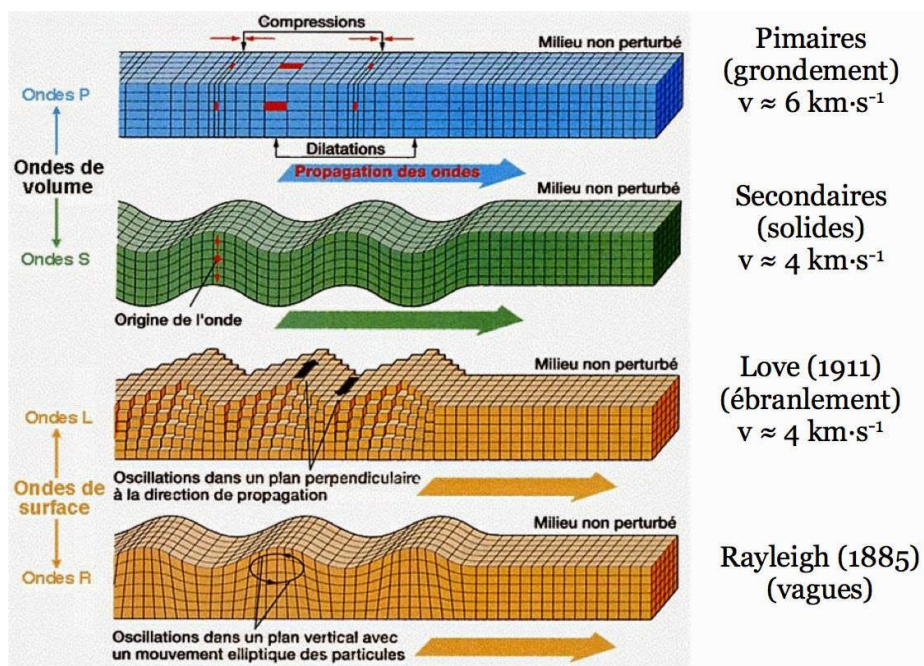


Figure I.3 : Les ondes sismiques. [9]

I.4. LE MICRO ZONAGE.

I.4.1. LE MICRO ZONAGE SISMIQUE.

La micro zonation sismique identifie les zones présentant une homogénéité de cause et effets, qui sont caractérisées par certains paramètres : la fréquence des séismes et la distribution de leurs intensités et définit sur chacune de ces régions le comportement du site sous séisme et l'aléa correspondant.

Les cartes de micro zonage estiment donc la réaction d'un site sous l'effet d'un événement catastrophique tel que le séisme.

L'urbaniste et l'Architecte doit impérativement connaître le micro zonage du site à urbanisé et ce avant la conception du projet, cela permettra une meilleure maîtrise de l'espace à construire et une réduction de la vulnérabilité sur la structure urbaine.

Le zonage pour l'occupation du sol est la première étape à aborder. Il implique la délimitation des secteurs de micro zonage sismique.

Exemple : Le territoire national Algérien est subdivisé en 5 zones de sismicité croissante soit [4] :

- ✓ Zone 0 : sismicité négligeable ;
- ✓ Zone I : sismicité faible ;
- ✓ Zone IIa et IIb : sismicité moyenne ;
- ✓ Zone III : sismicité élevée.

I.4.2. LE RESEAU ALGERIEN DE SURVEILLANCE ET D'ALERTE SISMIQUE.

La surveillance sismique du territoire a débuté en Algérie en 1910 lorsque fût installée la première station sismologique à Bouzaréah.

D'autres stations furent installées telle que celle au sein de l'université d'Alger et qui fonctionna jusqu'en 1982.

En 1935, une station fût installée à Oued Fodda au niveau du barrage.

En 1955, fût installée la station de Relizane. La quatrième station installée fût celle de Sétif en 1958.

Grâce à ces stations, des catalogues de sismicité furent édités. C'est ainsi qu'à partir de 1910 un bulletin mensuel était publié régulièrement par le Bureau central météorologique de France et cela jusqu'en 1919. A la suite de la création de l'IPG de Strasbourg, Hée publiait annuellement (de 1919 à 1949), dans les annales de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg, des tableaux relatifs aux tremblements de terre ressentis ou enregistrés en Algérie. Rothé A. (Professeur à la faculté de Strasbourg) publia en 1950, un catalogue sous le titre « les séismes de Kherrata et la sismicité de l'Algérie ».

Le réseau de surveillance sismique algérien est composé des 35 stations du réseau téléométré et des 45 stations digitales acquises récemment. Ce réseau couvre aujourd'hui la plus grande partie de région nord du pays, là où se produit la plus grande activité du pays mais aussi dans la région de Tamanrasset ou une station est localisée au niveau de l'observatoire de Tamanrasset. [11]

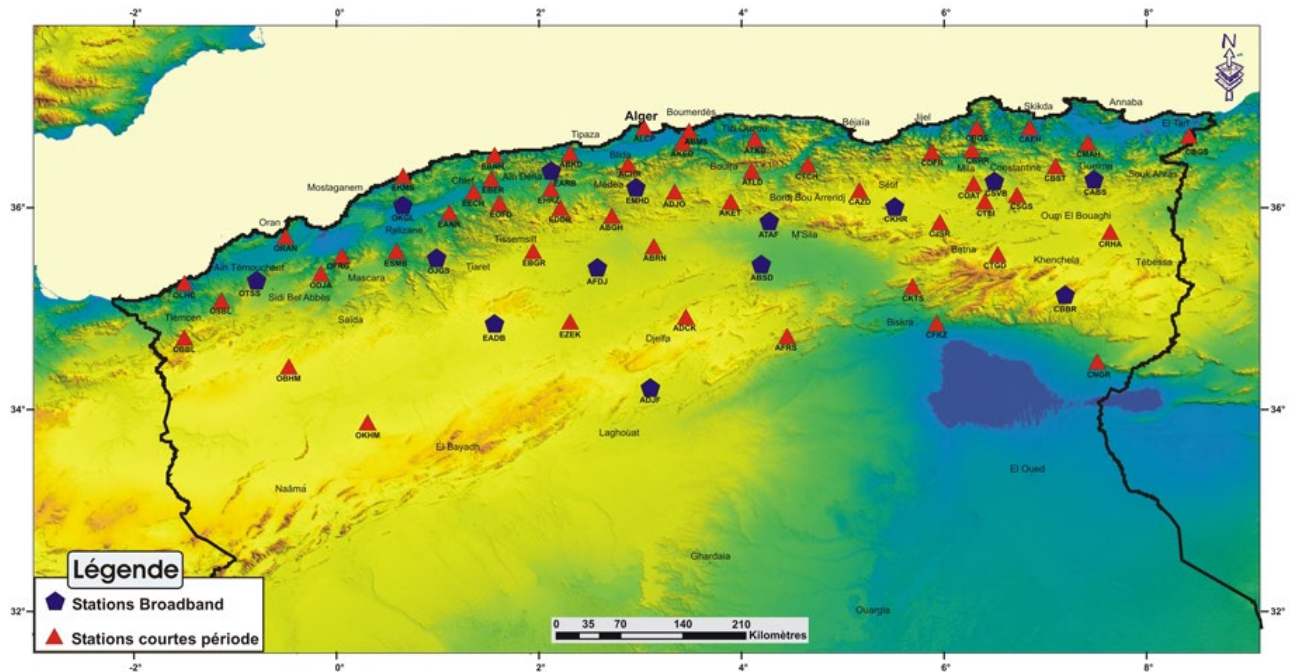


Figure I.4 : La carte du réseau algérien de surveillance et d'alerte sismique. [11]

I.4.3. HISTORIQUE DE LA SISMICITE EN ALGERIE.

La sismicité de l'Algérie du Nord est connue depuis 1365, date de séisme qui frappé la ville d'Alger. Les nombreux travaux qui se sont intéressés à l'historique de la sismicité ont permis la réalisation de plusieurs catalogues, Rothé (1955), Roussel (1967), Benhallou (1985), Mokrane et al. (1994), Benouar (1997) et Boudiaf (1996). Ces catalogues montrent que la sismicité est concentrée dans la région nord du pays c'est à dire dans la bande comprise entre la région littorale et la région de la flexure sud atlasique, et des frontières marocaines jusqu'au frontières tunisiennes.

D'autres part, ces catalogues indiquent que plusieurs séismes importants se sont produits au cours de l'histoire Alger (1716), Oran (1790), Blida (1825), Tenès (1890)...

On remarque également que la fréquence des séismes est devenue grande (presque un séisme tous les trois ans en moyenne) de 1980 à nos jours. Et pourtant, la révision de notre code sismique se fait en moyenne tous les 10 ans. Cela nous semble anormal, car chaque évènement sismique nous donne des enseignements à tirer. En plus de ça, les recherches théoriques et pratiques doivent être continues, afin de contribuer à l'amélioration de ce code.

I.4.4. ACTIVITÉ SISMIQUE.

Le rapprochement des plaques Eurasiatique et Africaine entraîne l'occurrence d'une activité sismique. Celle-ci est concentrée essentiellement dans la partie Nord du pays : La région tellienne est la plus active, dans cette région se produit la plus grande activité et les séismes les plus importants. La région des Hauts Plateaux est beaucoup moins active que la région Tellienne. Au niveau de l'Atlas Saharien seuls quelques événements se sont produits

La sismicité en Algérie du Nord se produit de façon permanente. Le réseau de surveillance enregistre près de 50 secousses par mois. Près de 90 % de cette activité car étant de faible magnitude et se produisant loin des centres urbains.

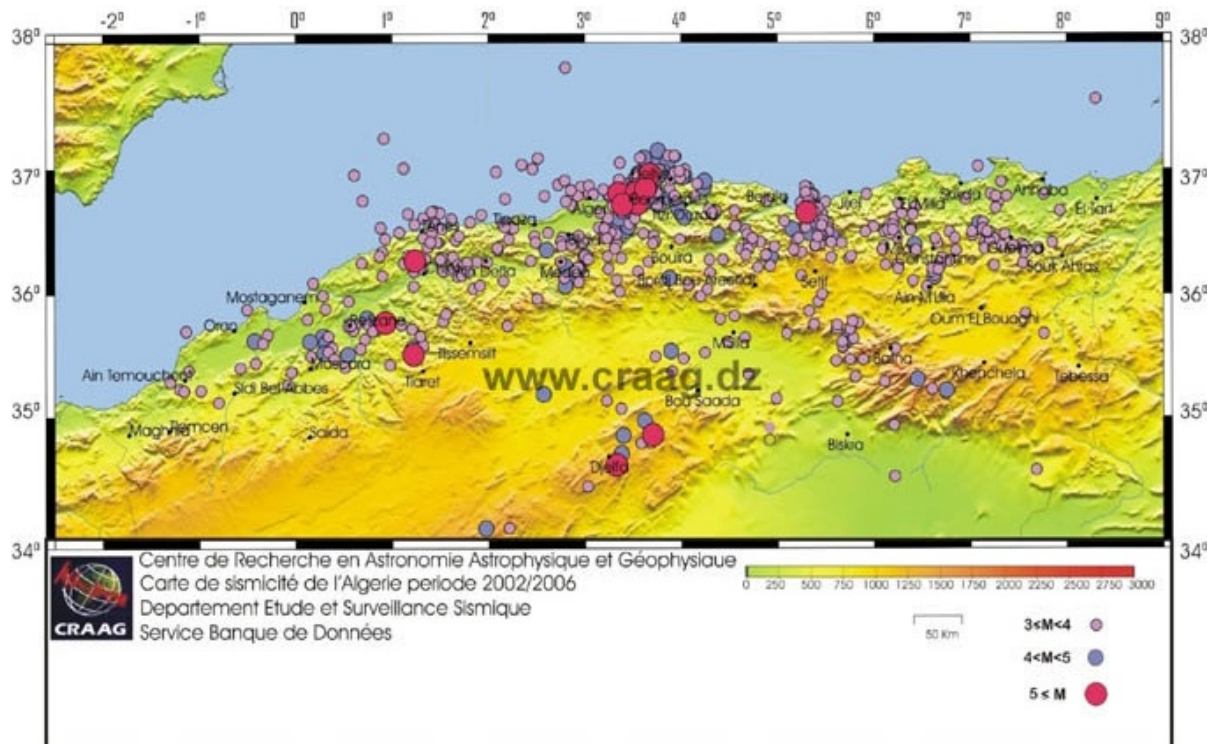


Figure I.5 : La carte de sismicité de l'Algérie du Nord. [11]

I.5. CONCLUSION.

Ce chapitre a été destiné à une notion préliminaire à la sismologie, nous avons présenté la définition des séismes, leurs origines et les différentes ondes sismiques (ondes de volume et de surface) ainsi que le micro zonage sismique qui fait l'identification des zones présentant une homogénéité de cause et effets en prenant l'exemple de l'Algérie.

Chapitre II

**NOTIONS DE REGLEMENTATIONS
PARASISMIQUES**

II.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.2. NECESSITE DES REGLEMENTS 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]

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.

II.3. CONTENU DES CODES PARASISMIQUES.

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

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

II.4. LA CONSTRUCTION PARASISMIQUE.

La construction parasismique est le moyen le plus sûr de prévention du risque sismique. Il convient de respecter les règles normales de bonne construction mais aussi des principes spécifiques dus à la nature particulières des charges sismiques. [13]

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

Les objectifs principaux de la construction parasismique sont de :

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

Pour avoir une bonne tenue face aux séismes, une construction doit être conçue dès le départ de façon à pouvoir résister aux actions sismiques, en faisant le bon choix des éléments porteurs de la structure, du matériau à utiliser, du type de contreventement...etc.

En effet, aussi poussés soient-ils, les calculs et le dimensionnement ne peuvent compenser à eux seuls les défauts de la conception sur le plan parasismique.

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

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

II.5. LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE DANS LE MONDE.

Des modes de construction parasismique, plus ou moins intuitifs ou issus des leçons tirées des tremblements de terre du passé existent depuis au moins 2000 ans. Ils ont permis à de nombreuses églises, temples, mosquées, pagodes et de nombreux châteaux de résister à des tremblements de terre parfois importants. La première réglementation parasismique européenne est née à Naples grâce à la volonté des Bourbons après le terrible séisme arrivé en 1783 dans la Calabre du sud.

Au Japon le premier code parasismique a été publié au début des années 20 au Japon, pays à forte sismicité. Les immeubles conçus conformément à ce code se sont bien comportés lors du séisme de magnitude 8,2 qui s'est produit dans la région du Kanto en 1923.

Aux Etats Unis d'Amérique, la première édition de l'Uniform Building Code (UBC) date de 1927. Il était mis à jour quasiment tous les 3 ans jusqu'en 1997. en 2000, il devient l'International Building Code (IBC). En Californie, un autre pays exposé à des séismes majeurs, le premier code parasismique spécifique a vu le jour en 1933.

II.6. PRÉSENTATION DES CODES PARASISMIQUE.

II.6.1. LES REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES.

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 zoning, l'annulation de la restriction pour l'utilisation des portiques autostables en zone III, l'introduction de la méthode d'analyse modale spectrale comme annexe, et quelques dispositions constructives ont été adoptées.

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

II.6.1.1. EVOLUTION DE RÈGLES PARASISMIQUE ALGÉRIEN (RPA).

- **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). [14]
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. [15]
- **1984** : Evaluation du RPA- 81 (version 83) à la suite des résultats des études de Microzonage de Chlef.
- **1988** : Révision du RPA – 81 (version 83) Réaménagement du document. [16]
- **1999** : Seconde révision du code. [17]
 - 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 [4] suite au séisme de Boumerdes (M 6,8 / 21 mai 2003), portant la définition d'un Nouveau zonage sismique comme suit : Zone 0 pour la Sismicité négligeable, Zone

I pour la Sismicité faible, Zones II a et II b pour la Sismicité moyenne et enfin la Zone III pour la Sismicité élevée.

II.6.1.2. 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.6.1.3. DOMAINE D'APPLICATION.

Les règles sont applicables à toutes les constructions courantes. Par contre, elles ne sont pas directement applicables aux constructions telles que [4] :

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

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

II.6.1.4. 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.
- Amélioration de la présentation du RPA en tant qu'outil de travail très utilisé.

II.6.2. LES REGLES PARASISMIQUES EUROCODE 8. [5]

Les Eurocodes 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 Eurocodes 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 Eurocodes 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'Eurocode 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 1998 1 Règles générales Actions sismiques Règles pour les bâtiments.
- EN 1998 2 Ponts.
- EN 1998 3 Renforcement et réparation des bâtiments.
- EN 1998 4 Silos, réservoirs, tuyauterie.
- EN 1998 5 Fondations, géotechnique.
- EN 1998 6 Tours, mats, cheminées.

II.6.2.1. OBJECTIFS DE L'EUROCODE8.

- Les « Eurocodes 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'Eurocodes structuraux traiteront de certains de ces aspects dans des annexes informatives.

II.6.3. CODE AMERICAN UNIFORM BUILDING CODE (UBC97). [6]

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.6.3.1. 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 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 maintenue 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 différente 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.

Le Code du bâtiment uniforme (UBC) a reconnu l'importance des conditions de site locales ou effets de site, par le biais d'un «facteur de sol" qui a été ajouté à la sollicitation latérale des bâtiments dans les éditions 1976 de l'UBC, et après de nombreuses modifications ont été apportées à la définition de facteurs et de sol et les types de sol, la dernière version définit six types de sols.

II.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 (Eurocode 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.

