République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de génie de la construction
Département de génie civil

MEMOIRE de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme du master 2 academique en génie civil
Option : structure

Thème

Les lignes directrices pour l'évaluation sismique du bâti existant de la ville de Tizi-Ouzou

Présenté par :

Melle ZIDELMAL LILA

Dirigé par :

Mr Hamizi .M

Promotion 2010/2011

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Dédicaces

Je dédié ce modeste travail à:

- Mes très chers parents

- Mon cher frère Karim et mes adorables sœurs : Nassima, Nora et Fadhila.

-La mémoire de mon cher cousin Saïd.

- Mon adorable beau frère Saïd

- Mes grands parents

- Mes tantes et mes oncles.

-zizi Ahmed et sa famille

- Mes cousins et cousines.

- Tous mes amis et amies.

- Tous ceux qui me portent dans Leurs cœurs

..... ***Lila***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Sommaire Page

Introduction générale.....02
Chapitre I Généralités sur les séismes
I .1. Définition d'un séisme.....05
I.2.Les types de séismes 05
I.2.1.Les séismes inter-plaques,.. 05
I.2.2. Les séismes intra-plaques.....05
I.2.3.Les séismes liés à l'activité volcanique 05
I .3. Caractéristiques d'un séisme.....05
I.4.L'enregistrement des séismes.....06
I.4.1. La magnitude de Richter.....06
I.4.2. L'intensité macrosismique 06
I.5.Les mécanismes de rupture 08
I.5.1. Failles normales.....08
I.5.2. Failles inverses.....08
I.5.3.Failles décrochantes 08
I.6. Les différentes ondes sismique.....09
I.6.1. Les ondes de volumes.....09
I.6.2. Les ondes de surfaces 10
I.7. les effets du séisme 11
I.7.1. Effets du séisme sur site 11
I.7.1.1.Effet directs 11
I.7.1.2. Les effets induits 14
I.7.1.3. Le tsunami.....17
I.8. La sismicité en Algérie 18
I.8.1.Classiication des zones sismiques en Algérie 21
Chapitre II. Effets du séisme sur les constructions
II.1. Effets des oscillations horizontales sur les constructions 23
II.1.1.Dommage dus aux cisaillements 23
II.1.2. Déformation de flexion d'ensemble 23
II.1.3. Effets dus au cisaillement et à la flexion 25
II.1.4. Effet P-Delta 25
II.1.5. Balancement des constructions 25
II.2. Effets des oscillations verticales sur les constructions.....25
II.3. Effets des oscillations de torsion.....26
II.3.1.Torsion structurelle 26
II.3.2.Torsion accidentelle 26
Chapitre III. Présentation des lignes directrices
III.1. Introduction 29
III.2.L'objectif des lignes directrices 29
III.3.La méthodologie des lignes directrices.....29
III.3.1. La méthode d'évaluation 30

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.3.1.1.visite des lieux et collecte de données 30
III.3.1.2.détermination du système de résistance aux forces latérales et revue initiale des énoncés d'évaluation 30
III.3.1.3.Travaux de suivi sur place 30
III.3.1.4. analyse du bâtiment.....31
III.3.1.5.l'évaluation finale 31
III.3.1.5.1.revue des énonces et des réponses.....31
III.3.1.5.2.groupement et revue des résultats de l'évaluation sismique.....31
III.3.1.5.3.préparation d'une liste des faiblesses.....31
III.3.1.5.4. L'évaluation imale 32
III.3.1.6.le rapport 32
III.4.Les lignes directrices que nous avons choisies pour l'évaluation en fonction de la typologie.....32
III.4. 1 .Redondance en plan.....32
III.4. 2. Les irrégularités en élévation.....32
III.4. 3. La régularité en plan.....33
III.4. 4.La largeur des joints sismiques.....34
III.4. 5.La vétusté des matériaux 34
III.4.6. Liquéfaction.....34
III.4. 7. Tassement du sol 35
III.4.8. Présence d'un diaphragme rigide 35
III.4.9. Présence de niveaux ouverts.....35
III.4.10. Présence de poteaux courts 36
III.4.10.1. Poteaux de Verus ouverts 36
III.4.10.2. Poteau court d'origine structurelle.....37
III.4.11.Système poteaux faibles, poutres fortes 37
III.4.12.Terrain en pente.....38
III.4.13.présence de porte à faux important.....38
III.4.14.Elancements des éléments porteurs verticaux.....38
III.4.15.Modiication de la structure d'origine 39
III.4.16.L'âge de la construction 39
III.4.17.Présence de niveaux décalés.....39
III.4.18.présence d'un angle affaibli.....40
III.4.19.problèmes concernant les escaliers..... 40
III.4.20.Poteaux poutre non .concourant 40
III.4.21.Eléments non structuraux 41
III.4.21.1. Cloisons.....41
III.4.21.2. Les acrotères non chaînés et les cheminées élancées 41
III.4.21.3. Les ouvertures et les linteaux 41
Chapitre IV. Evolution du bâti dans la ville de Tizi-Ouzou
IV.1.Historique de la wilaya de Tizi-Ouzou.....43
IV.2.La commune et la daïra de Tizi-Ouzou.....44
IV.3 .Situation géographique et économique de la ville de Tizi-Ouzou.....45

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV. 4.Evolution du bâti dans la ville de Tizi-Ouzou 46
IV.5.Typologie des constructions dans la ville de Tizi-Ouzou.....52
IV.5.1. Introduction.....52
IV.5.1.1.Structures en maçonnerie traditionnelle.....52
IV.5.1.2.Structures à ossature en béton armé.....53
IV.4.1.3.Structures en voiles.....54
IV.4.1.4.Systèmes mixtes en portiques et voiles.....54
Chapitre V. Evaluation de la vulnérabilité des bâtiments par l'application des lignes directrices
V.1.INTRODUCTION.....57
V.1.1.Classification typologique des constructions.....57
V.1.2.Le degré des dommages.....57
V.1.2.1.Echelle des dommages utilisée 57
V.1.3.Intensité des séismes.....60
V.2.Le principe de la méthode 60
V.3.Données et définitions de base 60
V.3.1.Données préliminaires préalablement recueillies 60
V.3.1.1. Année de construction 60
V.3.1.2 .Zone sismique effective 60
V.3.1.3 .Renseignements sur les sols 61
V.4.Les facteurs graves 62
V.5.Domaine d'application de la méthode 62
V.6.les grandes étapes de la méthode 62
V.7. Organigramme de la méthode.....64
V.8.Détermination des pénalisations de la vulnérabilité 65
V.9.Les fiches d'évaluation de la vulnérabilité.....66
V. 9.1 .La fiche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions en maçonnerie non chainée.....66
V. 9.2 .La fiche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions en maçonnerie chainée.....67
V. 9.3 .La fiche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions auto stable anciennes.....68
V. 9.4 .La fiche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions auto stable récentes.....69
V. 9.5 .La fiche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions avec voiles porteurs récentes.....70
V. 9.6 .La fiche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions avec voiles porteurs anciennes.....71
V .10. Evaluation de la vulnérabilité des bâtiments par l'application de la méthode pénaliste.....72
V .10.1.Etude du bâtiment auto stable.....72
V .10.1.1. Présentation et description du bâtiment auto stable.....72
V .10.1.2.Fiche d'évaluation du bâtiment auto stable.....72

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V .10.1.2.1.Evaluation de la vulnérabilité sans tenir compte des conditions du sol et de l'état de conservation de la construction ……73
V .10.1.2 .2.Evaluation de la vulnérabilité en tenant compte des facteurs graves……73
V .10.1.2 .3.Evaluation de la vulnérabilité en tenant compte des conditions du sol ……74
V .10.1.2 .3.Evaluation de la vulnérabilité en tenant compte de l'état de conservation de la construction……74
V .10.2.Etude du bâtiment mixte……74
V .10.2.1. Présentation et description du bâtiment mixte……74
V .10.2.2.Fiche d'évaluation du bâtiment auto stable……74
V .10.2.2.1.Evaluation de la vulnérabilité sans tenir compte des conditions du sol et de l'état de conservation de la construction ……74
V .10.2.2 .2.Evaluation de la vulnérabilité en tenant compte des facteurs graves ……74
V .10.2.2 .3.Evaluation de la vulnérabilité en tenant compte des conditions du sol ……74
V .10.2.2 .3.Evaluation de la vulnérabilité en tenant compte de l'état de conservation de la construction……74
Chapitre VI. Application de la méthode push-over sur les bâtiments
VI.1. Introduction……78
VI .2.La demande sismique ……78
VI .3. La capacité sismique ……78
VI.3.1. Analyse statique non linéaire ……79
VI.3.2.Déinition de l'analyse push -over ……80
VI.3.3. but de l'analyse push-over……80
VI.3.4.principe de la méthode push-over ……80
VI .4. Le niveau d'endommagement……80
VI.5.1.Procédure d'évaluation du point de performance ……81
VI5.1.1. Cas où la demande est inférieure à la capacité ……82
VI.5.1.2.cas où la demande est égale à la capacité ……82
VI.5.1.3.cas où la demande est supérieure à la capacité ……83
VI.5.2.Estimation des degrés des dommages ……83
VI .6. Application de la méthode push over sur les bâtiments……84
VI. 6.1.Etude du bâtiment auto stable……84
VI. 6.1.1. Présentation et description du bâtiment auto stable……84
VI .6.1.2.Courbe de capacité ……85
VI. 6.1.3.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité ……86
VI. 6.1.4.Domaine des dommages……87
VI .6.2.Etude du bâtiment mixte……89
VI.6.2.1.Présentation et description du bâtiment mixte……89
VI .6.2.2.Courbe de capacité ……89
VI .6.2.3.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité ……90
VI.6.2.4.Domaine des dommages……91
Remarque ……93
Conclusion générale……96
Références bibliographiques……97

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Liste des figures Page

Figure I .1 . Les caractéristiques essentielles d'un séisme.....6
Figure I .2. Différents mécanismes de rupture.....9
Figure I .3. Les différents types d'ondes.....11
Figure I.4. Séisme de Lambesc, 1909 12
Figure I.5. Séisme de Lambesc 12
Figure I.6.Séisme de Mexico 1985 13
Figure I.7. Coup de fouet sur les étages supérieurs Par mise en résonance du bâtiment et du Sol.....14
Figure I.8.Séisme de Caracas, 1967.....15
Figure I.9.Séisme du Salvador, 2001.....16
FigureI.10. Séisme de Kobé, 1995 17
Figure I.11. Séisme d'Izmit, 1999.....17
Figure I.12. Le phénomène de tsunami.....18
Figure I.13.Contexte sismotectonique de la collision Afrique-Eurasie.....19
Figure II.1.Rupture d'un mur 23
Figure II.2. Rupture de bâtiment par écrasement de poteaux 24
Figure II.3. Glissement de la superstructure.....24
Figure II.4.Effets P-Delta.....25
Figure II.5. Balancement de construction séisme de Kobe Japon 1995.....25
Figure II.6.Oscillation verticale des constructions.....26
Figure II.7. Torsion d'ensemble due à l'asymétrie des éléments latéralement rigides.....27
Figure III.1. Forme des bâtiments en élévation.....33
Figure III.2. Forme des bâtiments en plan.....34
Figure III.3. Liquéfaction des sols qui est produit le 21 mai 2003 par le séisme de Boumerdes.....35
Figure III.4. Liquéfaction et rotation du radier d'un immeuble (Mexique –Mexico) 10September 1985 35
Figure III.5. rez- de chaussée flexible.....36
Figure III.6. Etage supérieur lexi ble 36
Figure III.7: Destruction des rez de chaussée due à la flexibilité lors du séisme de Boumerdes le 21 mai 2003.....36
Figure III.8.cisaillement de poteaux courts dus à la présence de Verus ouverts 37
Figure III.9.Cisaillement de poteaux courts d'origine structurelle 37
Figure III.10: Destruction des nœuds due à la différence de rigidité entre le Poteau et les poutres (séisme de Boumerdes 2003).....39
Figure III.11.Elancement des poteaux de rez de chausse 39
Figure III.12.Endommagement d'un bâtiment du à l'élancement de ces éléments porteurs lors du séisme de Kobe Japon 1995.....39
Figure III.13.Niveaux décalés portés par des poteaux 40
Figure III.14.poutres désaxées par rapport aux poteaux (séisme de chi chi Taiwan1999).....41

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.1. Situation géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou 43
Figure IV.2.Localisation de la commune dans la wilaya de Tizi-Ouzou.....44
Figure IV.3 .Photo de la ville de Tizi-Ouzou 45
Figure IV.4. Les anciennes bâtisses de la haute ville.....46
Figure IV.5. Les structures en maçonnerie.....47
Figure IV.6 .photo du centre ville de Tizi-Ouzou.....48
Figure IV.7. Photo des bâtiments bleus 48
Figure IV.8.quelques typologies de structures du Centre-ville 49
Figure IV.9. Quelques typologies de structures en périphérie du Centre-ville.....50
Figure IV.10.quelques typologies de structures de la nouvelle ville de Tizi- Ouzo 51
Figure IV.11.photo de la tour 52
Figure IV.12. Effondrement d'une maison traditionnelle 53
Figure IV.13.Bâtiment avec des portiques en béton armé.....53
Figure IV.14.Bâtiments avec voiles en béton armé 54
Figure IV.15. Systèmes mixtes en portiques et voiles..... 55
Figure V.1.La carte de zonage sismique du territoire national.....61
Figure V.2.photo du bâtiment auto stable 72
Figure V.3.photo du bâtiment.....74
Figure VI .1. Signification physique de la courbe de capacité.....79
Figure VI.2. Formation des rotules plastiques. 79
Figure VI .3. Niveaux d'endommagement décrits par une courbe de capacité.....81
Figure VI.4. Courbes capacité –demande (La demande est inferieur à la capacité).....82
Figure VI .5. Courbes capacité-demande (La demande est égale à la capacité).....82
Figure VI .6. Courbes capacité-demande (La demande est supérieure à la capacité)..... 83
Figure VI .7. Représentation bilinéaire de la courbe de capacité.....83
Figure VI .8.photo du bâtiment auto stable 85
Figure VI .9.Courbe de capacité suivant les deux directions 86
Figure VI .10.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité Suivant les deux directions.....86
Figure VI.11.Points de performance suivant la direction (xx) 88
Figure VI.12.Points de performance suivant la direction (yy) 88
Figure VI.13.photo du bâtiment mixte 89
Figure VI.14.Courbe de capacité suivant les deux directions.....90
Figure VI.15.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité Suivant les deux directions.....90
Figure VI.16.Points de performance suivant la direction (xx).....92
Figure VI.17.Points de performance suivant la direction (yy).....92
Figure VI.18.La iche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions auto stable récentes 94

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Liste des tableaux Page

Tableau I .1 Historique de séisme en Algérie 21
Tableau V.1. Déinition des niveaux de dommage pour les bâtiments en maçonnerie.....58
Tableau V.2. Déinition des niveaux de dommage des bâtiments en béton armé 59
Tableau V.3. Classiication des sites selon le RPA 99 version 2003 62
Tableau VI .1. Domaine des dommages.....84
Tableau VI.2.Courbe de capacité du bâtiment auto stable suivant les deux directions.....85
Tableau VI.3.Limites élastiques et ultimes du bâtiment auto stable suivant les deux directions.....87
Tableau VI.4.Evaluation des dommages du bâtiment auto stable suivant les 87
Tableau VI.5.Courbe de capacité du bâtiment mixte suivant les deux directions.....89
Tableau VI.6.Limites élastiques et ultimes du bâtiment mixte suivant les deux directions 91
Tableau VI.7.Evaluation des dommages du bâtiment mixte suivant les deux directions.....91

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

En Algérie, l'activité sismique demeure relativement modérée à assez sévère dans la région nord, néanmoins cette région renferme le plus d'infrastructures économiques et sociales. Dans le cas où se reproduirait un séisme tel que celui de Boumerdes (année 2003), des pertes très importantes d'ouvrages et vies humaines affecteraient (au moins) toute la région proche de l'épicentre du séisme.