Chapitre III

**COMPARAISON DES REGLES
PARASISMIQUES**

III.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].

III.2. COMPARAISON DU L'RPA99/V2003 ET L'EC8 ET UBC 97.

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 :

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

III.2.1. COMPARAISON DE LA CLASSIFICATION DES SOLS.

III.2.1.1. 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 [pénétrömètre statique(q_c), SPT(N), pressiomètre (P_l, E_p), Résistance en compression simple(q_u)] peuvent être utilisées pour classer un site selon le tableau suivant.

$$V_s = \frac{\sum_i^n h_i}{\sum_i^n \left(\frac{h_i}{V_{si}}\right)} \quad (\text{III. 1})$$

Avec : V_{si} 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 (III.1) de l'RPA 99/v2003 ci-dessous désigne les quatre classes de sol :

	Description	q_c (MPa)	N	P_t (MPa)	E_p (MPa)	q_u (MPa)	V_s (m/s)
S1	Rocheux	-	-	> 5	> 100 -	> 10	≥ 800
S2	Ferme	> 15	> 50	> 2	> 20	> 0,40	≥ 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 3 m au moins d'argile molle	< 1.5	< 10	< 1	< 5	< 0.1	≥ 100 < 200

Tableau III.1 : Classification des sites selon RPA99/v2003. [4]

III.2.1.2. CLASSIFICATION DES SOLS SELON EUROCODE 8.

L'Eurocode 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'Eurocode 8 [5] ci-dessous désigne les 7 classes de sol :

Classe de sol	Description	Paramètres		
		$V_{s,30}$ (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			

Tableau III.2 : Classification des sites selon l'Eurocode 8. [5]

III.2.1.3. CLASSIFICATION DES SOLS SELON L'UBC 97.

L'UBC 97 distingue six types de sols SA, SB, SC, SD, SE et SF, le tableau (III.3) ci-dessous donne ces différents types de sols ainsi que les vitesses de propagation des ondes de cisaillement pour les 30 mètres supérieurs.

Type de profil de sol	Description	Valeur moyenne de Vs 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	

Tableau III.3 : Classification des sites selon l'UBC 97. [6]

III.2.1.4. COMMENTAIRES.

Le tableau (III.4) montre la comparaison des sols selon les trois règlements :

RPA 99/ v 2003		Eurocode 8		UBC 97	
Catégorie	Vs, 30 (m/s)	Catégorie	Vs, 30 (m/s)	Catégorie	Vs, 30 (m/s)
-	-	-	-	SA	≥ 1500
S1	≥ 800	A	-	SB	760-1500
S2	$\geq 400 - < 800$	B	> 250	SC	360-760
-	-	C	70 – 250	SD	180-360
S3	$\geq 200 - < 400$	D	< 70	SE	<180
-	-	E	-	SF	
S4	$\geq 100 - < 200$	S1	10 – 20	-	
-	-	S2	-	-	

Tableau III.4 : Comparaison de la classification des sites Entre RPA99/v2003, l'EC8 et UBC 97.

Le règlement parasismique Algérien considère 4 catégories de sol, les critères de classification sont essentiellement la nature des couches constituant le profil et la vitesse de propagation des ondes sismiques de cisaillement « S ».

L'Eurocode 8 définit 5 classes pour les cas courants, en se basant sur les mêmes critères que le RPA. Il considère en plus 2 classes de sols appelés « sols spéciaux » comportant des risques certains. La classe A selon Eurocode8 correspond exactement à la catégorie S1 dans le RPA. La classe B est équivalente au site S2 avec une légère différence concernant la condition sur la vitesse de propagation des ondes V_s , la limite pour le RPA est de 400m/s et elle est de 360m/s suivant l'eurocode8. La classe C est la même définie dans le RPA comme étant le S3 avec une petite différence pour la limitation de vitesse V_s (200m/s selon le RPA et 180m/s d'après Eurocode8). Pour les deux catégories (S1 et S2), le règlement Algérien précise que la vitesse de propagation définie est considérée à partir de 10m de profondeur.

Dans le code Américain, on distingue 6 classes de sols dont la classification est basée sur les mêmes critères cités pour les deux règlements précédents, en plus, il fait intervenir la résistance au cisaillement particulièrement pour les classes SC, SD et SE. Les deux catégories SA (caractérisée par $V_s > 1500\text{m/s}$) et SB ($760\text{m/s} < V_s \leq 1500\text{m/s}$) sont groupées pour le RPA et Eurocode8 en une seule classe.

Les classes SC, SD et SE dans le règlement Américain sont équivalentes aux S2, S3 et S4 dans le RPA et aux classes B, C et D selon Eurocode8, avec une légère différence sur la limitation des valeurs de V_s .

On note que le code Américain définit deux catégories pour les sites rocheux, ce qui n'est pas le cas pour les autres règlements. Cependant, le règlement européen présente des classes spéciales pour les sols sensibles. Ces sols sont signalés par le RPA et UBC (classe SF) comme nécessitant des investigations et études approfondies.

Donc, on peut dire que les trois règlements présentent la même classification avec une légère différence au niveau des valeurs séparant deux catégories de sol consécutives.

Ceci implique que les trois règlements utilisent les mêmes critères pour la classification des sites du sol abritant la construction.

On note que le code Américain définit deux catégories pour les sites rocheux, ce qui n'est pas le cas pour les autres règlements. Cependant, le règlement européen présente des classes spéciales pour les sols sensibles et ceci est signalé par le RPA et UBC (classe SF). Donc, on peut dire que les trois règlements présentent la même classification avec une légère différence au niveau des valeurs séparant deux catégories de sol consécutives.

III.2.2. COMPARAISON DES ZONES SISMIQUES.

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

III.2.2.1. CLASSIFICATION DES ZONES SISMIQUES SELON RPA99/V2003.

D'après l'amélioration du RPA Le territoire national est divisé en 5 zones de sismicité croissante, définies sur la carte des zones de sismicité (pages 12 et 13 du RPA99/v2003) et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par communes (annexe 1 page 85 du RPA99/v2003).

RPA 99/v 2003	
Zone 0	Sismicité négligeable
Zone I	Sismicité faible
Zone II a	Sismicité moyenne
Zone II b	Sismicité moyenne
Zone III	Sismicité élevée

Tableau III.5 : Classification des zones sismiques RPA99/V2003. [4]

La Figure III.1 présente le zonage sismique de l'Algérie utilisé dans RPA 99/ v 2003 :

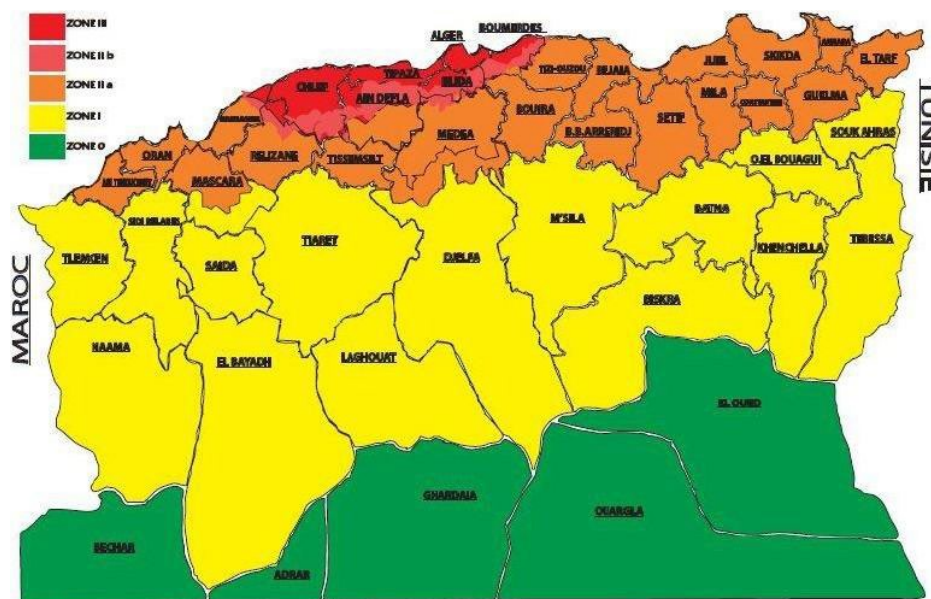


Figure III.1 : La carte de micro zonage d'Algérie. [10]

III.2.2.2. CLASSIFICATION DES ZONES SISMIQUES SELON EUROCODE 8.

L'EC8 définit 5 zones de sismicité qui se distinguent par la valeur de l'accélération de référence au niveau de sol. Le décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique nomme et hiérarchise les zones de sismicité du territoire.

EUROCODE 8	
Zone 1	Sismicité Très faible
Zone 2	Sismicité Faible
Zone 3	Sismicité Modérée
Zone 4	Sismicité Moyenne
Zone 5	Sismicité Forte

Tableau III.6 : Classification des zones sismiques sites Selon l'EC8 [5]

La Figure III.2, Présente le zonage de la France comme pays Européen.

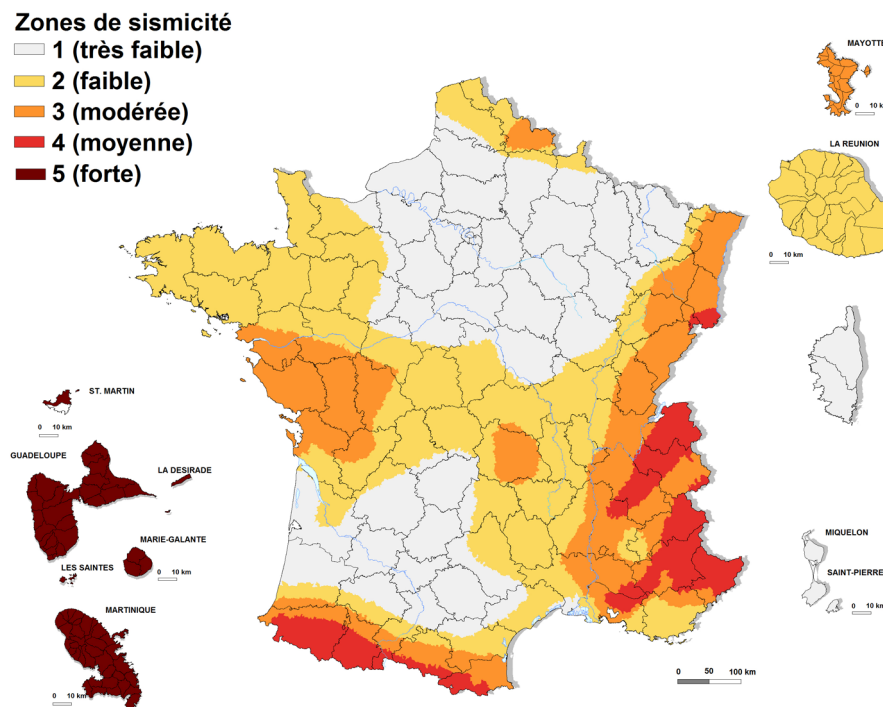


Figure III.2 : La carte de micro zonage de la France.

III.2.2.3. CLASSIFICATION DES ZONES SISMQUES SELON L'UBC 97.

Les paramètres sismiques de l'UBC97: C_a et C_v sont déterminées à partir de la zone sismique de facteur Z qui définit la zone sismique, l'UBC97 nommé cinq zones sismiques I, IIa, IIb, 3 et 4.

UBC 97		Z
Zone 1	Sismicité Très faible	0.075
Zone II a	Sismicité Faible	0.15
Zone II b	Sismicité Modérée	0.20
Zone 3	Sismicité Moyenne	0.30
Zone 4	Sismicité Forte	0.40

Tableau III.7 : la classification des zones sismiques UBC 97.

La Figure III.3 Zonage dans les États-Unis d'Amérique (UBC 97).

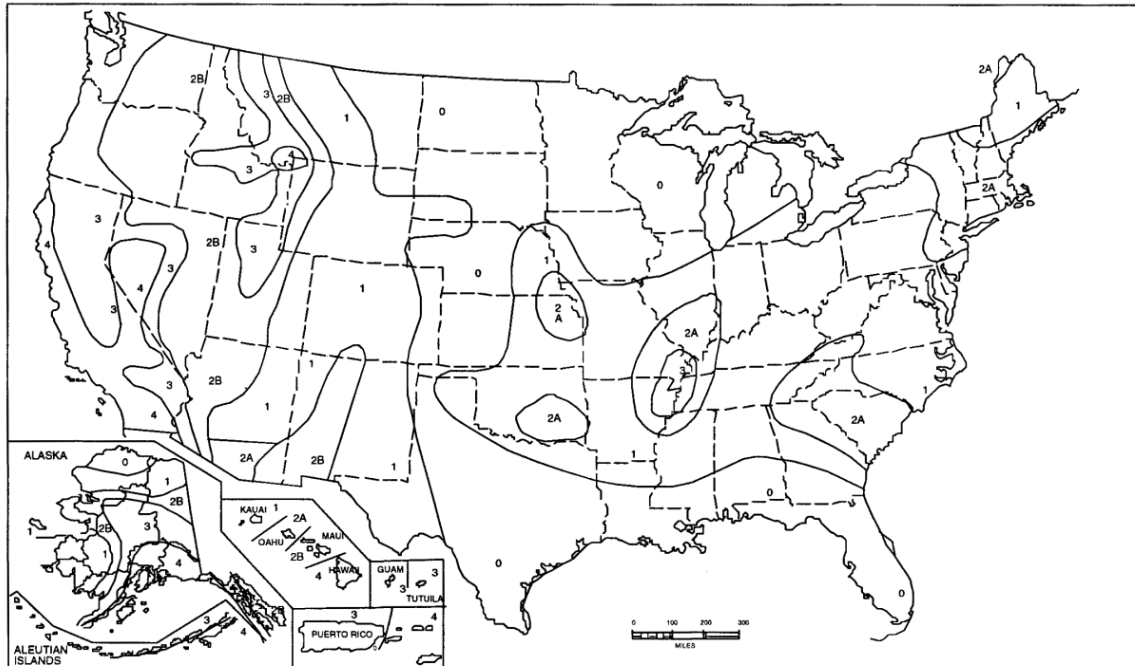


Figure III.3 : La carte des zones sismiques d'Etats-Unis d'Amérique.

III.2.2.4. COMMENTAIRES.

Le tableau (III.8) montre la comparaison des sols selon les trois règlements :

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

Tableau III.8 : Comparaison des zones sismiques pour l'RPA99/v2003, l'EC8 et UBC 97.

Les 3 règlements adoptent la même décomposition des zones de sismicité (voir tableau (III.8)). Cependant, le règlement Américain définit une zone de sismicité « 4 » dite « zone de très forte sismicité ». La classification des zones de sismicité est identique pour le RPA est l'Eurocode8, comportant 5 zones. On note que, dans le RPA, la zone « II » n'a été décomposée en « II.a » et « II.b » qu'après le séisme de Boumerdes 2003.

III.2.3. COMPARAISON DES SPECTRES DE REPONSE.

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 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. [18] [19].

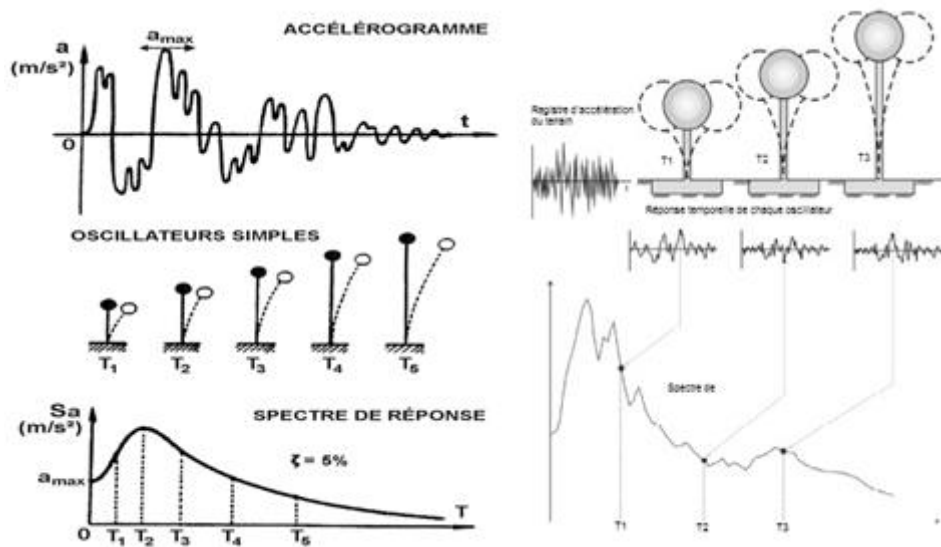


Figure III.4 : Graphique indicatif de la méthode de détermination du spectre de réponse.

III.2.3.1. SPECTRE DE REPONSE 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) [4] est donné par la formule suivante :

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

Avec :

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.

T_1, T_2 : Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site, donné par le tableau (III.9)

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

Tableau III.9 : Coefficient d'accélération de zone A. [4]

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 III.10 : Type de site en fonction des périodes de transition [4]

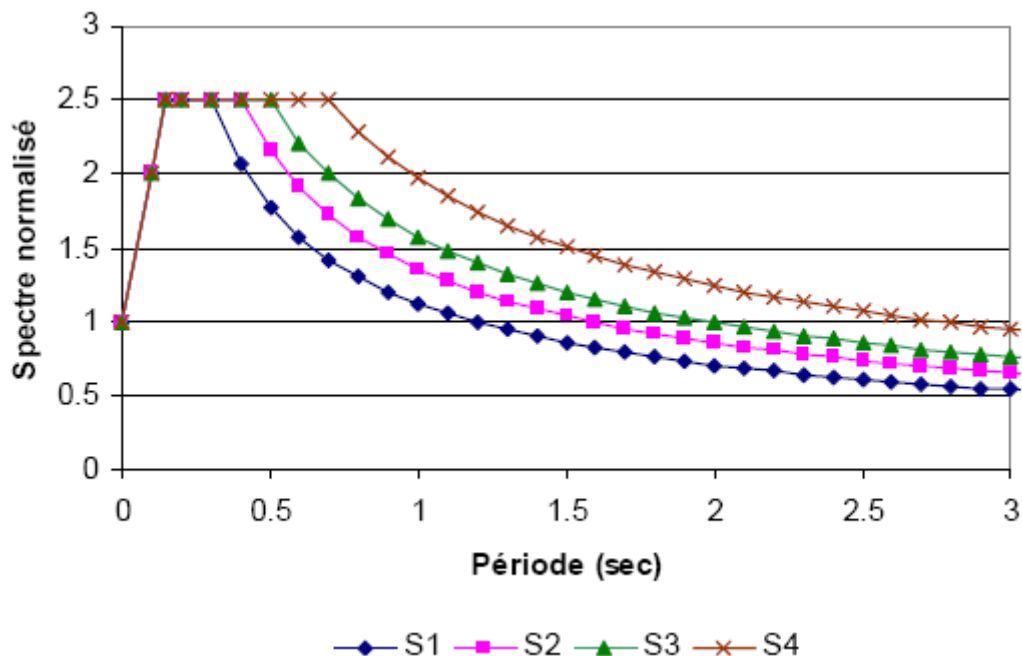


Figure III.5 : Spectre de réponse élastique normalisé pour les 4 types de sites.

III.2.3.2. SPECTRE DE REPONSE DE L'EUROCODE 8.

Dans le domaine d'application de L'Eurocode 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».

III.2.3.2.1. Spectre de réponse élastique horizontal (EN 1998-1 Art. 3.2.2)

Le Tableau (III.10) montre les valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type 1.

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 III.11 : Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type 1.

Le Tableau (III.11) montre les valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type 2.

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

Tableau III.12 : Valeurs des paramètres décrivant les spectres de réponses élastique recommandés de type 2.

La Figure (III.6) montre la forme du spectre de réponse élastique de l'Eurocode 8.

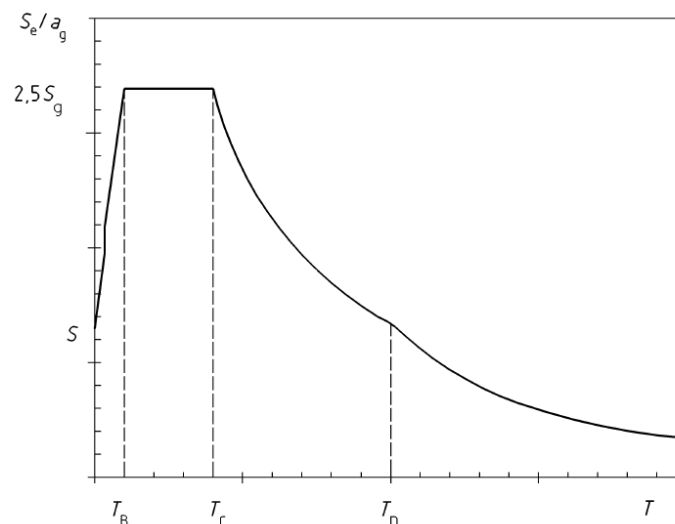


Figure III.6 : Forme du spectre de réponse élastique donné par l'Eurocode.

III.2.3.2.2. Spectre de réponse élastique vertical.

Le Tableau (III.12) montre les 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

Tableau III.13 : Valeurs recommandées des paramètres décrivant les spectres de réponse élastique verticale.

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 ;
- ✓ 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.

III.2.3.2.3. 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 :

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

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 [5] (Art-3.2.2.5 (4)) recommandée est de 0.2.

III.2.3.3. SPECTRE DE REPOSE DE L'UBC 97.

L'UBC 97 considère les expressions suivantes du spectre de réponse de calcul et est représenté sur la figure (III.7). [19] [20] [21].

$$\begin{aligned}
 S_d(T) &= \left[C_a + \frac{1,5 C_a T}{T_B} \right] & T \leq T_B \\
 S_d(T) &= 2.5 C_a \frac{\gamma I}{R} & T_B \leq T \leq T_C \\
 S_d(T) &= C_v \frac{\gamma I}{R} & T \geq T_C
 \end{aligned}
 \tag{III.4}$$

Avec :

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

$$T_C = \frac{C_v}{2.5 C_a} \quad \text{et} \quad T_B = 0.2 T_C.$$

Les coefficients sismiques C_a et C_v sont donnés dans les tableaux : (III.13) et (III.14).

La Figure (III.7) montre la forme du spectre de réponse de calcul de l'UBC 97.

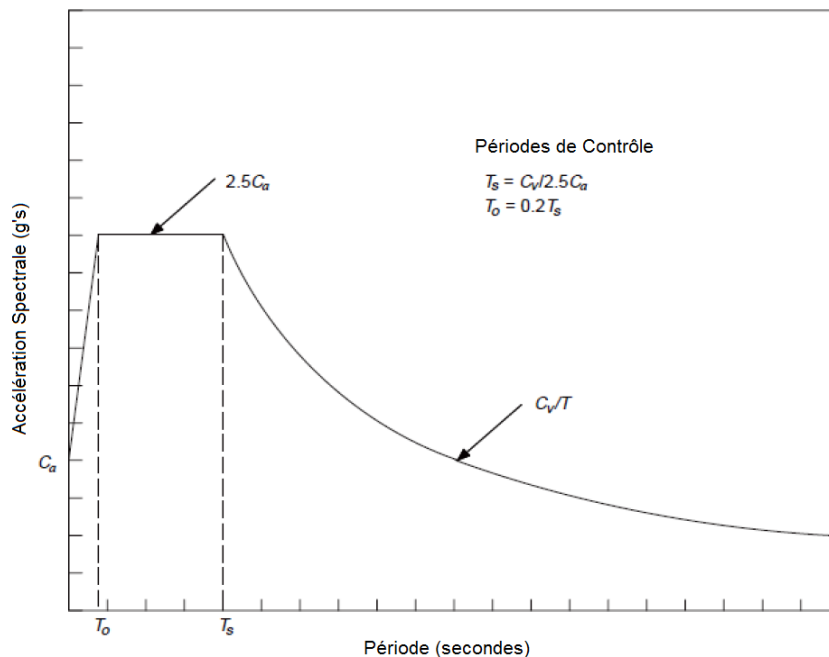


Figure III.7 : Spectre de calcul de l'UBC 97

Le Tableau (III.13) montre les de coefficient sismique C_a 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

Tableau III.14 : Valeurs de coefficient sismique C_a selon l'UBC 1997.

Avec :

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

Le Tableau (III.14) montre les de coefficient sismique C_v 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	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56Na
SD	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64Na
SE	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96Na

Tableau III.15 : Valeurs de coefficient sismique C_v selon l'UBC 1997.

III.2.3.4. COMMENTAIRES.

Le tableau (III.15) montre la comparaison des sols selon les trois règlements :

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

Tableau III.16 : Comparaison des spectres de calcul du RPA99/v2003 l'EC8 et UBC 97.

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.

III.2.4. 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 (III-16, III-17 et III-18).

III.2.4.1. CLASSIFICATION SELON RPA 99 VERSION 2003.

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

Tableau III.17 : Classification des ouvrages selon le RPA 99/v2003. [4]

III.2.4.2. CLASSIFICATION SELON L'EUROCODE 8.

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.

Tableau III.18 : Classification des ouvrages selon l'EC8. [5]

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. <ul style="list-style-type: none"> - 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. <ul style="list-style-type: none"> - 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 <ul style="list-style-type: none"> - 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

Tableau III.19 : Classification des ouvrages selon l'UBC 1997 [6] [22].

III.4.2.4. 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.

III.2.5. CLASSIFICATION DES BATIMENTS SELON LEUR CONFIGURATION GEOMETRIQUE.

III.2.5.1. SELON RPA.

Le règlement Algérien définit des critères de régularité en plan et en élévation [4].

III.2.5.1.1. Régularité en plan selon le RPA.

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.

- ✓ 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 (Figure III-8). La somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans une direction donnée ne doit pas excéder 25% de la dimension totale du bâtiment dans cette direction (Figure III-8).
- ✓ 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. Les dispositions concernant la régularité en plan données par le RPA sont représentées dans le schéma ci-après.

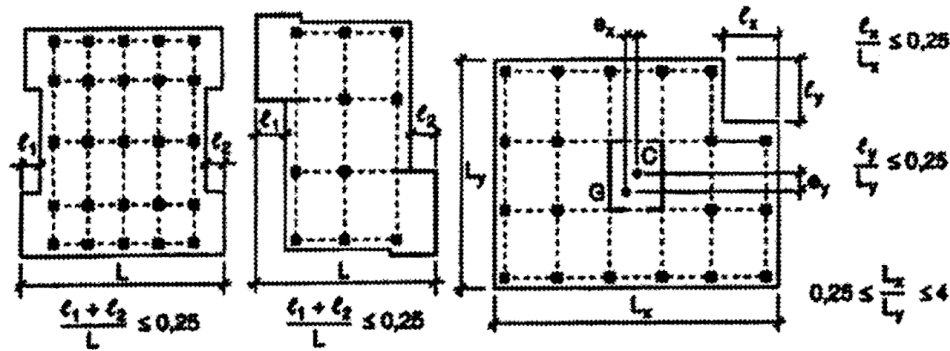


Figure III.8 : Limites des décrochements en plan selon RPA.

III.2.5.1.2. Régularité en élévation selon le RPA.

- ✓ Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu, dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation.
- ✓ Aussi bien la raideur que la masse des différents niveaux doivent rester constantes ou diminuer progressivement et sans chargement brusque de la base au sommet du bâtiment.
- ✓ Dans le cas de décrochements en élévation, la variation des dimensions en plan du bâtiment entre deux niveaux successifs ne dépasse pas 20% dans les deux directions de calcul et ne s'effectue que dans le sens d'une diminution avec la hauteur. La plus grande dimension latérale du bâtiment n'excède pas 1,5 fois sa plus petite dimension.

Toutefois, au dernier niveau, les éléments d'ouvrage, tels que buanderies, salle de machines d'ascenseurs etc. pourront ne pas respecter les derniers réglets être calculés conformément aux prescriptions relatives aux éléments secondaires.

Les critères considérés par le RPA pour la régularité en élévation sont illustrés par le schéma ci-après.

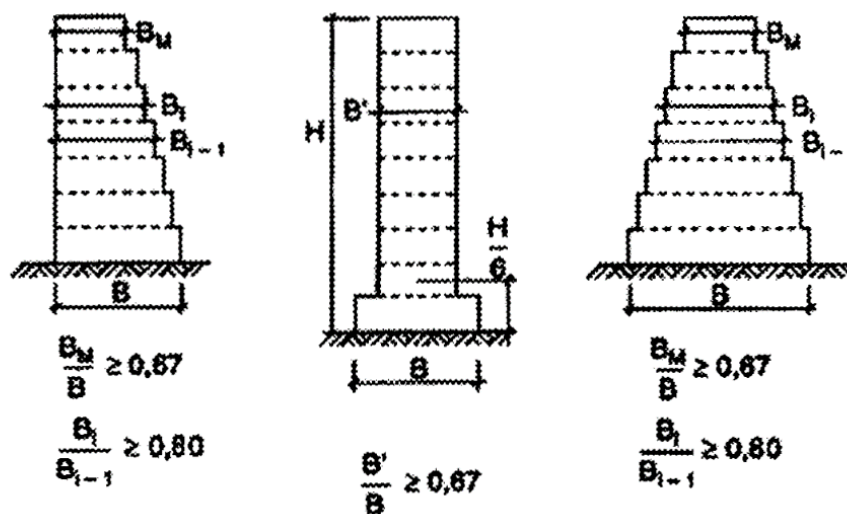


Figure III.9 : Limites des décrochements en élévation selon RPA.

III.2.5.2. SELON EUROCODE 8

L'Eurocode définit certains critères pour s'assurer d'une régularité en plan et en élévation [5].

III.2.5.2.1. Critères de régularité en plan pour l'EC8

- ✓ La structure du bâtiment doit être approximativement symétrique en plan par rapport à deux directions orthogonales, en ce qui concerne la raideur latérale et la distribution de la masse.
- ✓ La configuration en plan doit être compacte, c'est-à-dire qu'elle doit être délimitée pour chaque plancher par un contour polygonal curviligne. Lorsqu'il existe des retraits par rapport à ce contour (angles rentrants ou retraits en rive), la régularité en plan peut toujours être considérée comme satisfaite si ces retraits n'affectent pas la raideur en plan et si, pour chacun d'eux, la surface comprise entre le contour du plancher et le contour polygonal convexe enveloppant le plancher ne dépasse pas 5 % de la surface du plancher (voir figure III.10).
- ✓ La raideur en plan des planchers doit être suffisamment importante, comparée à la raideur latérale des éléments verticaux de structure, pour que la déformation du plancher ait peu d'effet sur la distribution des forces entre les éléments verticaux de structure. À cet égard, il convient de signaler que les formes en L, H, I et X fassent l'objet d'une attention particulière, notamment en ce qui concerne la raideur des décrochements, qui doit être comparable à celle de la partie centrale afin de respecter la condition de rigidité du diaphragme. Il convient de considérer l'application du présent paragraphe vis-à-vis du comportement d'ensemble du bâtiment.
- ✓ L'élanement $k = L_{\max} / L_{\min}$ de la section en plan du bâtiment ne doit pas être supérieur à 4, où L_{\max} et L_{\min} sont respectivement la plus grande et la plus petite dimension en plan du bâtiment mesurées dans les directions orthogonales (voir figure ci-après).

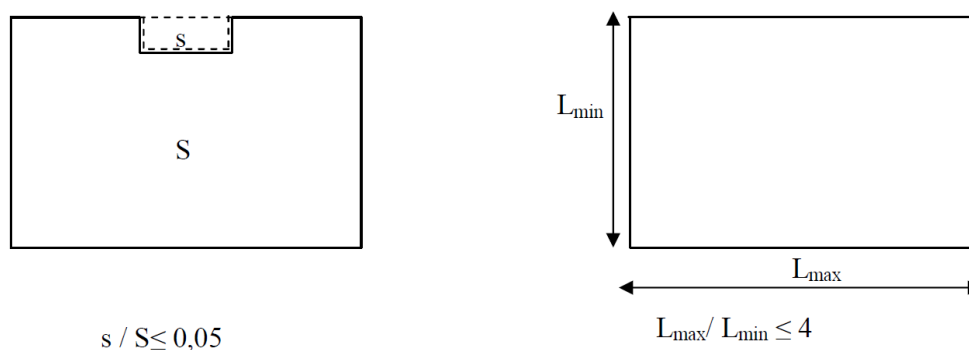


Figure III.10 : Critères de régularité en plan selon Eurocode8.

À chaque niveau et pour chaque direction de calcul x et y , l'excentricité structurale doit vérifier les deux conditions ci-dessous, qui sont exprimées pour la direction de calcul y :

$$e_{0x} \leq 0,30 \cdot r_x \quad (\text{III. 5})$$

$$r_x \leq l_x \quad (\text{III. 6})$$

Où :

e_{0x} : est la distance entre le centre de rigidité et le centre de masse (centre de gravité), mesurée suivant la direction x perpendiculaire à la direction de calcul considérée.

r_x : est la racine carrée du rapport de la rigidité de torsion à la rigidité latérale dans la direction y («rayon de torsion»).

l_x : est le rayon de giration massique du plancher en plan (racine carrée du rapport entre le moment d'inertie polaire du plancher en plan par rapport au centre de gravité du plancher et la masse du plancher).

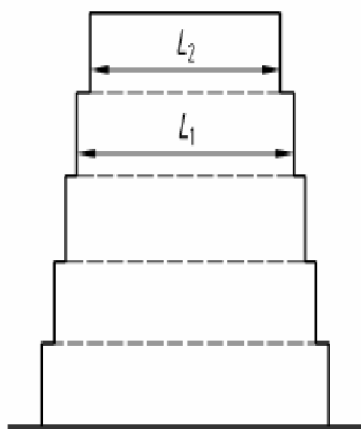
Les définitions du centre de rigidité et du rayon de torsion r sont indiquées dans ce qui suit.