L'évolution de la science a donnée une avancée considérable pour l'explication des séismes, leur nature et les dégâts qu'ils peuvent provoquer. Mais malgré les avancées que les sismologues ont pu faire et les progrès de la recherche consacrée à l'étude de ce sujet, ce phénomène reste encore très complexe et imprévisible

Plusieurs bâtiments existants, construits selon des codes en vigueur anciens, ne possédant plus aujourd'hui la capacité nécessaire (selon la nouvelle réglementation) pour résister aux séismes et pourraient sérieusement compromettre la sécurité des personnes.

La meilleure façon pour diminuer les effets catastrophiques des séismes sur les constructions c'est de construire en respectant la réglementation telle que préconise par le règlement parasismique Algérien, Ces recommandations doivent être intégrées dés la première phase de la conception.

Par contre pour les bâtis existants, une évaluation de leur vulnérabilité, doit être nécessairement faite par des spécialistes du domaine.

En effet, la vulnérabilité est définie d'une manière générale comme étant le niveau de perte de valeur (résistance, capacité …) d'une structure lorsque celle-ci est soumise à un événement d'endommageant. La vulnérabilité s'applique aussi bien à un bâtiment particulier qu'à un ensemble de bâtiment. Pour les ingénieurs, l'identification des divers facteurs affectant la vulnérabilité des constructions est de toute première importance, dans le but de guider une conception et une réalisation adéquate des nouveaux bâtiments ainsi que dans celui d'évaluer la tenue sismique des bâtiments existants.

Il y a plusieurs niveaux d'évaluation de la vulnérabilité

- Evaluation rapide (lignes directrices, visuel...)
- Evaluation plus aux moins approfondie en utilisant les méthodes simplificatrices tel que les courbes de vulnérabilité ou bien les calculs dans le domaine élastique
- Evaluation très approfondie en utilisant le calcul non linéaire tel que la méthode push-over.

Dans l'évaluation rapide surtout au niveau d'une agglomération la méthode la plus indiquée est celle des lignes directrices.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Donc dans notre projet nous nous intéressons a établir des lignes directrices pour l'évaluation de la vulnérabilité et nous l'avons appliqué sur le bâti existants de la Ville de Tizi-Ouzou

Ces lignes directrices constituent un manuel technique pouvant servir de guide aux ingénieurs qui effectuent l'évaluation parasismique des bâtiments existants elles s'adressent aussi à des ingénieurs experts en structures mais pas nécessairement en génie parasismique

L'objectif principal de ces dernières c'est de déceler les défauts pathologiques(les faiblesses) de structures afin de comprendre le comportement des bâtiments lors d'un séisme et de déterminer les risques sismiques et d'identifier les bâtiments ou les éléments de bâtiment qui présentent des risques majeurs pour la vie humaine.

Afin de montrer l'efficacité de ces lignes directrices et de les mettre en valeur nous avons appliqué la méthode push-over,

Nous avons cherché à quantifier chacun de ces paramètres en utilisant la méthode de pénalisation superposée a la méthode push-over afin d'effectuer un travail probabiliste

Ce travail est divisé en cinq chapitres :

- Le premier chapitre passe en revue du phénomène sismique, sa nature et les dégâts qu'il peut provoquer.
- Le deuxième chapitre présente l'impact des séismes sur les constructions.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation des différentes lignes directrices
- Dans le quatrième chapitre, nous nous intéressons à l'évolution du bâti dans la ville de Tizi-Ouzou.
- Au cinquième chapitre, nous évaluons la vulnérabilité des bâtiments par l'application des lignes directrices
- Par contre le sixième chapitre est consacre a l'application de la méthode push-over sur les bâtiments de la ville de Tizi-Ouzou

Enfin, nous terminons cette étude par une conclusion générale, où nous synthétisons l'ensemble des résultats obtenus,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

I .1. Définition d'un séisme

Un séisme est un tremblement de terre qui se passe lorsque deux plaques de la croûte terrestre se rencontrent ou s'étirent. Un séisme se manifeste par des vibrations du sous-sol qui peuvent provoquer des destructions importantes. De plus, ces vibrations peuvent déformer les paysages en déplaçant des blocs rocheux le long d'une grande cassure appelée faille.

I.2.Les types de séismes

I.2.1.Les séismes inter-plaques

Dans la majorité des cas, les séismes se déclenchent en limite de plaques. C'est en effet au niveau de ces contacts que les contraintes occasionnées par la dérive des continents sont les plus fortes. Dans le monde, les zones les plus actives sont situées en Asie (Japon, Chine, Indonésie, Himalaya), au Proche-Orient (Turquie, Afghanistan), en Afrique du Nord (Algérie, Maroc) et en Amérique (Chili, Mexique, États-Unis). Séismes et volcanisme sont souvent associés sur ces limites de plaques.

I.2.2. Les séismes intra-plaque

Même à l'intérieur des plaques tectoniques, des failles peuvent jouer et occasionner des séismes. Généralement moins violents que les précédents, ils correspondent à des réajustements des pressions dans la croûte terrestre. Ce sont plus particulièrement ces séismes que l'on observe en France métropolitaine.

I.2.3.Les séismes liés à l'activité volcanique

Les éruptions volcaniques, autre phénomène associé à la tectonique des plaques, occasionnent une multitude de séismes et de microséismes. Ces derniers peuvent permettent de prédire l'imminence d'une éruption. Dans le cas d'une activité explosive (volcan de type péléen), la magnitude du séisme peut être significative.

I.3. Caractéristiques d'un séisme

Les caractéristiques essentielles d'un séisme sont : **(Figure I.1)**

- **Le foyer :** c'est le point de départ de la rupture des roches.
- **L'épicentre :** c'est le point de la surface terrestre situé à la verticale du foyer.
- **La magnitude :** elle mesure l'énergie libérée par le séisme au niveau du foyer.
- **L'intensité :** elle mesure les conséquences du séisme en surface.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

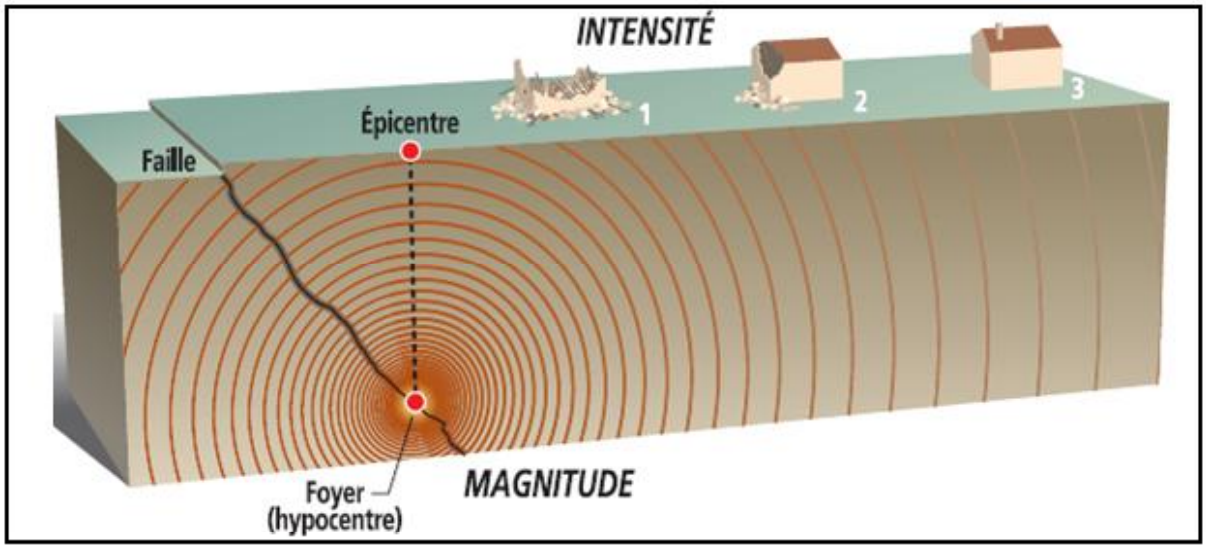


Figure I.1 . Les caractéristiques essentielles d'un séisme

I.4.L'enregistrement des séismes

Le séisme se manifeste à la surface du sol par une série de vibrations. Elles peuvent être enregistrées au moyen d'un appareil appelé sismomètre. Celui-ci restitue une « image » du séisme en termes d'amplitude de la vibration : le sismogramme.