- ✓ Dans les bâtiments à un seul étage, le centre de rigidité est défini comme le centre de rigidité latérale de tous les éléments sismiques primaires. Le rayon de torsion r est défini comme la racine carrée du rapport de la rigidité de torsion globale par rapport au centre de raideur latérale à la rigidité latérale globale dans une direction, en prenant en compte tous les éléments sismiques primaires dans cette direction.
- ✓ Dans les bâtiments comportant plusieurs étages, seules des définitions approximatives du centre de rigidité et du rayon de torsion sont possibles. Il est possible d'utiliser une définition simplifiée, pour classer la structure comme régulière en plan ou non et pour l'analyse approximative des effets de torsion, si les deux conditions suivantes sont satisfaites :
 - Tous les éléments du contreventement, comme les noyaux centraux, les murs ou les portiques, sont continus depuis les fondations jusqu'au sommet du bâtiment ;
 - Les déformations des éléments individuels de contreventement soumis à des charges horizontales ne sont pas très différentes. Cette condition peut être considérée comme satisfaite dans le cas de systèmes de portiques et de systèmes de murs. En générale, elle n'est pas satisfaite avec des systèmes à contreventement mixte.
- ✓ Dans les portiques et dans les systèmes de murs élancés dominés par les déformations de flexion, les positions des centres de raideur et les rayons de torsion peuvent être calculés à tous les niveaux comme ceux associés aux moments d'inertie des sections des éléments verticaux. Si, outre les déformations de flexion, les déformations de cisaillement sont également significatives, elles peuvent être prises en compte en utilisant un moment d'inertie équivalent de la section.

III.2.5.2.2. Critères de régularité en élévation pour l'EC8

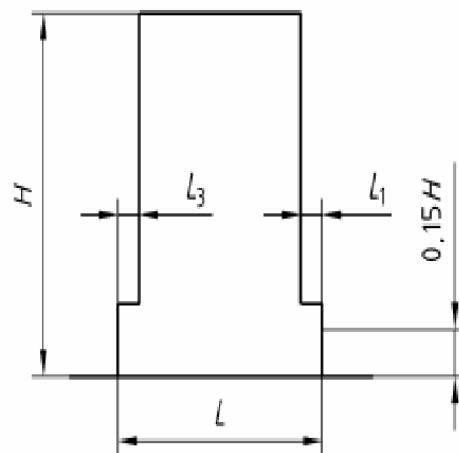
- ✓ Tous les éléments de contreventement, comme les noyaux centraux, les murs ou les portiques, doivent être continus depuis les fondations jusqu'au sommet du bâtiment ou, lorsqu'il existe des retraits à différents niveaux, jusqu'au sommet de la partie concernée du bâtiment.
- ✓ La raideur latérale et la masse de chaque niveau doivent demeurer constantes ou sont réduites progressivement, sans changement brutal, entre la base et le sommet du bâtiment considéré.

- ✓ Dans les bâtiments à ossature, le rapport entre la résistance effective de chaque niveau et la résistance exigée par le calcul ne doit pas varier de manière disproportionnée d'un niveau à l'autre.
- ✓ Lorsque l'ouvrage présente des retraits, les dispositions supplémentaires suivantes s'appliquent:
 - a) Dans le cas de retraits successifs maintenant une symétrie axiale, le retrait à un niveau quelconque ne doit pas être supérieur à 20 % de la dimension en plan du niveau inférieur dans la direction du retrait (voir Figure III.11-a et Figure III.11-b).
 - b) Dans le cas d'un seul retrait situé dans les 15 % inférieurs de la hauteur totale du système structural principal, le retrait ne doit pas être supérieur à 50 % de la dimension en plan du niveau inférieur (voir Figure III.11-c). Dans ce cas, il convient de concevoir la structure de la partie inférieure, située à l'intérieur de la projection verticale des étages supérieurs, de manière à résister à au moins 75 % de l'effort tranchant horizontal qui agirait à caniveau dans un bâtiment semblable n'ayant que la largeur réduite.
 - c) Dans le cas de retraits non symétriques, de chaque côté, la somme des retraits de tous les niveaux ne doit pas être supérieure à 30 % de la dimension en plan au premier niveau au-dessus des fondations ou au-dessus du sommet d'un soubassement rigide et chaque retrait ne doit pas excéder 10 % de la dimension en plan du niveau inférieur (voir Figure III.11-d).



$$\frac{L_1 - L_2}{L_1} \leq 0,20$$

Figure III.11-a



$$\frac{L_3 + L_1}{L} \leq 0,20$$

Figure III.11-b) le retrait a lieu au-dessus de 0,15 H

Figure III.11-(a et b) : Critères de régularité en plan selon Eurocode8.

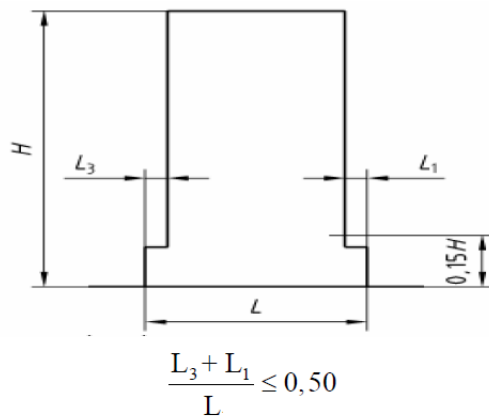


Figure III.11-c) le retrait a lieu au-dessus de 0,15 H

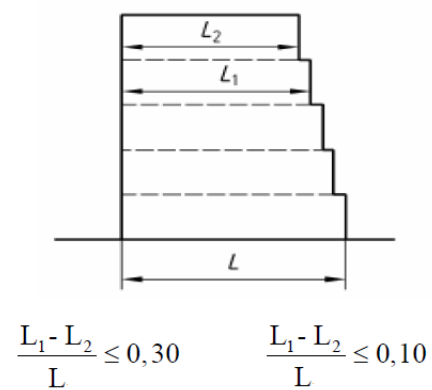


Figure III.11-d)

Figure III.11-(c et d) : Critères de régularité en élévation pour l'EC8.

III.2.5.3. SELON UBC.

Pour le règlement Américain, les différents types d'irrégularités aussi bien en plan qu'en élévation sont résumés dans des tableaux comme suit :

III.2.5.3.1. Irrégularités en plan selon l'UBC.

Type d'irrégularité	Définition
1. Irrégularité de torsion	L'irrégularité de torsion sera considérée comme existante quand le déplacement maximal du niveau considéré, calculée en tenant compte de la torsion accidentelle, à une extrémité de la structure est plus de 1,2 fois la moyenne des déplacements des deux extrémités de la structure.
2. Coins rentrant	Les configurations d'une structure et de son système de résistance contiennent les coins rentrant, où les deux projections de la structure au-delà d'un coin rentrant sont plus que 15 pour cent de la dimension en plan de la structure dans la direction donnée.
3. Discontinuités des diaphragmes	Diaphragmes avec des discontinuités ou des variations brusques de rigidité, y compris ceux ayant les terrains découverts plus grands que 50 pour cent de la section brute du diaphragme, ou changements de la rigidité efficace de diaphragme de plus que 50 pour cent d'un niveau à un autre.
4. Décrochement en plan	Discontinuité en plan des éléments verticaux dans la direction de la force considérée.
5. Systèmes non parallèles.	Les éléments de résistance verticaux ne sont pas parallèles ou symétriques par rapport aux axes principaux de la structure.

Tableau III.20 : Types d'irrégularité en plan selon l'UBC [5] et [23].

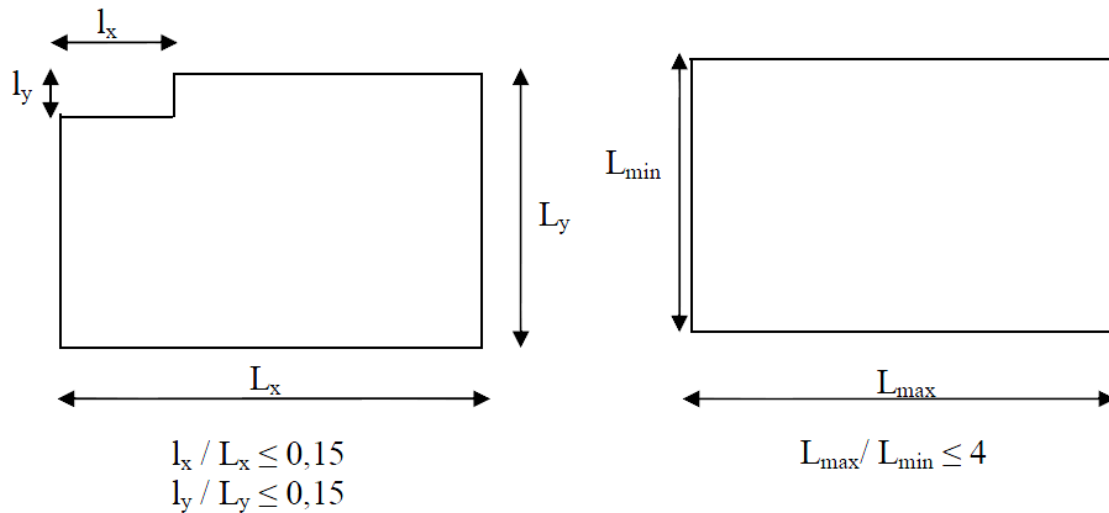


Figure III.12 : Critères de régularité en plan selon UBC.

III.2.5.3.2. Irrégularités en élévation selon l'UBC.

Type d'irrégularité	Définition
1. Niveaux flexibles.	Un niveau est considéré comme flexible si sa rigidité est inférieure à 70% de celle du niveau au-dessus ou inférieure à 80% de la moyenne des rigidités des 3 niveaux au-dessous.
2. Irrégularité de masse.	L'irrégularité de masse se présente si la masse d'un niveau quelconque est supérieure à 150% la masse d'un niveau adjacent
3. Irrégularité géométrique verticale.	Irrégularité géométrique verticale existe quand la dimension du système de contreventement dans un niveau est supérieure à 130% de celle d'un niveau adjacent.
4. Décrochement en élévation	Un décrochement des éléments de résistance plus important que la longueur de ces éléments.
5. Discontinuité de capacité	Un niveau est dit de faible capacité si sa résistance est inférieure à 80% de celle du niveau au-dessus. La résistance d'un niveau est la somme des résistances des éléments de contreventement dans la direction considérée.

Tableau III.21 : Types d'irrégularité en élévation selon l'UBC [5] et [23].

Les critères de régularité en élévation cités dans le tableau sont résumés par la figure ci-après.

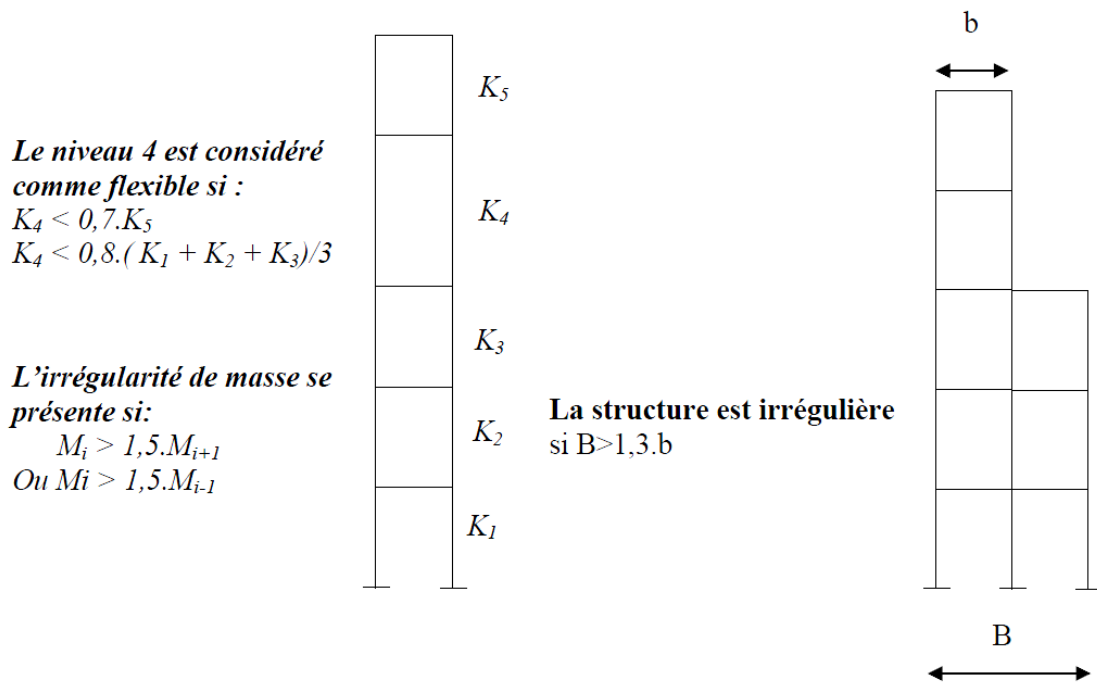


Figure III.12 : Critères d'irrégularité en élévation selon UBC.

III.2.5.4. COMMENTAIRES.

Les trois règlements définissent les différents types de discontinuités qui peuvent exister dans une structure, chacun d'eux fixe des limites pour les irrégularités en plan et en élévation. Pour les décrochements en plan, le RPA limite le rapport entre les parties rentrantes ou saillantes à 0,25. Tandis que l'Eurocode8 considère un rapport entre la surface des parties saillantes et celle du plancher, ce rapport est limité à 5%. Le code UBC utilise le même critère que le RPA mais pour ce règlement, le rapport doit être inférieur à 0,15.

Les 3 règlements favorisent l'utilisation des structures à 2 axes de symétrie, le RPA et l'Eurocode8 limitent l'élancement en plan à $L_x / L_y \leq 4$.

En cas de décrochement en élévation, le rapport entre la dimension de la structure à un niveau et celle à un niveau adjacent est limité à 0,8 pour le RPA et l'Eurocode8, le code Américain donne une limite légèrement différente. A ce niveau, on note que l'Eurocode8 présente plus de détails, où on trouve des limites pour chaque type de retrait.

III.2.6. METHODES DE CALCUL SISMIQUE.

III.2.6.1. PRESENTATION DES DIFFERENTES METHODES D'ESTIMATION DES FORCES SISMIQUES.

L'action sismique est la traduction en « données d'entrées » physiques permettant de décrire le phénomène sismique. Il s'agit des méthodes du calcul par nature simplifiées pour décrire la complexité du phénomène. Le tableau (III.21) ci-dessous compare les méthodes de calculs sismiques pour les trois règlements considérés.

Codes	Méthodes de calcul
RPA99/v2003	<p>D'après RPA99/v2003 (Art 4.1) [4], le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - méthode statique équivalente ; - méthode d'analyse modale spectrale ; - méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes.
Eurocode8 (EC8)	<p>D'après L'Eurocode 8. [5] (Art 4.2.3 et Art 4.3.3.1) propose plusieurs méthodes de calcul réparties en deux familles : les méthodes linéaires équivalentes et les méthodes non linéaires.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Méthode d'analyse par forces latérales. - Méthode d'analyse modale spectrale ; - Analyse statique non linéaire (en poussée progressive) ; - Analyse temporelle linéaire. - Analyse temporelle non linéaire par intégration directe
UBC 97	<p>D'après L'UBC97. L'analyse des charges sismiques sur les structures est divisée en deux groupes : linéaire et non linéaire, ce qui peut être fait par des approches statiques ou dynamiques. Ces sont résumées comme suit : [6] [22]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Méthode des forces latérales équivalentes (linéaire, statique). - Analyse modale utilisant une procédure de spectre de réponse (linéaire, dynamique). - Analyse statique non linéaire (pushover) - Analyse non linéaire de l'histoire du temps (dynamique). - Procédure d'histoire du temps de réponse linéaire (dynamique).

Tableau III.22 : Comparaison des Méthodes de calcul de la force sismique.

III.2.6.2. ACTIONS SISMIQUES.

III.2.6.2.1. Calcul de la force sismique totale selon RPA99/v2003.

Les forces sismiques seront déterminées en fonction de la catégorie du bâtiment, Les périodes propres de ces modes fondamentaux, les facteurs de comportement et de qualité et du poids propre total de la structure. La force sismique totale V , appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule : RPA99/v2003.

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} \cdot W \quad (\text{III. 7})$$

Avec :

A : coefficient d'accélération de zone, donné par le tableau 4.1 du RPA [4], suivant la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment.

D : facteur d'amplification dynamique moyen, fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (ξ) et de la période fondamentale de la structure (T).

$$D = \begin{cases} 2,5\eta & \dots\dots\dots 0 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta\left(\frac{T_2}{3}\right)^{2/3} & \dots\dots\dots T_2 \leq T \leq 3\text{sec} \\ 2,5\eta\left(\frac{T_2}{3}\right)^{2/3} \times \left(\frac{3}{T}\right)^{5/3} & \dots\dots\dots T \geq 3\text{sec} \end{cases} \quad (\text{III. 8})$$

T_1, T_2 : Période caractéristique associée à la catégorie du site est donnée par le tableau 4.7 du RPA [4].

η : Facteur de correction d'amortissement donné par la formule :

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2+\xi)}} \geq 0,7 \quad (\text{III. 9})$$

Où : ξ (%) est le pourcentage d'amortissement critique en fonction du matériau constitutif, du type de la structure et de l'importance du remplissage. donné par le tableau 4.2 du RPA [4].

T : Valeur de la période fondamentale de la structure ; elle peut être exprimée à partir de la formule empirique suivante : (article 4.2.4 page 31 RPA 99) [4].

Q : facteur de qualité, le facteur de qualité de la structure est fonction de :

- la redondance et de la géométrie des éléments qui la constituent
- la régularité en plan et en élévation
- la qualité du contrôle de la construction

La valeur de Q est déterminée par la formule :

$$Q = 1 + \sum_1^5 P_q \quad (\text{III. 10})$$

P_q : est la pénalité à retenir selon que le critère « q » est satisfait ou non. Sa valeur est donnée au tableau 4.4 du RPA.

R : coefficient de comportement global de la structure sa valeur unique est donnée par le tableau 4.3 du RPA en fonction du système de contreventement.

W : poids total de la structure, égale à la somme des poids W_i calculé à chaque niveau (i) :

$$W_T = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{avec :} \quad W_i = W_{G_i} + \beta * W_{Q_i} \quad (\text{III. 11})$$

W_{G_i} : Poids due aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels solidaires de la structure.

W_{Q_i} : Charge d'exploitation.

β : Coefficient de pondération fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le tableau 4.5 du RPA [4].

III.2.6.2.1.1. Distribution de la résultante des forces selon la hauteur.

La résultante des forces sismiques à la base V doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon les formules suivantes :

$$V = F_t + \sum F_i \quad (\text{III. 12})$$

F_t : Force concentrée au sommet de la structure (figure III.13), permet de tenir compte de l'influence des modes supérieurs de vibration, sa valeur ne dépassera en aucun cas $0,25 V$, et déterminée par :

$$F_t = \begin{cases} 0,07 TV & T > 0,7 \text{ s} \\ 0 & T \leq 0,7 \text{ s} \end{cases} \quad (\text{III. 13})$$

$$F_i = \frac{(V - F_t) w_i h_i}{\sum_{j=1}^n w_j h_j} \quad (\text{III. 14})$$

Où :

F_i : Effort horizontal revenant au niveau i .

h_i : Niveau du plancher où s'exerce la force F_i .

h_j : Niveau d'un plancher quelconque.

w_i, w_j : Poids revenant aux planchers i, j .

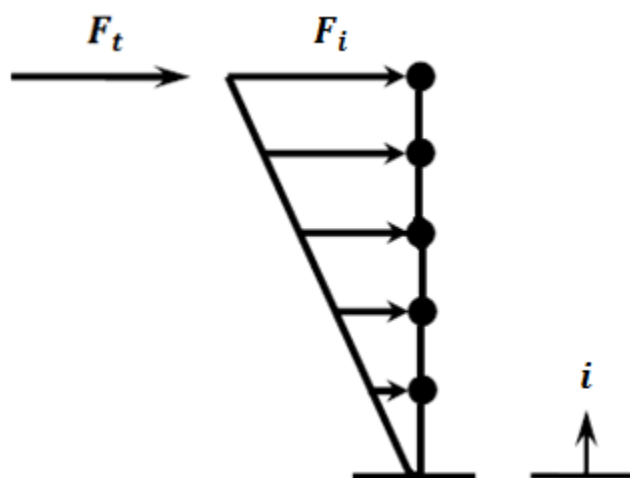


Figure III.13 : Distribution de la résultante des forces sur les différents niveaux.

III.2.6.2.1.2. Distribution horizontale des forces sismiques.

L'effort tranchant au niveau de l'étage k :

$$V_k = F_t + \sum_{i=k}^n F_i \quad (\text{III. 15})$$

Dans le cas de structures comportant des planchers rigides dans leur plan, il est distribué aux éléments verticaux de contreventement proportionnellement à leurs rigidités relatives.

III.2.6.2.2. Calcul de la force sismique totale selon l'Eurocode 8.

L'action sismique est représentée dans «la méthode de la force latérale», elle peut être appliquée aux bâtiments dont la réponse n'est pas affectée de manière significative par les contributions de modes de vibration de rang plus élevé que le mode fondamental dans chaque direction principale, et les critères de régularité en plan et en élévation doivent être remplis (paragraphes 4.2.3.2 et 4.2.3.3). et la condition donnée en (Art-4.3.3.2.1 (2-a) de l'EN 1998).

III.2.6.2.2.1. Effort tranchant à la base de la structure.

L'effort tranchant sismique à la base F_b , doit être déterminé, pour chaque direction principale dans laquelle, le bâtiment est analysé, au moyen de l'expression suivante :

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda \quad (\text{III. 16})$$

Où :

$S_d(T_1)$: ordonnée du spectre de calcul pour la période T_1 ;

T_1 : est la période fondamentale de vibration du bâtiment pour le mouvement de translation dans la direction considérée ;

m : est la masse totale du bâtiment, au-dessus des fondations ou du sommet d'un soubassement rigide :

$$m_t = \sum G_i + \sum \psi_{E,i} Q_i \quad (\text{III. 17})$$

Où :

G_i : Les différentes composantes du poids propre ;

Q_i : Les différentes charges variables ;

$\psi_{E,i}$: La portion permanente de ces charges variables. $\psi_{E,i}$ est calculé comme le produit de deux coefficients $\psi_{2,i}$ et ϕ donnés par les Eurocodes EN 1990, EN 1991 et EN 1998.

λ : le coefficient de correction. [5]

III.2.6.2.2. Distribution des forces sismiques horizontales.

- Les modes fondamentaux dans les directions d'analyse horizontales du bâtiment peuvent être calculés à l'aide de méthodes de dynamique des structures ou peuvent être déterminés approximativement en supposant que les déplacements horizontaux croissent linéairement suivant la hauteur du bâtiment.
- Les effets de l'action sismique doivent être déterminés en appliquant, dans les deux modèles plans, des forces horizontales F_i à tous les étages :

$$F_i = F_b \frac{S_i m_i}{\sum S_j m_j} \quad (\text{III. 18})$$

Où :

F_i : ordonnée est la force horizontale agissant au niveau i ;

F_b : Est l'effort tranchant à la base obtenu par la relation (III.16) ;

S_i, S_j : Sont les déplacements des masses m_i, m_j dans le mode fondamental ;

m_i, m_j : Sont les masses des niveaux

- Lorsque le mode fondamental est déterminé de manière approximative en supposant que les déplacements horizontaux croissent linéairement suivant la hauteur, les forces horizontales F_i doivent être prises comme donné par l'expression :

$$F_i = F_b \frac{Z_i m_i}{\sum Z_j m_j} \quad (\text{III. 19})$$

Où :

Z_i, Z_j : sont les hauteurs des masses m_i, m_j , au-dessus du niveau d'application de l'action sismique (fondations ou sommet d'un soubassement rigide)

III.2.6.2.3. Calcul de la force sismique totale selon l'UBC 97.

L'UBC 97 préconise l'utilisation de la méthode statique équivalente dans le cas de structures régulières de hauteur inférieure à 74 m et des structures irrégulières de 20 m de hauteur au plus, dans le cas contraire (structure régulière de hauteur supérieure à 74m et structure irrégulière de hauteur supérieure à 20m), une analyse dynamique est requise ainsi que pour des structures fondées sur un sol de type SF et ayant des périodes propres supérieures à 0,7 s. [6] [22].

- L'effort tranchant sismique à la base dans une direction donnée est défini par la formule suivante :

$$V = \frac{C_V I}{R T} \cdot W \quad (\text{III. 20})$$

Avec :

I : Facteur d'importance sismique.

W : poids total de la structure.

R : Coefficient de comportement de la structure.

T : Période propre de la structure dans la direction considérée.

C_V : Coefficient sismique dépendant de la catégorie de site et de la zone sismique.

L'effort sismique donné par l'équation (III.20) ne doit pas être supérieur à :

$$V = \frac{2.5 C_a I}{R} . W \quad (\text{III. 21})$$

Et ne doit pas être inférieur à :

$$V = 0,11 C_a I . W \quad (\text{III. 22})$$

Avec :

C_a : est un coefficient sismique dépendant des conditions de site et de la zone sismique.

Dans le cas de la zone sismique 4 (zone de forte sismicité), l'effort sismique doit être supérieur à :

$$V = \frac{0,8 Z N_V I}{R} . W \quad (\text{III. 23})$$

Avec :

Z : Facteur de zone sismique.

N_V : Facteur de source proche utilisé dans la détermination du C_V dans Zone sismique 4 liée à la fois à la proximité du bâtiment ou structure à des failles connues avec des grandeurs et les taux de glissement indiqués dans les tableaux 16.T et 16.U [6].

III.2.6.2.3.1. Distribution des forces sismiques verticales.

La résultante des forces sismiques à la base doit être distribuée sur la hauteur de la structure selon les formules suivantes :

$$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i \quad (\text{III. 24})$$

La force concentrée F_t au sommet, qui est en plus de F_n , sont déterminés à partir de la formule suivante :

$$F_t = 0,07 TV \quad (\text{III. 25})$$

La valeur de T utilisée pour le calcul de F_t est la période qui correspond L'effort tranchant a la base de calcul tel que calculé en utilisant la formule (III.20).

F_t : ne doit pas dépasser 0,25 V et peut être considéré comme zéro où T est de 0,7 seconde ou moins. La partie restante ($V - F_t$) doit être distribuée sur la hauteur de la structure, y compris le niveau n, selon la formule suivante :

$$F_x = \frac{(V - F_t) w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (\text{III. 26})$$

À chaque niveau désigné par x, la force F_x doit être appliquée sur la surface du bâtiment conformément à la répartition des masses à ce niveau. Les déplacements structurels et les forces sismiques de conception sont calculés comme étant l'effet des forces F_x et F_t appliquées aux niveaux appropriés au-dessus de la base. [6]

III.2.6.2.3.2. Distribution des forces sismiques horizontales.

L'effort tranchant au niveau x est la somme des forces F_t et F_x au-dessus de ce Niveau.

$$V_x = F_t + \sum_{i=x}^n F_x \quad (\text{III. 27})$$

V_x : est distribué aux différents éléments du système de résistance verticale - force latérale - en proportion de leurs rigidités.

III.2.6.2.4. Comparaison les actions sismique.

III.2.6.2.4.1. méthodes de calcul de l'effort tranchant à la base.

Le tableau ci-dessous compare les actions sismiques pour les trois règlements considérés.

RPA99/v2003	L'Eurocode8 (EC8)	UBC 97
$V = \frac{A \cdot D \cdot Q}{R} \cdot W$	$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$	$V = \frac{C_v I}{R T} \cdot W$ $\leq V = \frac{2.5 C_a I}{R} \cdot W$ $\geq V = 0,11 C_a I \cdot W$ Dans le cas de la zone 4 (zone de forte sismicité) $\geq V = \frac{0,8 Z N_v I}{R} \cdot W$

Tableau III.23 : Comparaison des expressions des forces sismiques.

III.2.6.2.4.2. Distribution des forces sismiques.

Les forces sismiques à la base (V, F) doivent être distribuées sur la hauteur de la structure pour les trois codes selon les formules indiquées sur le tableau (III.23) suivantes :

RPA99/v2003	L'Eurocode8 (EC8)	UBC 97
$V = F_t + \sum F_i$ <p>La valeur de F_t ne dépassera en aucun cas $0,25 V$.</p> $F_t = \begin{cases} 0,07 TV & T > 0,7 \text{ s} \\ 0 & T \leq 0,7 \text{ s} \end{cases}$ <p>T : Période fondamentale de la structure.</p> $F_i = \frac{(V - F_t) w_i h_i}{\sum_{j=1}^n w_j h_j}$ <p>Où :</p> <p>F_i : Effort horizontal revenant au niveau i.</p> <p>h_i : niveau du plancher où s'exerce la force F_i.</p> <p>h_j : niveau d'un plancher quelconque.</p> <p>W_i, W_j : poids revenant aux planchers i, j.</p> <p>Distribution horizontale L'effort tranchant au niveau de l'étage k :</p> $V_k = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$	$F_i = F_b \frac{S_i m_i}{\sum S_j m_j}$ <p>Où :</p> <p>F_i : ordonnée est la force horizontale agissant au niveau i ;</p> <p>F_b : Est l'effort tranchant à la base obtenu par la relation (III.16) ;</p> <p>S_i, S_j : Sont les déplacements des masses m_i, m_j dans le mode fondamental ;</p> <p>m_i, m_j : Sont les masses des niveaux.</p> <p>Si on considère la déformée linéaire, on a :</p> $F_i = F_b \frac{Z_i m_i}{\sum Z_j m_j}$ <p>Où :</p> <p>Z_i, Z_j : sont les hauteurs des masses m_i, m_j, au-dessus du niveau d'application de l'action sismique.</p>	$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i$ <p>La force concentrée F_t au sommet, qui est en plus de F_n, sont déterminés à partir de la formule suivante :</p> $F_t = 0,07 TV$ <p>F_t : ne doit pas dépasser $0,25 V$.</p> <p>La partie restante $(V - F_t)$ doit être distribuée sur la hauteur de la structure, y compris le niveau n, selon la formule suivante :</p> $F_x = \frac{(V - F_t) w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i}$ <p>Distribution horizontale L'effort tranchant au niveau x est la somme des forces F_t et F_x au-dessus de cette Niveau.</p> $V_x = F_t + \sum_{i=x}^n F_x$

Tableau III.24 : Distribution des forces sismiques.

III.2.6.4. COMMENTAIRES.

A. Concernant la méthode statique.

Le principe de cette méthode est de remplacer l'effet de l'excitation sismique qui est de nature dynamique par une force statique appliquée à la base de la structure. Pour la détermination de cette dernière, chacun des 3 règlements propose une formule qui tient compte des différents paramètres intervenants dans la détermination de l'action sismique.

- Le RPA prend en considération 4 facteurs :
 - Le coefficient d'accélération de zone, donné en fonction du groupe d'usage et de la zone de sismicité ; la valeur maximale que peut prendre ce facteur est 0,4.
 - Facteur d'amplification dynamique moyen, qui tient compte de la rigidité de la structure, de l'amortissement et de la catégorie du site ; la plus grande valeur que peut atteindre ce coefficient est 2,5 (pour un amortissement de 5%).
 - Facteur de qualité, fonction de la régularité de la structure et du contrôle de la qualité d'exécution et des matériaux; sa valeur maximale est limitée à 1,35.
 - Coefficient de comportement de la structure, la valeur de ce dernier varie de 2 à 5.
 - La distribution de l'effort sismique aux différents niveaux se fait proportionnellement au produit (masse x hauteur par rapport à la base).
- L'E8 utilise le même principe que le RPA (un coefficient multiplié par le poids), les paramètres intervenant dans le calcul de l'action sismique sont :
 - Le coefficient de correction, fonction de la période fondamentale et de la classe du sol.
 - Les paramètres (S , T_C et T_D) qui décrivent la forme du spectre.

La formule utilisée pour l'évaluation de la période fondamentale de la structure est identique à celle utilisée par le RPA, avec les mêmes valeurs pour les 2 termes de la formule.

La distribution verticale de l'effort sismique est faite en utilisant une formule identique à celle utilisée par le RPA. Cependant, dans l'Eurocode8, on ne trouve pas le terme définissant la force concentrée au sommet considérée par le RPA.

- La formule donnée par le code UBC pour la détermination de l'effort tranchant à la base de la structure est identique à celles utilisées dans les 2 autres règlements.

Dans cette formule, peut bien remarquer que l'effort sismique est inversement proportionnel à la période fondamentale, celle-ci est donnée par la même formule utilisée par le RPA, avec une légère différence des valeurs du coefficient C_t .

La distribution de l'effort sismique aux différents niveaux se fait exactement comme pour le RPA, avec les mêmes définitions des termes de la formule.

La distribution de l'effort sismique est faite par la même formule pour les 3 règlements. Cependant, le RPA et UBC considère dans le cas des structures ayant $T > 0,7\text{sec}$, une force concentrée au sommet du bâtiment, cette dernière est déduite de l'effort tranchant total lors de son répartition aux différents niveaux.

Le tableau (III.24) ci-après montre les différentes formules proposées par le code UBC pour la détermination de la force statique équivalente (effort tranchant à la base de la structure).

Date	Formule proposée par UBC
1927	First seismic design appendix in UBC : $V = C.W$ ($C = 0.075$ to 0.10)
1933	Los Angeles City Code : $V = C.W$ ($C = 0.08$)
1943	Los Angeles City Code : $V = C.W$ ($C = 60/(N+4.5)$), $N > 13$ stories.
1952	ASCE-SEAONC : $C = K_1/T_1$ ($K_1 = 0.015$ to 0.025)
1959	SEAOC : $C = KCW$ ($C = 0.05/(T^{1/3})$)

Tableau III.25 : Différentes formules proposées par le code UBC pour le calcul de l'effort sismique total à la base d'une structure. [24]

B. Concernant la méthode dynamique.

Les méthodes utilisées par les trois règlements sont basées sur le même principe, un calcul utilisant un spectre élastique, puis la réduction des résultats moyennant un coefficient de comportement. La forme du spectre est identique selon les trois règlements, la différence est au niveau des valeurs décrivant le spectre, chaque code utilise sa propre formulation afin de donner une estimation de l'accélération au quelle sera soumise la structure. Le principe est toujours le même et consiste à déterminer les effets de l'action sismique selon chaque mode, puis procéder à une combinaison entre les effets correspondant aux différents modes, la méthode de combinaison est identique pour les trois règlements.

III.3. CONCLUSION.

Dans ce chapitre, nous avons présenté une comparaison des règles parasismiques algériennes RPA99/v2003, l'Eurocode 8 (EC8) et le code américain (Uniform Building Code UBC 97) pour quelques paramètres importants entrent dans le calcul de l'action sismique. Les paramètres étudiés sont: l'effet de sites, zonage sismique, spectre de réponse, l'importance des ouvrages, la configuration des bâtiments et les méthodes de calcul sismique.

En comparant les trois règlements, on peut dire qu'ils utilisent globalement les mêmes critères pour la classification des sols, zones de sismicité et classes d'importance, des légères différences sont constatées au niveau des valeurs limites séparant chaque catégorie d'une autre.