Pour un même séisme, les différents sismogrammes obtenus, au niveau de toutes les stations sismologiques, permettent de localiser l'épicentre du séisme, par la lecture des délais d'arrivée des ondes qui se caractérise par la méthode des cercles.

I.4.1. La magnitude de Richter

La magnitude d'un séisme (notée M) est un chiffre sans dimension, représentant l'énergie libérée lors de la rupture. La magnitude est unique pour un séisme et indépendante du lieu d'observation.

Estimée par exploitation des sismogrammes, la magnitude est théoriquement illimitée. Dans la pratique, aucune magnitude mesurée n'a dépassé 9,5 (au Chili, le 22 mai 1960). Augmenter la magnitude d'un degré revient à multiplier l'énergie libérée par trente. Ainsi, un séisme de magnitude 6 équivaut à la libération de l'énergie de trente séismes de magnitude 5.

I.4.2. L'intensité macrosismique

L'intensité macrosismique EMS 98 est estimée par observation des désordres sur les bâtiments et les infrastructures, ainsi que par la perception du séisme par la population. Elle comporte douze niveaux (de I à XII). Pour un même séisme, l'intensité macrosismique varie dans l'espace en fonction de la distance à l'épicentre et des phénomènes annexes, tels que l'amortissement ou l'amplification des ondes sismiques (effets de site). La zone d'intensité maximale est appelée épicentre macrosismique et peut être différente de l'épicentre réel.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ECHELLE D'INTENSITE MACROSISMIQUE MSK 1964(présentation simplifiée)

Intensité	Effets macrosismiques			
	Maison en pise, briques crues ou en pierre non taillée	Constructions en brique, blocs de béton, pierre taillée ou constructions mixtes, maçonnerie/bois	Construction armée et constructions de qualité en BPIS	Extérieur
I	Secousses non perçues			
II	Secousse à peine perceptible, ressentie par peu de personnes, généralement aux étages.			Secousse non ressentie.
III	Secousse faible, ressentie par quelques personnes ; léger balancement des objets suspendus.			Secousse ressentie en cas de circonstances favorables.
IV	Secousse largement ressentie, vibration des portes et des fenêtres, craquement des planchers et des murs, secousse du mobilier.			Secousse ressentie par quelques personnes
V	Réveil des dormeurs, agitation des animaux, chute des tableaux et renversement des objets, projection des liquides.			Secousse ressentie par de nombreuses personnes, modification du débit de certaines sources.
VI	Fissuration de murs, chute de tuiles et des parties des cheminées.	Fissuration des plâtres, chute des petit débris.	Frayeur, bris d'erres et d'assiettes, déplacement de mobiliers lourds.	Crevasses de l'ordre d'un centimètre dans les sols détrempés, glissement des terrains en montagne, changement de débit de secousses et du niveau des puits.
VII	Brèche dans les murs, effondrement partielle, destruction de remplissages et des cloisons.	Fissuration des murs, chute des tuiles et de partie de cheminée, renversement du mobilier lourd.	Fissuration des plâtres, chute de petits débris.	Difficulté à rester debout, éboulement partiel de talus de sable ou de gravier, vagues sur l'eau terrassement des sources.
VIII	Effondrement partiel ou total.	Brèche dans les murs, effondrements partiels, destruction de remplissages et des cloisons.	Fissuration de murs, chute de cheminées, renversement du mobilier lourd.	Déplacement des monuments, crevasses de plusieurs centimètres de largeur dans le sol, petits glissement dans les terrains, formation de nouvelles retenues d'eau.
IX	Effondrement total.	Effondrement partiel ou total.	Brèche dans les murs, effondrement partiel, destruction de remplissages et de cloisons.	Les crevasses peuvent atteindre 10 cm de largeur, chute de monument et de rochers, plusieurs glissements de terrains.
X	Effondrement total.		Effondrement partiel ou quelques fois total.	Les crevasses peuvent atteindre 1m de largeur, éboulement des pentes raides glissement des bergers, dommages sévères aux ponts
XI	Effondrement total.		Effondrement quasi total.	Destruction des ponts des barrages, des lignes de chemins de fer, routes et canalisations, déformation des terrains.
XII	Effondrement total.			La topographie est bouleversée.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

I.5.Les mécanismes de rupture

Le dépassement localisé de la capacité des roches à stocker l'énergie, provoque une rupture suivant le chemin de moindre résistance, c'est la formation des failles terrestres, ces failles peuvent être classé en trois grands mécanisme de rupture **[1] (Figure I .2)**

I.5.1. Failles normales

La composante horizontale du glissement correspond à un écartement qui s'accompagne de l'affaissement d'un des blocs par rapport à l'autre. Ces failles se rencontrent dans les régions étirées et amincies comme les dorsales médio-océaniques et les rifts continentaux. Sur le terrain, l'escarpement de faille est un bel exemple du jeu d'une faille normale. Cet escarpement déchire la steppe et correspond à un affaissement de plusieurs mètres du bloc aval par rapport au bloc amont.

I.5.2. Failles inverses

La composante horizontale du glissement correspond cette fois à un rapprochement qui s'accompagne du chevauchement d'un des blocs sur l'autre. Ces failles se rencontrent dans les régions raccourcies et épaissies comme au front des chaines de montagne.

I.5.3.Failles décrochantes

Le troisième type de faille correspond à un plan vertical sur lequel se produit un glissement horizontal. Ces failles que l'on appelle décrochements ne créent généralement pas de reliefs car les déplacements se font parallèlement à la surface de la terre. Pour un observateur arbitrairement placé sur l'un des blocs, on parle de décrochement dextre lorsque l'autre bloc auquel il fait face, se déplace vers sa droite, et de décrochement sénestre lorsqu'il se déplace vers sa gauche.

.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

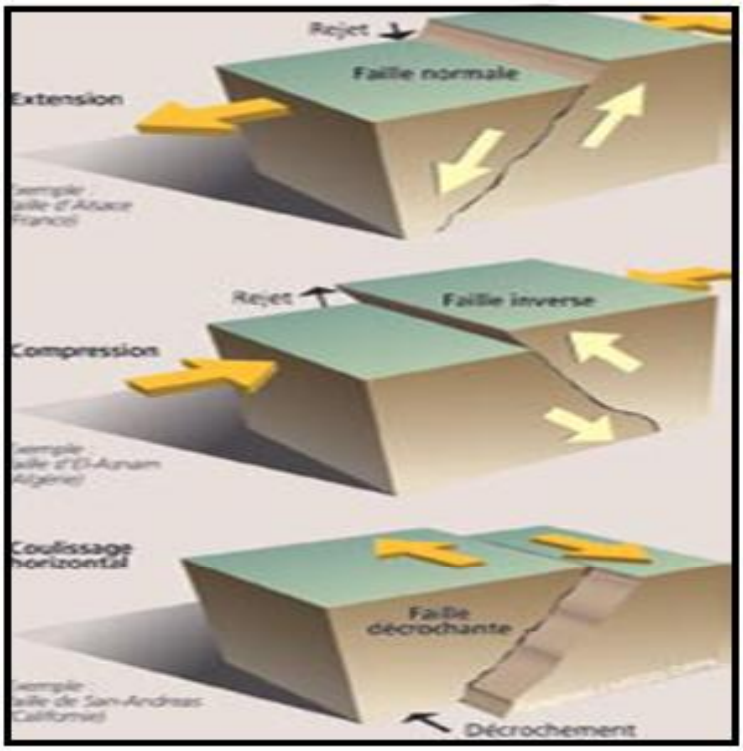


Figure I.2. Différents mécanismes de rupture.