Pour la détermination de l'action sismique, chaque règlement propose deux méthodes, une première qui consiste à remplacer l'action dynamique par une force statique dont l'effet est équivalent à celui de l'action dynamique. Une deuxième méthode basée sur l'analyse modale où on détermine pour chaque mode de vibration, le maximum des sollicitations correspondantes, ces dernières sont par la suite combinées pour obtenir la valeur de l'action sismique totale appliquée à la structure.

La méthode statique équivalente peut être utilisée pour les bâtiments présentant une configuration simple et régulière, avec une limitation de la hauteur de la structure en question, la limite pour l'UBC (73m) est égale à 2,5 fois celle considérée par le RPA (30m) en zone de forte sismicité. L'Eurocode limite la période et non pas la hauteur comme les deux autres règlements.

Pour les structures irrégulières et en zone de forte sismicité, le RPA permet d'utiliser la méthode statique équivalente pour les bâtiments qui ne dépassent pas 2 niveaux ou 08m de hauteur (groupe d'usage 1A en zone III), tandis que l'UBC va jusqu'à cinq niveaux ou 19m pour la même zone et le même groupe d'usage.

La méthode d'analyse modale est applicable pour tous les types de bâtiments, particulièrement pour ceux présentant une configuration irrégulière.

Chapitre IV

**PRINCIPES ET TECHNIQUES DE
L'ISOLATION SISMIQUE**

IV.1. INTRODUCTION.

Les règles de calcul sont conçues de façon à garantir la sécurité et la pérennité des structures. Ils précisent le niveau maximal des actions pouvant s'exercer sur un ouvrage pendant sa durée d'utilisation.

Ce niveau est atteint par la prise en compte dans les calculs de valeurs caractéristiques des actions et de coefficients de sécurité majorant les sollicitations qui résultent de ces actions.

En outre, les actions appliquées à l'ouvrage conduisent à des effets sur la structure: efforts et déformations, qui se traduisent par des sollicitations (moment fléchissant, effort normal, effort tranchant, etc.), dont les matériaux composant la structure résistent à ces effets.

Pour chaque état limite, pour chaque section de la structure étudiée, il faut montrer, pour le cas de charge le plus défavorable sous la combinaison d'action considérée, que la sollicitation agissante ne dépasse pas la résistance du matériau.

L'objectif général de dimensionnement des ouvrages est de :

- connaître les principes de la réglementation basée sur le calcul aux états limites,
- connaître la réglementation existante,
- savoir calculer les principales actions s'exerçant sur les ouvrages de Génie Civil, charges permanentes, charges d'exploitation, charges de neige et charges dues au vent... etc.
- savoir évaluer les charges sollicitant les différents éléments d'une structure.

En effet, au cours des 20 dernières années, ces technologies innovatrices de dissipation d'énergie et d'appuis parasismiques ont été développées et proposées pour améliorer la performance sismique des bâtiments. Certains de ces appuis parasismiques ont été déjà utilisés, d'autres sont restés au stade d'études théoriques ou d'essais. Par la suite, cette technique des appuis parasismiques, avec plusieurs variantes, suscite actuellement beaucoup d'intérêt dans la plupart des pays concernés par le risque sismique. Par conséquent, une attention considérable est accordée à cette technologie principalement au Japon et aux États-Unis, qui ont introduit l'installation de ces systèmes non seulement dans les nouveaux bâtiments mais aussi pour la réhabilitation des bâtiments existants.

En outre, des séismes ont déjà frappés la plupart de ces nouveaux bâtiments [les séismes dévastateurs de Northridge (Californie, 1994) et de Kobe (Japon, 1995)]. On a constaté que les bâtiments isolés sismiquement se sont très bien comportés. A cet effet, la construction des structures avec les systèmes d'isolation sismique est beaucoup prise en considération dans d'autre pays pour réduire le risque des endommagements matériels et humains.

Sur un autre plan, cette technique d'isolation sismique est encadrée par les codes parasismiques notamment aux Etats-Unis, Japon, Italie, Chine et Nouvelle Zélande. Ces codes permettent d'adapter

au mieux ces technologies de dissipation d'énergie aux applications du génie civil. Par conséquent, ce travail permet d'analyser et de comparer ces réglementations parasismiques sur l'isolation sismique afin d'éclairer et de comprendre aisément cette nouvelle technologie. Cette dernière n'est pas appliquée en Algérie et de même n'est pas incorporée dans le code RPA 99.

Malgré toutes ces révisions, le code Algérien présente encore de grandes défaillances et Un retard important par rapport aux autres codes à travers le monde. Parmi ces défaillances, on Peut citer le manque d'intérêt pour une nouvelle technique de construction parasismique visant à réduire l'effet sismique par isolation à la base (appuis parasismiques) qui semble intéressante Et prometteuse.

IV.2. NOTIONS SUR LES REGLEMENTS DE CONCEPTIONS EN ALGERIE.

IV.2.1. Charges permanentes et charges d'exploitation (DTR-BC 2.2).

Le présent document traite des " charges permanentes" et "charges d'exploitation" des bâtiments, de leur mode d'évaluation et des valeurs de ces charges à introduire dans les calculs.

IV.2.2. Règles parasismiques Algériennes " R.P.A 99 / version 2003" (DTR-BC 2.48).

Le document technique « DTR BC 2-48 » portant sur les « REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA 99 » qui a été approuvé par la commission technique permanente pour le contrôle technique de la construction (CTP).

Ce règlement est organisé comme suit :

- Définir de manière plus précise l'objet du RPA
- Préciser davantage le domaine d'application du RPA
- Préciser les objectifs et les niveaux de protection parasismique recherchés pour les différentes catégories de constructions qui relèvent du domaine d'application du RPA.
- Décrire les principes de conception parasismique à respecter, préalablement à tout calcul (choix de site, implantation,...).
- Revoir les différentes classifications (zonage sismique, sites et sols, catégories d'ouvrages).
- Préciser davantage les critères de régularité en plan et en élévation des constructions.
- Identifier les systèmes structuraux en usage courant en Algérie.
- Préciser les critères de choix de la méthode de calcul des forces sismiques (méthode statique équivalente, méthode d'analyse modale spectrale).
- Décrire la méthode statique équivalente avec les modifications apportées sur les différents paramètres.
- Décrire la méthode dynamique modale spectrale.

- Décrire les critères de sécurité à justifier pour que la structure soit réputée parasismique (système de contreventement, éléments secondaires et éléments non structuraux).
- prévoit les dispositions constructives relatives aux constructions en béton armé, en acier et en maçonnerie porteuse chaînée.
- Envisager un chapitre relatif aux fondations et murs de soutènement (fondations, liquéfaction, stabilité des pentes, murs de soutènement).

IV.2.3. Les règles de conception et de calcul des structures en béton armé C.B.A 93 (DTR-BC 2.41).

Les règles de conception et de calcul des structures en béton armé, en abrégé "C.B.A 93", ont pour objet de spécifier les principes et les méthodes les plus actuels devant présider et servir à la conception et aux calculs de vérification des structures et des ouvrages en béton armé, et s'appliquent spécialement aux bâtiments courants.

IV.2.4. Règle de conception et de calcul des structures en acier "CCM 97": (DTR-BC 2.44).

Ce document technique réglementaire a pour objet la codification du dimensionnement par le calcul et les vérifications des structures de bâtiments à ossature en acier.

Le règlement ne définit que les exigences relatives à la résistance mécanique à l'aptitude au service et à la durabilité des structures.

IV.2.5. Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton : Règles générales et règles pour les bâtiments (DTR-BC 2-4.10).

Le présent document technique réglementaire constitue une base générale pour la conception et le calcul des structures et éléments structuraux mixtes pour les bâtiments et ouvrages de génie civil. Les structures et éléments structuraux mixtes sont constitués d'acier de construction et de béton armé solidarisés de façon à résister aux actions.

IV.2.6. Les règles de conception et de calcul des parois et murs en béton banché (DTR-BC 2.42).

Le document définit les règles de calcul qui sont applicables aux parois et murs en béton banché de tous bâtiments, quelle que soit leur destination : bâtiments d'habitation, de bureaux, scolaires, hospitaliers, industriels, commerciaux ect....

Il donne aussi des indications sur la conception de certains parois et murs en béton banché de façon que les diverses fonctions que ces parois et murs doivent remplir dans un bâtiment courant puissent être assurées convenablement et de façon durable.

IV.2.7. Règles de calcul des fondations superficielles (DTR-BC 2.331).

Ce document donne les charges à prendre en considération, selon le cas étudié, et les vérifications à entreprendre pour garantir la stabilité des fondations superficielles et la sécurité des ouvrages.

IV.2.8. Dénomination provisoire des sols et des roches.

Le présent document permet de décrire un système de classification et de dénomination provisoire des sols dans le souci d'uniformiser les différentes appellations ; cette dénomination provisoire sera basée sur l'aspect visuel et quelques essais ne nécessitant aucun équipement.

IV.2.9. Recommandations techniques pour la réparation et le renforcement des ouvrages.

Ce document régit la conception et l'exécution des travaux de réparation et de renforcement des ouvrages endommagés. Ces règles peuvent servir, en cas de besoin, pour l'évaluation de la capacité de résistance et la vérification de la stabilité des ouvrages existants ainsi que pour leur renforcement éventuel.

IV.3. TECHNIQUES DE L'ISOLATION SISMIQUE.

L'isolation sismique est une stratégie de conception fondée sur l'idée qu'il est possible de séparer la structure du mouvement du sol en introduisant des éléments souples entre la structure et les fondations. Les isolateurs permettent de réduire sensiblement la rigidité structurelle du système, offrant une période fondamentale de la structure isolée beaucoup plus grande que celle de la même structure sans isolateurs. [25]

IV.3.1. HISTORIQUE DE L'ISOLATION SISMIQUE.

Le principe de l'isolation sismique n'est pas nouveau puisque les premières expériences remontent au début du 20^{ème} siècle. La première application de la technologie moderne de l'isolation sismique à la base a été réalisée sur une école élémentaire à Skopje (ex-Yougoslavie) dont la construction a été achevée en 1969. En Amérique du Nord, la première application remonte à 1984. Depuis cette date après les épreuves de l'efficacité de ces systèmes d'isolation pour protéger les bâtiments contre les séismes, plus de 5000 structures (bâtiments et ponts) ont été construites avec les appuis parasismiques dans les régions sensibles aux risques sismiques (USA, Japon, Italie, Chine et Nouvelle Zélande).

Au Japon, les recherches dans ce domaine ont pris beaucoup d'ampleur. Le premier grand bâtiment à base isolée sismiquement a été accompli en 1986. Après le séisme de Kobe (1995), la totalité (99 %) des ponts utilisent actuellement les systèmes d'isolation alors qu'ils ne représentaient que 5 % dans le passé.



Figure IV.1 : Musée national d'art occidental (Japon).

En Italie, les recherches ont commencées en 1988, pour développer cette technique et son utilisation assurée dans la réalisation des constructions civiles et industrielles.



Figure IV.2 : Hôpital Gervasutta à Udine (Italie).

Les Etats-Unis n'ont installé la technologie que sur 150 constructions environ, principalement des grands bâtiments publics qui ont une importance historique ou une fonction stratégique, comme les hôpitaux, les casernes de pompier ou les commissariats de police.



Figure IV.3 : Bâtiment outdoor bench (USA).

En Chine, beaucoup de recherches théoriques et expérimentales ont été menées ces dernières années. Ainsi, il y a plusieurs bâtiments qui sont construits avec l'isolation sismique. Quelques-uns de ces bâtiments se sont bien comportés lors des tremblements de terre de 1994 et 1995.



Figure IV.4 : Gratte-ciels. (Chine)

En France, les premières réalisations remontent à la fin des années 70. Le lycée de Lambesc construit en 1977 a utilisé le système d'appuis parasismiques. Il est à noter que la centrale nucléaire de Cruas -Meysses dans la vallée du Rhône, dont les travaux ont commencé à la même époque, a aussi utilisée les systèmes d'isolation sismiques.



Figure IV.5 : Hôpital Pierre Zobda-Quitman sur appuis parasismiques. (France)

En Nouvelle Zélande, les recherches ont commencées en 1967. La réalisation d'immeubles des bureaux et des grandes usines conçues avec l'isolation sismique, a commencée au début des années 80.



Strengthened foundation with base isolators inserted

Figure IV.6 : Immeuble william clayton wellington (Nouvelle Zélande)

Le CTC-Chlef a récemment finalisé la construction du siège de son agence à Ain Defla, construit sur des appuis parasismiques à base d'élastomère.

La Grande Mosquée d'Alger est un autre projet qui édifée sur une combinaison des appuis parasismiques (figure IV.7) et des amortisseurs.



Figure IV.7 : Le Grand mosquée d'Alger. (Algérie)

IV.3.2. OBJECTIFS DE L'ISOLATION PARASISMIQUE.

Les objectifs principaux de la construction parasismique sont de :

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

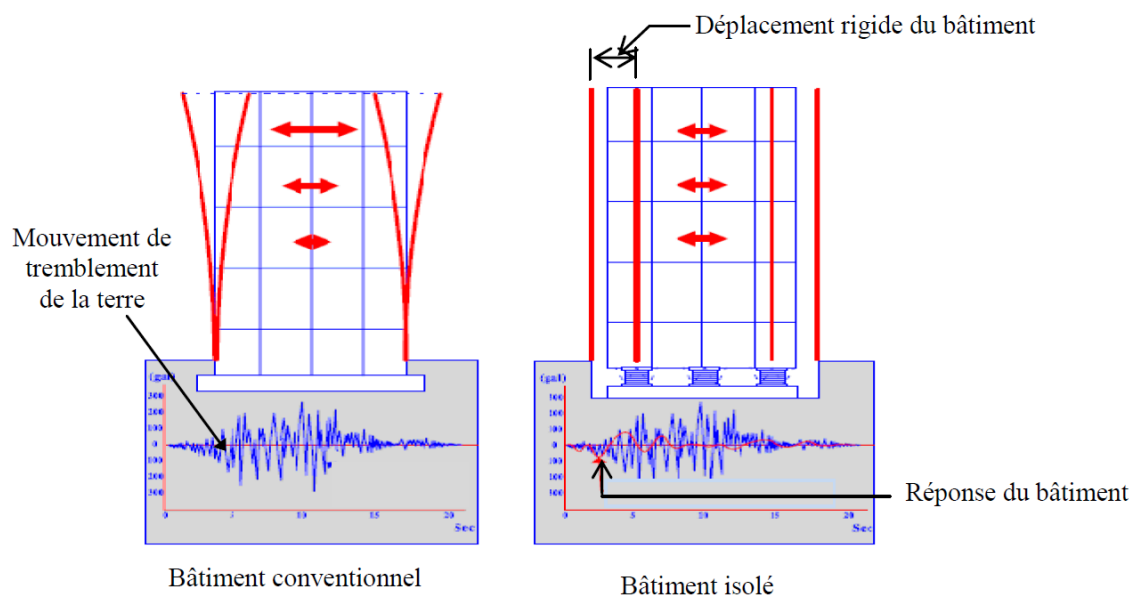


Figure IV.8 : Effets d'une secousse sismique sur un bâtiment avec et sans isolation à la base. [26]

IV.3.3. PRINCIPE DE BASE DE L'ISOLATION SISMIQUE A LA BASE.

L'isolation à la base repose sur le fait que si la période de vibration est augmentée suffisamment pour s'éloigner de la période d'excitation prédominante du tremblement de terre, les accélérations transmises à la structure (et par conséquent les forces d'inertie) sont considérablement réduites. En revanche, l'augmentation de la période engendre des déplacements plus importants concentrés au niveau de l'isolateur. Dès lors l'incorporation d'un dispositif de dissipation d'énergie (amortisseur) à l'isolateur est requise afin de contrôler les déplacements et réaliser un compromis satisfaisant entre la réduction de la force et l'accroissement du déplacement [27], [28]. La figure (IV.9) présente, de façon idéalisée, l'effet de l'accroissement de la période et de l'amortissement sur les accélérations et déplacements sismiques.

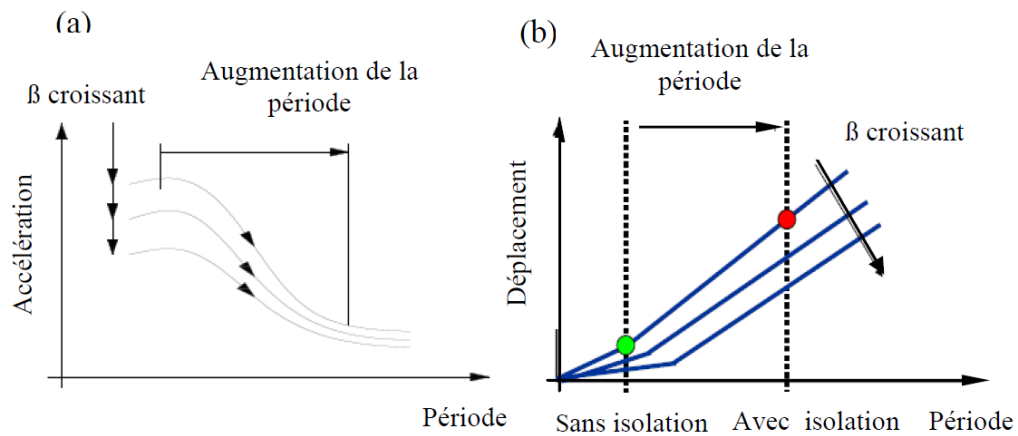


Figure IV.9 : Effets d'une secousse sismique sur un bâtiment avec et sans isolation à la base. [29], [30]

Les isolateurs à la base présentent généralement les caractéristiques suivantes [31] :

- Mouvement de basse fréquence avec amortissement élevé.
- Mécanisme sans entretien de déplacement latéral du bâtiment, réduisant l'énergie (c-à-d, la charge) transférée du sol vers la structure du bâtiment et permettant de retrouver la position d'origine après le séisme.
- Suffisamment flexible pour se déplacer latéralement et suffisamment rigide pour atténuer les charges au centre de gravité et rester immobile malgré des surcharges de vent... etc.
- Pièces de fixation rigides entre la structure du bâtiment et la fondation.