Ces trois grands types de faille se rencontrent souvent dans la nature. Parfois, mouvements décrochant et verticaux se combinent et les failles sont mixtes. On parle par exemple de faille -normale ou de faille inverse-décrochante suivant la prépondérance d'une des composantes du mouvement

I.6. Les différentes ondes sismique

Lorsqu'un séisme se produit, des ondes élastiques se propagent à travers la terre. On les appelle les ondes sismiques. C'est à partir du moment où l'on a été capable d'enregistrer ces ondes que la sismologie moderne a pris son essor. Le recours aux ondes sismiques est indispensable pour caractériser la structure interne de la terre. On distingue deux types d'onde : les ondes de volume et les ondes de surface. **[2] (Figure I. 3).**

I.6.1. Les ondes de volumes

Elles se propagent à l'intérieur du globe. Leur vitesse de propagation dépend du matériau traversé et, d'une manière générale, cette dernière augmente avec la profondeur car le matériau traversé devient plus dense.
On distingue :

- **Les ondes P ou ondes primaires** appelées aussi ondes de compression ou ondes longitudinales. Le déplacement du sol qui accompagne leur passage se fait par des dilatations et des compressions successives. Ces déplacements du sol sont

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

parallèles à la direction de propagation de l'onde. Ce sont les plus rapides (6 km·s^{-1} près de la surface) et donc les premières à être enregistrées sur les sismogrammes. Elles sont responsables du grondement sourd que l'on peut entendre au début d'un tremblement de terre.

- **Les ondes S ou ondes secondaires** appelées aussi ondes de cisaillement ou ondes transversales. À leur passage, les mouvements du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde. Ces ondes ne se propagent pas dans les milieux liquides, elles sont en particulier arrêtées par le noyau externe de la Terre. Leur vitesse est de 4,06 km·s^{-1}. Elles apparaissent en second sur les sismogrammes.

La différence des temps d'arrivée des ondes P et S suffit, connaissant leur vitesse, à donner une indication sur l'éloignement du séisme. On peut ainsi localiser son épicentre à l'aide de trois sismogrammes.

Les ondes de volume se propagent comme toutes les ondes, et en particulier comme les rayons lumineux : elles peuvent être réfléchies ou réfractées, c'est-à-dire déviées à chaque changement de milieu, au passage manteau-noyau par exemple. Elles peuvent ainsi suivre des trajets très complexes à l'intérieur de la Terre. Leur temps de parcours dépend de ce trajet, elles n'arrivent pas toutes en même temps au même endroit.

I.6.2. Les ondes de surfaces

Ce sont des ondes guidées par la surface de la Terre. Leur effet est comparable aux rides formées à la surface d'un lac. Elles sont moins rapides que les ondes de volume mais leur amplitude est généralement plus forte.

On peut distinguer :

- **L'onde de Love**
  C'est un anglais Augustus Edward Hough love qui a découvert son existence en 1191. Son déplacement est comparable à celui des ondes S sans le mouvement vertical. Les ondes de Love provoquent un ébranlement horizontal qui est la cause de nombreux dégâts aux fondations d'un édifice qui n'est pas une construction parasismique. Les ondes de Love se propagent à environ 4 km.s^{-1}
- **L'onde de Rayleigh**
  Elle a été découverte par John William Strutt Rayleigh en 1885. Son déplacement est complexe, assez semblable à celui d'une poussière portée par une vague, constituant un mouvement à la fois horizontale et verticale.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

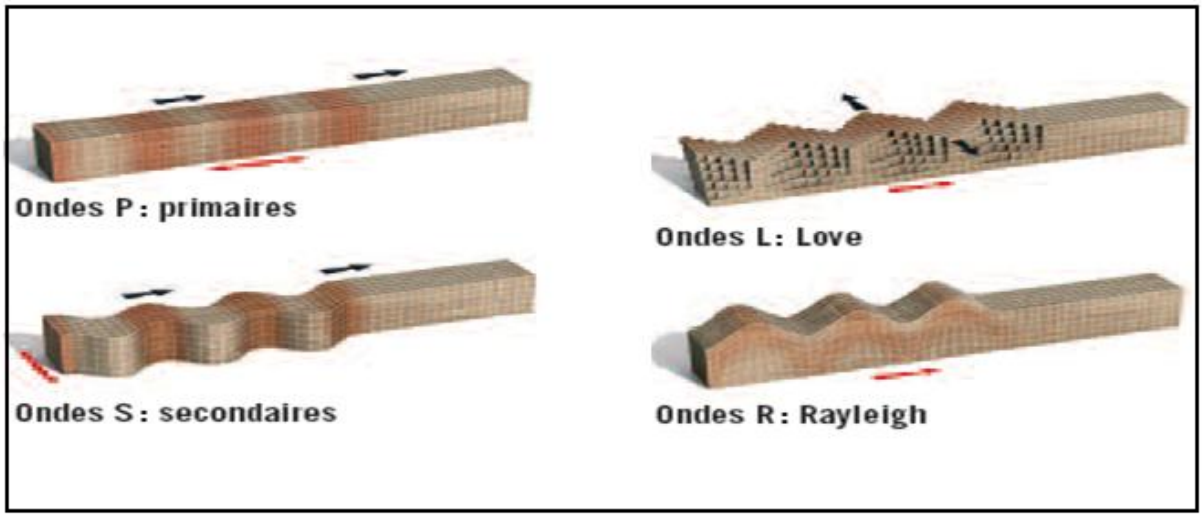


Figure I .3. Les différents types d'ondes

I.7. les effets du séisme

Les effets macrosismiques mentionnés dans l'échelle MSK nous ont donné un aperçu des conséquences des tremblements de terre observables sur un site. Ils s'échelonnent des petites fissures dans le terrain jusqu'aux changements considérables dans la morphologie du paysage. Cependant, il serait erroné de croire que des grands mouvements de terrain ne peuvent être provoqués que par les séismes majeurs, dont la probabilité d'occurrence est faible. En réalité, même des secousses modérées peuvent précipiter le déclanchement de glissement ou d'éboulement de versants dont l'équilibre été déjà précaire avant que les secousses sismique ne se produisent. De tels déplacements de terrains sont souvent fatals pour les constructions. Il apparait ainsi commode de distinguer trois groupes d'effets sur les sites naturels : effets directs, effets induits, et apparition éventuelle de la faille sismogène en surface **[3].**

I.7.1. Effets du séisme sur site

I.7.1.1.Effet directs

On entend par effet direct les manifestations en surface associées au fonctionnement d'une faille. Il s'agit donc de déformations permanentes qui modifient la surface topographique ainsi que la mise en oscillation des constructions, etc. ces effets à leurs tours, peuvent entrainer des changements dans les conditions hydrauliques du site (modification de la circulation des eaux souterraines, tarissement des sources, changement de leur température, etc.)**[2].**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- **Effets de site topographique**

Les constructions implantées sur ce type de relief pourront subir une action sismique beaucoup plus importante que sur un site voisin non accidenté s'il y a concordance des fréquences du sol et du bâtiment qu'on appelle résonance **[7].** Voir **les Figures (I.4) et(I.5):**

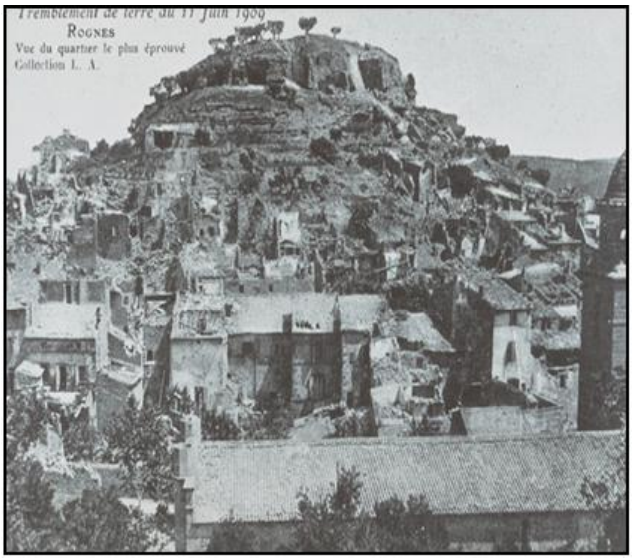


Figure I.4. Séisme de Lambesc, 1909,

Destruction des constructions situées sur la butte de Rognes par effet de site.

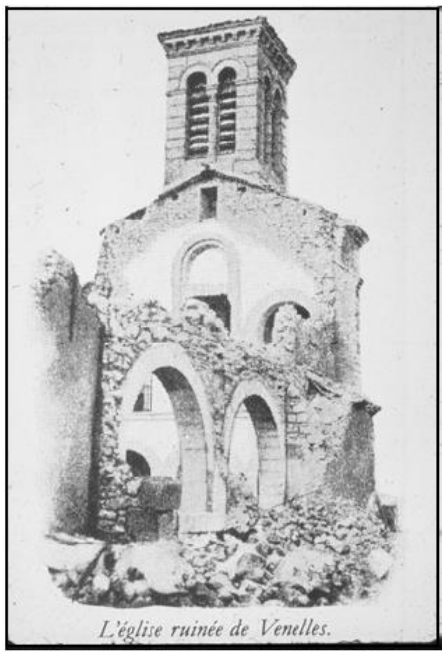


Figure I.5. Séisme de Lambesc,

N.B. Le caractère sélectif de l'amplification des ondes Sismiques sur un site est mis en évidence par cet exemple. L'église se trouvait sur une butte comme à Rognes. Le corps de l'église de période propre plus courte que celle du clocher a été mis en résonance Par les périodes courtes du site et s'est effondré. Alors que les faibles caractéristiques mécaniques du clocher Ont « suffi » à assurer sa résistance puisque sa « Réponse » au séisme était faible en raison de la non-concordance de sa période avec celles du sol.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- **Effet de site sur sol meuble (les alluvions de forte épaisseur amplifient l'action sismique)**

La réflexion des ondes sismiques « prisonnières » à l'intérieur d'une couche de sol meuble entre la surface et le sous-sol rocheux a pour conséquence d'amplifier les oscillations de période longue. Ainsi, les constructions de période propre plutôt élevée sur les sols meubles peuvent subir une action sismique beaucoup plus importante que sur le sol rocheux: éventuelle mise en résonance… **[7]** Voir les **Figures (I.6) et(I.7):**

Figure I.6.Séisme de Mexico 1985

N.B. Le bâtiment du premier plan, dont les périodes propres d'oscillation (courtes) ne sont pas entrées en résonance avec le sol, n'a pas subi de dommages bien qu'il soit apparemment très vulnérable. A l'arrière plan on devine un immeuble plus élancé qui a lui subi des dommages
Importants par « coup de fouet dans les étages » bien qu'étant vraisemblablement « mieux construit ». Il a « répondu » au séisme par des accélérations et des déformations importantes de sa structure en raison d'une mise en résonance.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure I.7. Coup de fouet sur les étages supérieurs
Par mise en résonance du bâtiment et du Sol.

I.7.1.2. Les effets induits

Les effets induits par les séismes sont de grands mouvements de sol ou de l'eau pouvant résulter d'une fonction de plusieurs causes ; le séisme joue le rôle déclic (glissement, effondrement ou éboulement de terrain).

Les conséquences des effets induits sont en générale, plus désastreuses que celle des vibrations de sol d'assise. Seules ces dernières sont d'ailleurs prises en compte pour le calcul. Un glissement des terrains peut emporter et détruire toute construction, qu'elle soit conçue pour résister aux secousses sismique ou non.

Avant d'implanter un bâtiment, il est donc nécessaire de repérer les formations géologiques et topographiques potentiellement dangereuses et d'évaluer leur zone d'influence **[3].**

Les principaux effets induits sont :

- **La liquéfactiou des terrains granulaires**

Dans les sables saturé d'eau, une partie de la pression est transmise à l'eau interstitielle ce qui diminue le frottement entre les grains et par là-même les forces que ceux-ci peuvent transmettre. Les secousses sismiques entrainent une élévation de la pression de l'eau interstitielle et le frottement entre les grains diminue d'autant pendant des vibrations intenses, le frottement peut même être annulé, ce qui entraine une perte de contact entre les grains. Le sol perd alors toute résistance au cisaillement et s'écoule comme un liquide. Dans ce cas, la « déstructuration » totale du sol peut entraîner la perte des constructions dont la superstructure est réputée parasismique. Il faut soit descendre les fondations au bon sol, soit traiter le sol pour lui donner les

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

caractéristiques souhaitées, soit éviter ces sites pour l'implantation des constructions **[3]. (Figure I.8)**.

Figure I.8.Séisme de Caracas, 1967

N.B. « Enfoncement » d'un bâtiment dans le sol sous l'effet d'un tassement localisé dû au Phénomène de liquéfaction.

- **Glissement des terrains**

Sous l'effet des secousses, tout ce qui se trouve en situation d'instabilité sur les versants glisse vers l'aval : la terre, les roches, et les bâtiments sur les sols instables. Il n'y a pas de solution constructive sauf pour les petites pentes qui peuvent avoir un Soutènement. Ce n'est plus une question de résistance du bâtiment. **(Figure I.9).**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure I.9.Séisme du Salvador, 2001

N.B.Glissement de terrain à Santa Tecla ayant entraîné la Perte d'un quartier (300 habitations ensevelies) dont Les constructions n'ont pas souffert des oscillations. Des centaines de constructions voisines sans Dommages ont du être évacuées.

- **Le tassement**

Des tassements importants peuvent être la conséquence de séisme. Un sable sec soumis à des vibrations fortes peut donner lieu à des tassements de terrain. Ces tassements peuvent être estimés par la mesure des vides du sable sec, iles peuvent atteindre une dizaine de centimètre et être fortement préjudiciable pour tout type de construction.

- **D'autres effets induits d'origine humaine, problème urbain**

D'autres effets induits par la secousse sismique sont susceptibles de provoquer des désordres ou la ruine des bâtiments : propagation des incendies post-sismiques, inondations par rupture de retenue d'eau, action de remblais lourds sur sols instables, purge des terrassements sans Soutènement … **Figures (I.10) et(I.11):**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure.10. Séisme de Kobé, 1995

N.B Propagation à grande échelle d'un incendie post-sismique Ayant entraîné des pertes colossales sur des bâtiments parasismicues.

Figure I.11. Séisme d'Izmit, 1999

N.B. Outre la pollution provoquée par le gigantesque incendie qui a ravagé la plus grande raffinerie de Turcuie, c'est une part de l'activité économique du pays qui est partie en fumées.