Les systèmes d'isolation sismique sont largement utilisés dans le monde dont l'application a été plus au moins répandue et une revue exhaustive de ces systèmes dépasse le cadre de ce travail. Néanmoins, on peut grossièrement classer les systèmes d'isolation sismiques en deux catégories, à savoir : les appuis à base d'élastomères et les appuis de glissement. [28]

IV.3.4. LES DIFFÉRENTS TYPES DES APPUIS PARASISMIQUES.

La réussite de l'isolation sismique d'une structure particulière dépend fortement du choix approprié des dispositifs d'isolateurs, La plupart des systèmes utilisés aujourd'hui incorporent les appuis élastomères, l'élastomère étant le caoutchouc normal ou le néoprène, ou les appuis de glissement. Les systèmes qui combinent les appuis élastomères et les appuis de glissement ont également été proposés et mis en application [30].

IV.3.4.1. APPUI A BASE D'ÉLASTOMÈRE.

Les appuis à base d'élastomère se composent de couches alternées d'élastomère et d'acier liés les unes aux autres. L'élastomère est un matériau macromoléculaire qui reprend approximativement sa forme et ses dimensions initiales après avoir subi une importante déformation sous l'effet d'une variation de contrainte [28].

Le matériau de base est obtenu en faisant subir une série de transformations au matériau brut malaxé avec différentes charges, après traitement, le produit se présente sous forme de feuilles de quelques millimètres d'épaisseur. Celle-ci sont empilées avec des frettes en acier, préalablement nettoyées et traitées, dans des moules dont les dimensions correspondent à celles du produit que l'on veut obtenir. L'ensemble est alors comprimé et vulcanisé par chauffage [7].

On retrouve : Appui en élastomère à faible amortissement, Appui en élastomère à amortissement élevé, Appui en élastomère au noyau de plomb.

IV.3.4.1.1. Appui en élastomère à faible amortissement.

Les appuis en élastomère à amortissement faible (figure IV.10) sont employés avec les dispositifs d'amortissement supplémentaires, tels que les amortisseurs visqueux, les barres en acier, dispositifs de friction, et ainsi de suite [30]. L'élastomère utilisé dans ces appuis peut être l'élastomère normal ou le néoprène. L'amortissement critique pour ce type d'appui varie seulement de 2% à 3% [25].

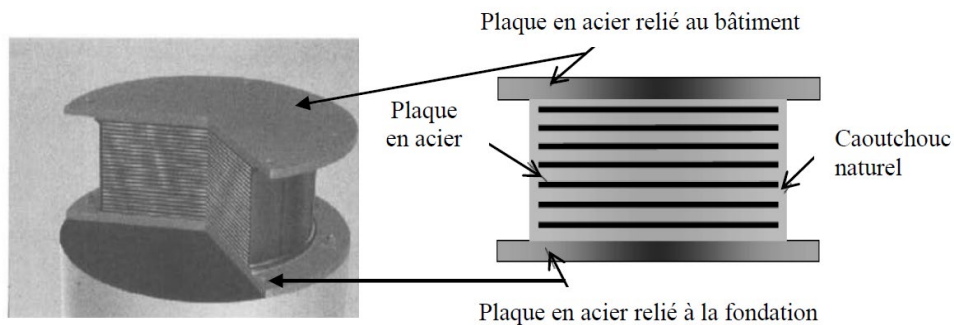


Figure IV.10 : Appuis en élastomère à amortissement faible. [32]

IV.3.4.1.2. Appui en élastomère à amortissement élevé.

L'appui en caoutchouc à amortissement élevé se compose de plaques en élastomère et en acier, mais il possède la flexibilité nécessaire aussi bien que les possibilités de dissipation d'énergie [33] [7]. La figure (IV.11) montre un exemple d'appui en caoutchouc à amortissement élevé.

Un modèle bilinéaire peut être adopté pour illustrer l'effet de la force latérale appliquée sur l'appui et le déplacement correspondant. La constante d'amortissement s'étend généralement entre 8% et 20% [30].

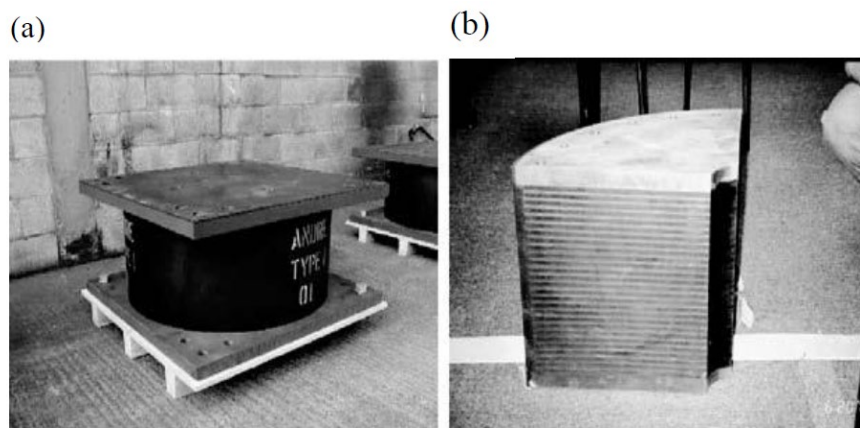


Figure IV.11 : (a) Appui en élastomère à amortissement élevé, (b) la coupe de section de l'appui. [33]

La figure (IV.12) présente la forme de l'appui en élastomère au repos et sa déformé lors d'un séisme.

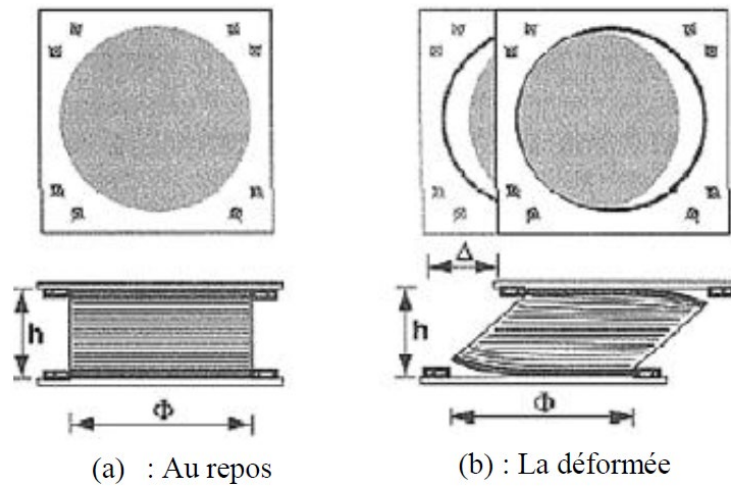


Figure IV.12 : Appui en élastomère : (a) au repos, (b) la déformée de l'isolateur.

IV.3.4.1.3. Appui en élastomère au noyau de plomb.

Les appuis en élastomère avec un noyau de plomb se composent aussi de couches alternées d'élastomère et d'aciers liés les unes aux autres autour d'un noyau de plomb, inséré au centre, comme le montre la figure (IV.13) [34].

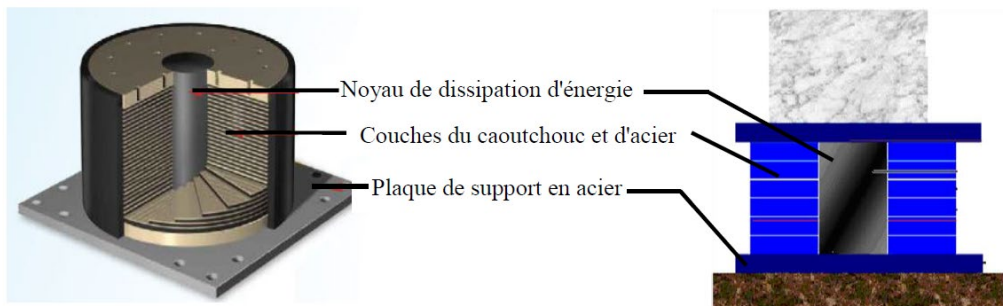


Figure IV.13 : Appui en élastomère au noyau de plomb.

La réalisation de l'appui en élastomère au noyau de plomb dépend de la force latérale imposée. Si la force latérale est petite, le mouvement des plaques en acier est retenu par le noyau de plomb, et l'appui montre une rigidité latérale plus élevée. Si la force latérale devient plus grande, les plaques en acier forcent le noyau de plomb à se déformer, et l'hystérésis d'amortissement est développée avec de l'énergie absorbée par le noyau de plomb. En conséquence, la rigidité latérale de l'appui est réduite [33], [35]. L'amortissement équivalent de l'appui en élastomère au noyau de plomb change de 15% à 35%. Un modèle bilinéaire est habituellement employé pour représenter les propriétés mécaniques de l'appui en élastomère au noyau de plomb [25].

Le principe de ce type d'appuis est le suivant [31] :

- Les couches en caoutchouc assurent un déplacement latéral, absorbent l'énergie induite lors du séisme, réduisent le transfert de charges du sol vers la structure du bâtiment et permettent de retrouver la position d'origine après le séisme.
- Les couches en acier assurent une capacité portante verticale du sol et un confinement du noyau en plomb.
- Le noyau en plomb limite les déplacements latéraux de la structure sous des surcharges de vent, absorbe une partie de l'énergie sismique et contrôle le déplacement latéral de la structure.

IV.3.4.2. APPUIS DE PENDULE A FRICTION.

L'interface de glissement permet de dissiper l'énergie sismique par frottement. A titre d'exemple, le système de pendule à friction est un système qui utilise une interface de glissement sous forme de cuvette, portion d'une sphère, qui confère à la structure un mouvement global similaire à un pendule [36]. Le rayon de courbure et le coefficient de frottement de l'interface sont les caractéristiques clé qui contrôlent la période d'isolation et la quantité d'énergie dissipée par le système [35]. La figure (IV.14-a) montre l'appui de pendule à friction avec une surface de glissement sphérique ou concave.

Un appui de pendule à friction avec doubles surfaces concaves à récemment été développé. La figure (IV.14-b) décrit schématiquement ce type d'appui. Comparé à l'appui de pendule à frottement avec une surface concave simple, l'utilisation de doubles surfaces concaves peut réaliser le même mouvement horizontal avec réduction de la taille de l'appui [33].

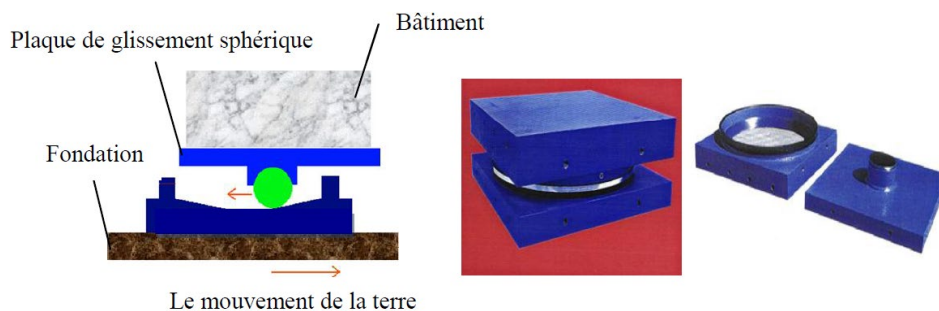


Figure IV.14-a : Appui de pendule à friction.

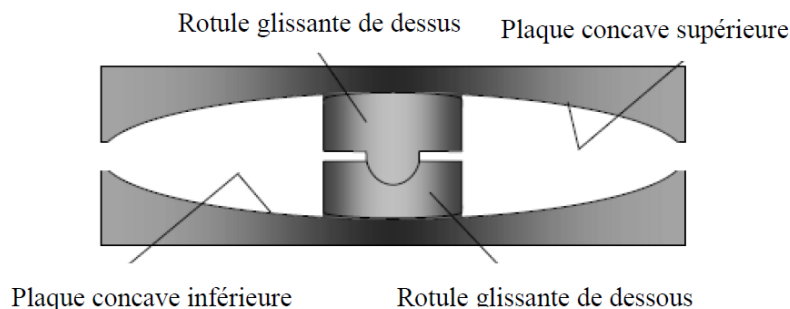


Figure IV.14-b : Appui de pendule à friction avec doubles surfaces concaves. [33]

La figure (IV.15) présente les différentes formes de déformé de l'appui de pendule à friction pendant le séisme.

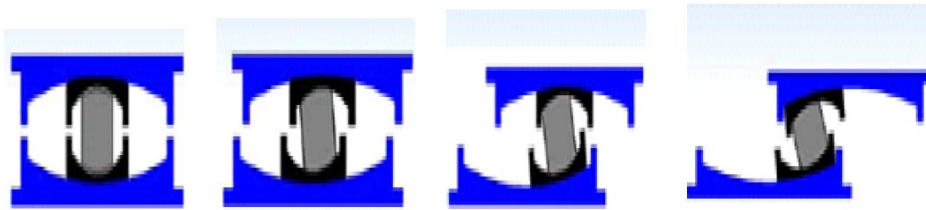


Figure IV.15 : Les différentes déformations de l'appui de pendule à friction.

Le choix du type d'appareil d'appui dépend de nombreux facteurs : descente de charge, rotation maximale, déplacements horizontaux, durabilité, coût, le type d'ouvrage, son environnement et ses dispositions constructives. C'est pourquoi il est délicat de pouvoir préciser le domaine d'emploi respectif d'une technique par rapport à une autre [25].

En zone sismique, même pour de fortes descentes de charges, il est préférable de prévoir des appareils d'appui en élastomère. En effet, compte tenu de la souplesse qu'apportent ces appuis, le comportement global de l'ouvrage sous séisme d'amplitude modéré est meilleur. Sous fort séisme, les appareils d'appui en élastomère se déchireront, et leur remplacement sera moins coûteux que s'il s'agit des systèmes de pendule à friction [37].

IV.3.5. CONFIGURATION DE L'ISOLATION SISMIQUE.

L'isolation sismique consiste à séparer la structure de sa fondation et à la faire reposer sur cette dernière par l'intermédiaire des isolateurs en élastomères naturels ou synthétiques, avec ou sans dispositifs complémentaires d'amortissement [38].

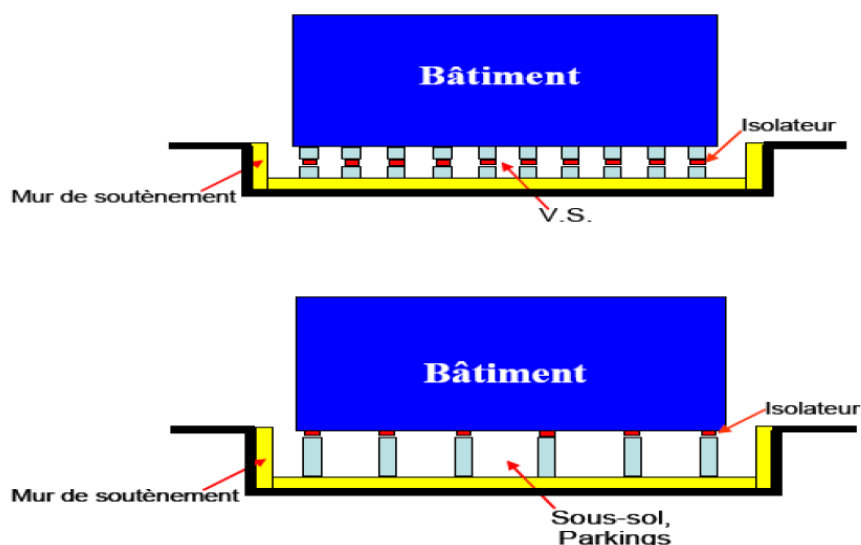


Figure IV.16 : Possibilités de dispositions des « isolateurs » dans le cas d'un vide-sanitaire ou d'un sous-sol.

Les mouvements résultant des appuis, et qui sont généralement de l'ordre de plusieurs centimètres, suivant l'importance du séisme, ne doivent être contrariés par aucun obstacle. Les appuis ne peuvent donc pas être enserrés par un remblai ou par un trottoir.

Un espace libre doit régner autour de la fondation supérieure (premier plancher du bâtiment). L'écart laissé au bâtiment doit être calculé, ce qui peut être gênant en ce qui concerne les réceptions et les accès.

Les connexions (eau, gaz, électricité, etc.) entre le bâtiment et son environnement doivent être conçues en fonction des mouvements cités plus haut. Il ne faut pas perdre de vue aussi la nécessité de permettre le remplacement éventuel des appuis en prévoyant « des vérins » [37].

IV.3.6. AMORTISSEURS.

Les différents isolateurs peuvent être accompagnés par des dispositifs d'amortissements, ils ont le même principe de base lorsqu'ils sont incorporés dans la structure : ils peuvent absorber une portion d'énergie. En plus, ils peuvent réduire substantiellement le mouvement différentiel entre les éléments de la structure et par conséquent réduire les dégâts que peut subir la structure [29]. Ces dernières années, l'amélioration du concept des systèmes de dissipation d'énergie, et plusieurs appareils ont été installés dans des structures partout dans le monde. En général, ils sont caractérisés par leur capacité de dissiper l'énergie de vibration de la structure ou de la convertir en un autre mode de vibration ou en une autre forme d'énergie [31].

Il existe essentiellement deux types de dispositifs d'amortisseurs. Ils sont désignés sous les noms d'amortisseurs à frottement, et d'amortisseurs visqueux. Ils ont pour rôle commun de dissiper l'énergie induite lors d'un séisme en une énergie thermique. [29]

IV.3.6.1. AMORTISSEUR A FROTTEMENT.

Le principe de ces amortisseurs repose sur le phénomène de dissipation de l'énergie par frottement. Pour protéger la structure des ruptures, il est évident que l'action calculée et le nombre d'amortisseurs à frottement à mettre en place, sont liés au système structurel et au mouvement sismique [33], [31]. La figure (IV.17) présente un exemple d'amortisseur à frottement et les différentes méthodes de leur mise en œuvre.

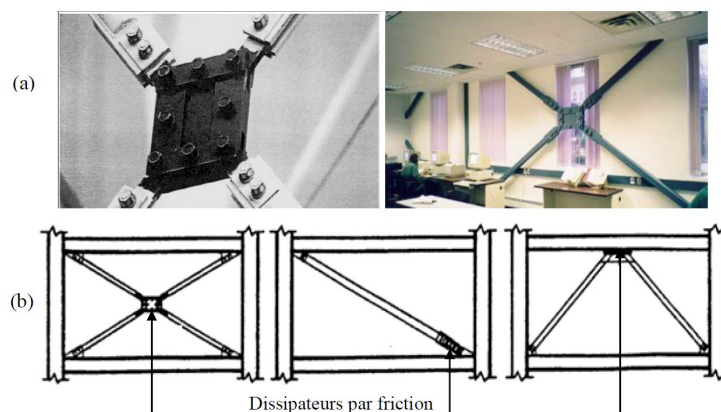


Figure IV.17 : (a) Amortisseur à frottement, (b) différentes méthodes de mise en œuvre. [31]

IV.3.6.2. AMORTISSEURS VISQUEUX.

Les amortisseurs visqueux sont des tiges qui se déplacent selon un mouvement de va-et-vient dans un cylindre de liquide visqueux et qui libèrent l'énergie induite lors d'un séisme au moyen d'un frottement entre la tige, le cylindre et le liquide [29]. La figure (IV.18) présente un schéma d'un système de contreventement par amortisseur visqueux dans un bâtiment.



Figure IV.18 : Système de contreventement avec amortisseurs visqueux dans un bâtiment. [31]

IV.3.7. LES REGLES DE CONCEPTION DES APPUIS.

L'utilisation des appuis impose une conception spécifique [37] :

- Réaliser une fondation inférieure dans un même plan horizontal comportant des plots en béton armé (appuis) dont on assure l'encastrement au niveau des fondations.
- Réaliser une fondation supérieure constituant la base commune du bâtiment disposée dans un plan horizontal rigoureusement parallèle à celui de la fondation inférieure et encastree dans le bâtiment.
- Prévoir une hauteur libre pour permettre le vérinage et la visite des appareils d'appuis. Pour l'accès du personnel d'inspection et d'entretien il faut prévoir :
 - ✓ 45 cm pour l'accès à « plat-ventre »,
 - ✓ 1,50 à 2,00 m pour un accès normal dans le cas d'un vide-sanitaire.
- Au niveau des têtes d'appuis, prendre toutes les dispositions pour permettre la pose, l'accès, le réglage, voire le changement des appareils d'appui (emplacements de vérinage) aussi bien pendant l'exécution que pendant la durée de vie de l'ouvrage.
- Les appuis doivent travailler de la même façon, ce qui implique un contrôle strict de leur horizontalité et de l'uniformité de la répartition des compressions sous charges statiques. Ce dernier point nécessite une très bonne connaissance de la descente des charges et montre que l'utilisation du système est a priori délicat, notamment si le sol d'assise a des caractéristiques médiocres, en raison des tassements différentiels susceptibles de se manifester. Des recalages d'appuis au moyen de vérins peuvent être envisagés pour uniformiser les compressions.

- Les liaisons du bâtiment avec l'extérieur (accès, raccordements avec les réseaux extérieurs) doivent être conçues pour répondre sans dommages aux déplacements relatifs entre le bâtiment sur appuis et son environnement solidaire du sol.

IV.3.8. INSTALLATION DE L'ISOLATEUR SISMIQUE.

Les isolateurs sont installés entre la fondation et la structure, figure (IV.19). La connexion doit assurer que les forces maximum sont sans risque transférées à partir de la fondation par l'isolateur à la structure au-dessus [34].

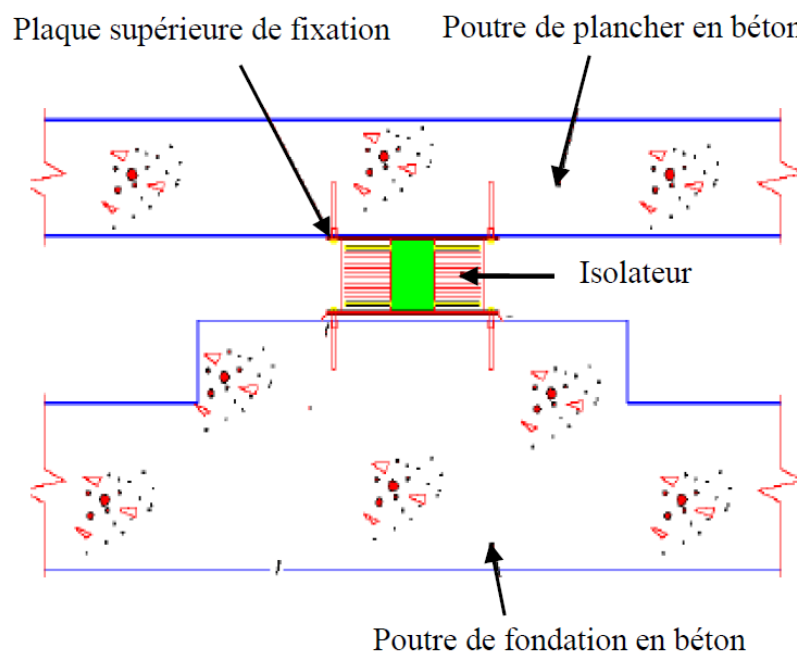


Figure IV.19 : Installation de l'isolateur dans un bâtiment. [37]

IV.3.8.1. INSTALLATION DE L'ISOLATEUR SISMIQUE.

- Placer les vérins hydrauliques
- Appliquer la pression
- Bloquer les vérins
- Placer la machine pour couper le morceau du poteau désigné pour placer l'isolateur
- Enlever le morceau de colonne
- Mettre en place l'isolateur

IV.4. CONCLUSION.

Dans ce chapitre, on a présenté une notion générale sur les règlements de conceptions en Algérie, en dotant les différents documents de conception, leurs définitions ainsi que leurs importances dans la conception parasismique.

Ensuite nous avons présenté une revue bibliographique qui a pour objectif, l'historique de l'isolation sismique à la base, les principes et fondements théoriques de cette discipline ainsi qu'une brève description des principaux systèmes d'isolation utilisées.

La sélection des types d'isolateurs à la base appropriés pour des bâtiments nécessite une évaluation des caractéristiques du bâtiment, des normes de performance sismique et des coûts de construction. Cependant l'appui en élastomère à amortissement élevé fournit un système simple et économique, de sorte qu'il n'a pas besoin des dispositifs d'amortissements.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le séisme est un évènement naturel qui provoque plusieurs dégâts humains et Matériels, c'est pour cela que l'on trouve dans le monde plusieurs règlements concernant le calcul parasismique.

L'analyse sismique de la structure est effectuée conformément aux prescriptions et aux recommandations du règlement parasismique Algérien (RPA 99/2003) et du règlement Européen (EC8) et le code américain (l'UBC 97).

L'objectif de ce mémoire c'est l'étude comparative de l'RPA99/Version 2003 avec l'UBC97 et l'Eurocode 8, focalisée sur certains points importants, afin d'effectuer trouver les différences et les points communs entre les trois codes et les inconvénients des codes algériennes. Cependant il est à conclure que la réglementation parasismique Algérienne reste toujours insuffisante en matière de conception et de réalisation d'ouvrages capables de résister aux effondrements au vu des constatations faites durant tous les séismes qui nous ont frappés et marqués.

Après la comparaison faite et dans le cadre de la contribution à l'amélioration de la réglementation existante qui consiste à corriger les défaillances observées par la proposition des recommandations suivantes :

- Ajouter d'autres classes de sites pour une meilleure reconnaissance des zones liquéfiables ou instables.
- Appliquer des Règles Algériennes parasismique sur les bâtiments existants.
- Adopter la technique de l'isolation parasismique à la base, pour quelques ouvrages vitaux du Groupe 1A, ou les établissements recevant du public des deux premières catégories et les immeubles de grande hauteur.
- Les RPA 99-Version 2003 ne donnent pas une méthode détaillée pour le dimensionnement des voiles en béton armé, et sa philosophie de dimensionnement s'articule sur l'approche « multi-fusible » qui est particulièrement adaptée pour les bâtiments en zone de faible à moyenne sismicité. Une proposition orientée vers l'approche « mono-fusible » est présentée pour une future révision des RPA sur la base des codes européen et américain.
- Revoir les coefficients de comportement pour les structures autostables avec insertion de la maçonnerie et pour les structures mixtes.
- Définir aussi des degrés de ductilités pour les structures en fonction de la qualité d'exécution et du contrôle.
- Adopter un même spectre de calcul simplifié pour le calcul statique et dynamique sans aucune majoration.

- Actualisé les méthodes de calcul sismique, en introduisant les méthodes non linéaires dans le calcul des structures tel que pushover.

Les techniques antisismiques modernes représentent un excellent, et souvent économique, système pour réaliser une protection sismique efficace des structures nouvelles et existantes. L'isolation sismique à la base améliore considérablement la protection des bâtiments pour deux raisons essentielles: la réduction de la déformation des éléments structuraux et l'atténuation des accélérations transmises à la structure. La première permet une réduction de la quantité de matériaux dans la superstructure et la seconde, limite le risque de dommages pour le contenu, particulièrement important lorsqu'il s'agit d'équipements fragiles qui doivent rester opérationnel pendant et après un séisme.

Grâce aux isolateurs parasismiques, un niveau potentiellement élevé de protection des bâtiments par rapport aux techniques conventionnelles peut être atteint avec, en plus, la réalisation d'économies sur les coûts du projet.

L'introduction à l'isolation sismique nous a permis d'avoir une initiation sur une nouvelle conception des structures sur appuis parasismiques, domaine qui n'est pas encore maîtrisé en Algérie, vu que l'Algérie est un pays à forte sismicité, nous préconisons l'application de la méthode d'isolation parasismique pour les ouvrages qui sont appelé à rester opérationnels pendant et après un séisme.

Ainsi, en perspective, il est d'abord intéressant de commencer par la modélisation des isolateurs (l'élastomère) en trois dimensions, faire une étude paramétrique pour vérifier les effets du vieillissement des appuis. Ensuite, le plus important est d'introduire l'interaction sol - isolateur - structure.

Des références bibliographiques sont données ci-après pour permettre au lecteur d'approfondir chaque chapitre abordé.

Références bibliographiques

- [1] 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.
- [2] LEBOUAZDA, Djallel et DARDOUR, Saad. Etude comparative de l'RPA 99 version 2003 avec l'ubc 97 et l'Eurocode 8–Etude de cas d'un bâtiment de 04 étages. 2020. Thèse de master. Univ M'sila.
- [3] ARIBI, Messaoud. CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DES REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES. 2018. Thèse de master. Université Mohamed Boudiaf-M'sila.
- [4] Règles Parasismiques Algériennes (RPA99/version 2003), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [5] EC 8 (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.
- [6] UBC (1997) Uniform Building Code, Conférence internationale des responsables du bâtiment. Whittier, Californie, États-Unis.
- [7] ZACEK, Milan. Conception parasismique des bâtiments. 2010.
- [8] YASSINE, AHMED. TABLISSEMENT D'UN SPECTRE DE CALCUL RÉGION DE BOUMERDES. 2017. Thèse de master. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
- [9] <https://tpebatimentsparasismiques.weebly.com>. consulté le : 20/05/2021 à 14:02.
- [10] BERRAG, Boulanouar et SULTAN, Mohammed Hamood Ahmed. Effet de l'isolation à la base sur les structures à plusieurs degrés de liberté. 2020. Thèse de doctorat. Univ M'sila.
- [11] https://www.craag.dz/r_sismologique. consulté le : 02/05/2021 à 11:29.
- [12] CHEIKH, Benazouz. Evaluation des performances sismiques des ossatures en béton armé par la méthode PBSB (performance based seismic design) basée sur l'analyse statique non-linéaire. 2009. Thèse de magister. Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, Alger.

- [13] BOUTERAA, Zohra. Evaluation De La Vulnérabilité Sismique Des Ponts De La Wilaya De Chlef. Thèse de magister. Université de Chlef-Hassiba Benbouali.
- [14] Règles Parasismiques Algériennes (RPA81), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [15] Règles Parasismiques Algériennes (RPA81 version 1983), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [16] Règles Parasismiques Algériennes (RPA 88), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [17] Règles Parasismiques Algériennes (RPA99), Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique, Algérie.
- [18] FEKHIT Ahmed, HANI Mustapha, Etude comparative relative à la prise en compte des conditions de site locales dans les spectres de réponses RPA, Eurocode et UBC, Université Ziane Achour de Djelfa, 2.16.
- [19] CHEBIHI Amina, Investigations numériques sur la réponse sismique des structures et confrontation aux dispositions réglementaires des RPA 99/2003, UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE, 2010.
- [20] BADAOUIM, Influence de l'hétérogénéité géologique et mécanique sur la réponse des sols multicouches, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Polytechnique ENP, 2008.
- [21] DOGONGUN Adem, LIVAOGL Ramazan, A comparative study of the design spectra defined by Eurocode 8, UBC, IBC and Turkish Earthquake Code on R/C sample buildings, Karadeniz Technical University, Department of Civil Engineering, 61080 Trabzon, Turkey.2006
- [22] Maha Gaafar Ahmed El-Nourani, Seismic Forces in Buildings: A Comparative Study with Universal Seismic Codes, A THESIS SUBMITTED TO UNIVERSITY OF KHARTOUM IN PARTIAL FULFILLMENT FOR THE DEGREE OF M.SC. IN STRUCTURAL ENGINEERING, University of Khartoum 2003.
- [23] FEMA 302, NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures 1997.
- [24] V.V.Bertero and Y. Bozorgnia, The Early Years of Earthquake Engineering and Its Modern Goal, A paper published in a book "Structural Engineering Handbook",CRC Press LLC 2004.

- [25] F. Naeim and J.M. Kelly (1999). “Design of seismic isolated structures: from theory to practice”, John Wiley et Sons, New York.
- [26] CASSANDRA, Dion. étude numérique et expérimentation du comportement dynamique des ponts avec isolateurs et amortisseurs sismiques. 144p, maîtrise ès sciences appliquées, DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL, GÉNIE CIVIL, 2010.
- [27] L. Guizani, ing., M.Sc.A « Sur l’isolation sismique des ponts au Canada» ,Les Industries Z-Tech Inc.
- [28] 16 O.Ben Mekki «Amortissement semi-actif des structures flexibles », thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Mai 2006.
- [29] A. Whittaker « Seismic protective systems», CIE 619 Earthquake Engineering and Structural Dynamics II
- [30] E. Acar « Comparison of design specifications for seismically isolated buildings », thèse of Master, the graduate school of natural and applied sciences of Middle East technical University, FEBRUARY 2006
- [31] S. Foo, N. Naumoski et M. Saatcioglu « Aléas sismiques, code du bâtiment et opinions d’atténuation des risques pour les immeubles Canadiens ». Département de génie civil, Université d’Ottawa (Ontario), Canada
- [32] FEMA-450 Applied Technology Council « NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Part 1—Provisions, prepared by the Building Seismic», chapitre 13, Safety Council of the National Institute of Building Sciences, 2003.
- [33] F.Y. Cheng, H. jiang, K. Lou «Smart structures innovative systems for seismic reponse control», Taylor & Francis group London New York,2008.
- [34] E. M. Lapointe « An investigation of the principles and practices of seismic isolation in bridge structures », thèse of Master, Submitted to the Department of Civil and Environmental Engineering, May 7,2004
- [35] Y. Bozorgnia, V. V.Bertero « Earthquake engeneering: from engineering seismology to performance

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [36] M. Eroz « advanced models for sliding seismic isolation and applications for typical multi-span highway bridges », Georgia Institute of Technology December 2007
- [37] T. E Kelly, S.E « Base isolation of structures », Holmes Consulting Group Ltd, New Zealand, Design guidelines July 2001.
- [38] S. Djouadi & O. Cherrak « Etude d'un bâtiment sur appuis parasismiques », mémoire de PFE, Ecole Nationale des Travaux Publics, 2004.