I.7.1.3. Le tsunami

C'est un séisme sous- marins qui peut engendrer des ondes de très grandes longueur, connues sous le nom japonais de tsunami et parfois appelé raz-de-marée d'origine sismique. Ce phénomène peut être particulièrement destructeur **[3]. (Figure I.12).**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

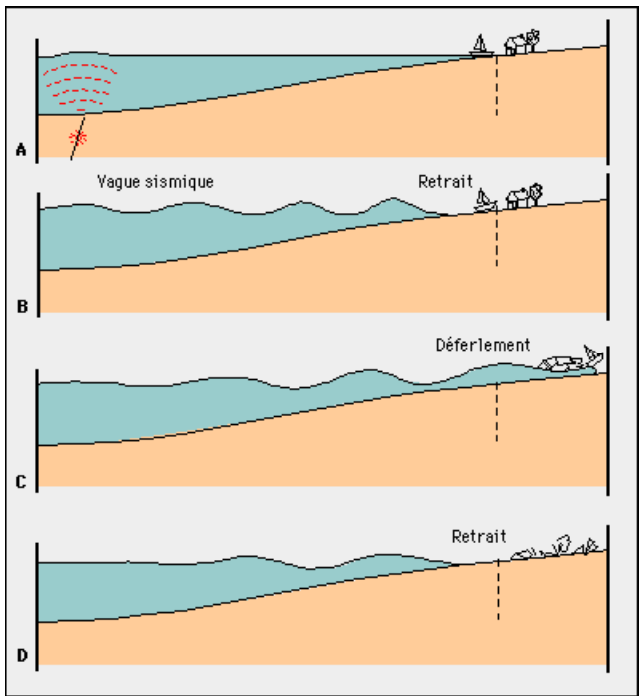
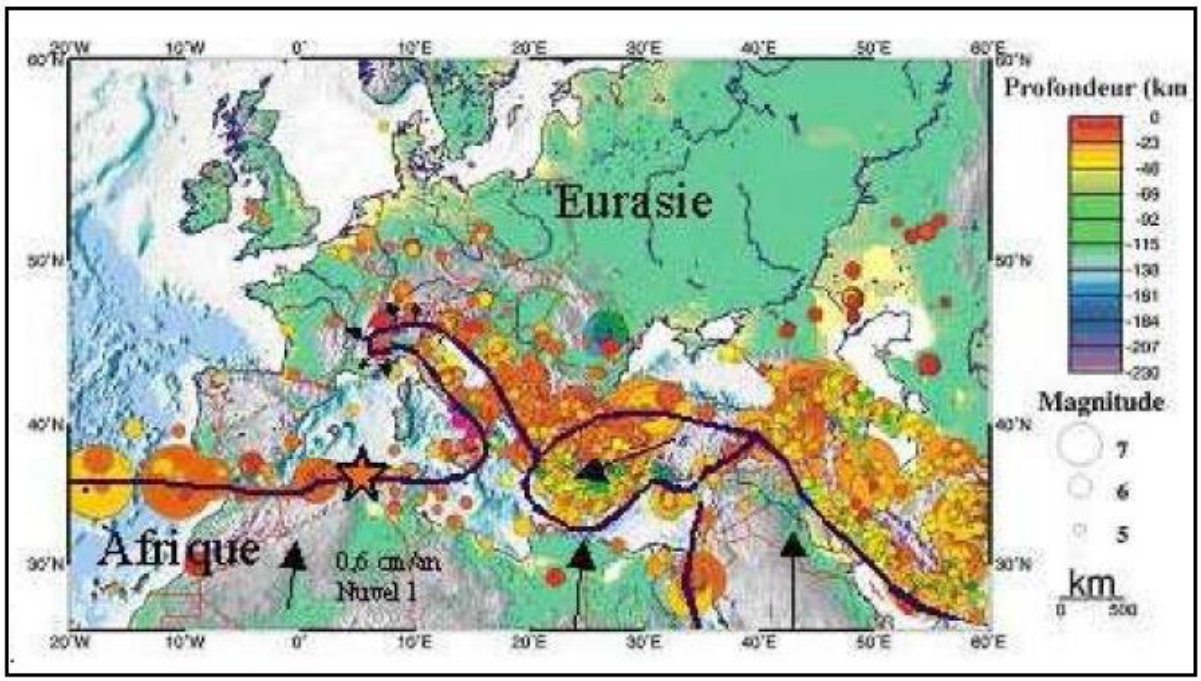


Figure I.12. Le phénomène de tsunami

I.8. La sismicité en Algérie

L'Algérie se situe sur une frontière active de plaques au niveau de la convergence de 'Afrique et de l'Eurasie **(figure I.13).** Ces plaques se rapprochent à une vitesse de l'ordre de 6 millimètres par an, ce qui génère une accumulation importante de contraintes. Lorsque ces contraintes deviennent trop fortes, certaines failles peuvent être mises en mouvement. Le déplacement rapide des bords de la faille génère alors des ondes sismiques qui se propagent jusqu'à la surface. Les principales failles actives sont localisées au niveau de la chaîne de montagne nord-africaine (Atlas). Le mouvement relatif des bords de la faille tel qu'il a été enregistré par les sismomètres montre un raccourcissement cohérent avec le mouvement global des plaques. Pour le moment, la faille qui est à l'origine du séisme du 21 mai 2003 n'est pas identiié e Comp t e tenu des premières informations sismologiques, la prolongation orientale de la faille majeure connue localement (faille de Thenia) pourrait avoir été activée lors de ce séisme.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Figurel .13.Contexte sismotectonique de la collision Afrique-Eurasie.

Le seisme du 21 mai2003 est represenlé par une étoile .

Au cours de son histoire, l'Algérie a subit plusieurs séismes destructeurs. Parmi les plus notables, on peut citer :

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Localité	Date	M	Victime	Observations
Alger	03.01.1365	Forte	Plusieur	Alger complètement détruite. 100 répliques pendant la nuit. une partie d'Alger fut inondée
Gouraya	15.01.1891	7.5	0038	Dégâts importants: Gouraya et Ville bourg ont été complètement détruites.53 immeubles et maisons détruis ou endommagés. Dégâts à Cherchell, kherba, Blida, El-Affroun, Mouzaia, Miliana et Orléansville. Mouvement vertical observé à Gouraya. Ressenti à Saida et Djelfa. Fortes répliques. Rayon macrosismique 200 kms
El Kalaâ	29.11.1887	6.5/7.5	0020	El Kalaâ et Dehba : une mosquée ainsi que plusieurs maisons ont été détruites Thiouanet : importants dégâts (80 maisons ont été complètement détruites). Resserti à Oran, Arzew, Relizane, Mostaganem et Mascara. Forte réplique ressentie quelques minutes après.
Sour. el Ghouzlène (Aumale)	24.06.1910	6.4/ 6.6	0030	Dégâts importants à El Euch, Tablat et Vlasqueray. Les villages de la plaine d Gachtulas ont été complètement détruits. Répliques ressenties complètemen détruits. Répliques ressenties jusqu'en janvier 1911 fortes (20/08, M=4.8 et 07/01/1911, M=5.5).
A. el Hassar (Cavaignac)	25.08.1922	5.1	2	Cavaignac complètement détruite. Mouvement vertical observé (1m). Resserti à Flatters Hanoteau, Ténès et à Orléans ville, Cherchell.
El At-El Ab (Carnot)	07.09.1934	5.0	Aucun	Dégâts à Carnot, St. Cyprien et El- Attaf. Des glissements de terrain ont observés au Nord. Ressenti à Alger. 92 répliques entre 07-30/90
Béjaia	12.02.1960	5.6	264	1000 maisons détruites .112 blessés.
Chlef ville-El Asnam)	09.09.1954	6.7	1243	20.000 habitations détruites. Effets observés: glissement de terrain et liquéfaction du sol. Mouvement vertical maximum (10) (1.33m) au voisinage de Ouled Abbas. Plusieurs répliques.
M'sila	21.02.1960	5.6	47	Dégâts à Melouza. 88 blessés.
M'sila	01.01.1965	5.5	5	1300 maisons détruites. FM : 193,9288
Mansourah	24.11.1973	5.1	4	Dégâts à Mansourah, Medjana, El-Mehir et Theniet Enasr. 50 blessés.
Chlef	10.10.1980	7.3	2633	8369 blessés, 348 portés disparus, 6.778.948 sinistrés. 70% des habitations détruites.
Constantine	27.10.1985	5.9	0010	Peu de dégâts à El-Aria et Béni- Yakoub, plus de 300 blessés, plusieurs au voisinage du village d'El-Khroub. Ruptures de surface. Une faille de Coulissage Plusieurs répliques pendant plus d un mois.
El Affroun	31.10.1988	5.4	Aucune	Nombreux dégâts.500 familles sinistrées et 5 blessés
Dj.Chenoua	29.10.1989	6.0	0022	Nombreux dégâts à Sidi-Moussa (près de la ville de Tipaza) (au voisinage de l'épicentre). Peu de dégâts à Alger (la Casbah). Faille inverse. Plusieurs répliques durant 3 mois.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Mascara	18.08.1994	5.6	/	Ce séisme survenu la nuit, a été largement ressenti, l'intensité VII a été atteinte à Hacine et Shadlia, ou d'importants dégâts ont été occasionnés.
Alger	04.09.1996	5,7	/	Ce séisme qui a été ressenti jusqu'à Dellys à l'Est, Menaceur à l'Ouest et Berrouaghia au Sud, a atteint l'intensité VII à Ain-Benian, Cheraga et Staoueli, appartenant à la région épicentrale. Le rayon macrosismique moyen est de140km.
Ain-Temouchen	22.12.1999	5,8	Plusieur	Ce séisme a atteint une intensité maximale de VII a occasionné des dégâts matériels importants et la perte de plusieurs vies humaines, la surface macrosismique dépasse 260km de rayon.
Béni-Ouartilane	10.11.2000	5,4	2	Ce séisme a occas onné dans a région pleistoseiste qui regroupe Béni-Ouarti ane, Fréha et El-Main, des dégâts matériels et la perte de 02 vies humaines.
ZEMMOUR	21/05/2003	6,8	2286	Ce séisme a occas onné dans a région épicentrale qui regroupe principalement : Boumerdés, Zemmouri, Corso, Tidjelabine, Reghaïa, Thenia, Bordj Menaïl,Sidi Daoud et Dellys des dégâts très importants. Des immeubles et des maisons récemment construits ont été complètement détruits ou endommagés.

I.8.1.Classification des zones sismiques en Algérie

Les normes parasismiques sont en fonction du risque sismique évalué dans la zone dans laquelle on construit : plus le risque déterminer par les scientifiques est grands et plus les normes de construction sont sévères **[6]**.

Après l'amélioration du RPA, le territoire national est divisé en Cinq zones de sismicité croissante.

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

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

II. Effets du séisme sur les constructions

Les mouvements de terrains engendrés par les séismes, entrainent avec eux les constructions. En effet les bâtiments oscillent horizontalement, verticalement et subissent des oscillations de torsion dues, d'une part, à la dissymétrie éventuelle des masses et d'autre part à la répartition non uniforme de la rigidité en plan **[8].**

II.1. Effets des oscillations horizontales sur les constructions

La rigidité latérale des bâtiments étant plus faible que la rigidité verticale, leurs oscillations horizontales sont en générale les plus dangereuses. Ils subissent des translations, des balancements et des déformations d'ensemble, qui se répercutent sur les divers éléments constructifs **[3].**

II.1.1.Dommage dus aux cisaillements

Le cisaillement produit généralement, des fissures en croix dans les murs en maçonnerie ou dans les panneaux de remplissages de portique, de même ce genre de fissures peut être observé aux angles des portes et de fenêtres. Les poteaux courts sont souvent endommagés par cisaillement à cause de leur rigidité**. (Figure II.1)**

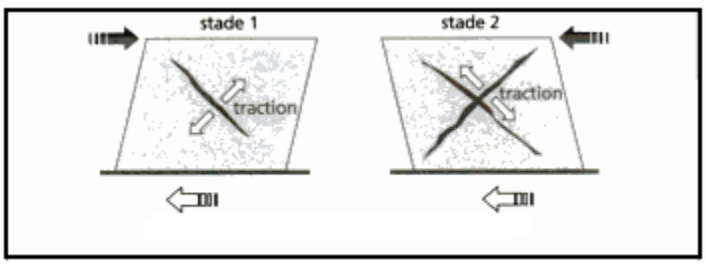


Figure II.1.Rupture d'un mur

II.1.2. Déformation de flexion d'ensemble

La flexion produit des déformations engendrant des fissures dans les éléments tendus et les flambements ou l'écrasement des éléments comprimés. Les poteaux peuvent être délestés (baisse de résistance au cisaillement) sur la partie tendue, il peut se produire, également, des dommages sur les éléments non structuraux. Les effets de flexions sont les plus impétrants dans le cas des bâtiments élancés**. (Figure II.2).**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

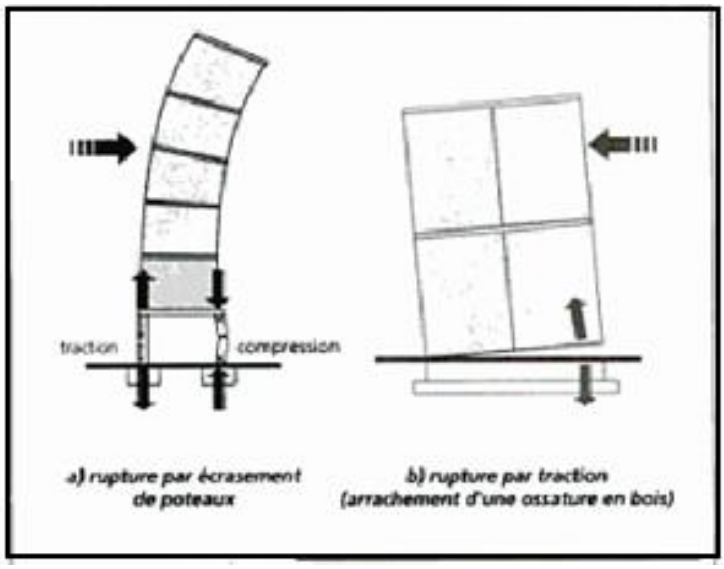


Figure II.2. Rupture de bâtiment par écrasement de poteaux

II.1.3. Effets dus au cisaillement et a la flexion

La flexion et le cisaillement d'ensemble peuvent engendrer des efforts importants dépassant la résistance du matériau, notamment à la base de la construction où ils atteignent leur maximum, et un glissement de la superstructure sur sa fondation (maison en bois). **(Figure II.3).**

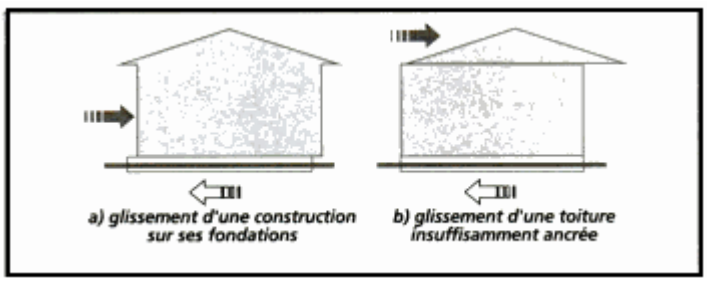


Figure II.3. Glissement de la superstructure

II.1.4. Effet P-Delta

L'excentricité des charges verticales résultantes, due au déplacement relatif des étages provoque dans les murs et poteaux des efforts axiaux additionnels **[1]** aggravent la tendance au renversement, et par ailleurs ils sollicitent les éléments porteurs périphériques et les façades. Ces effets sont d'autant plus importants dans le cas des constructions très élevées. **(Figure II.4)**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

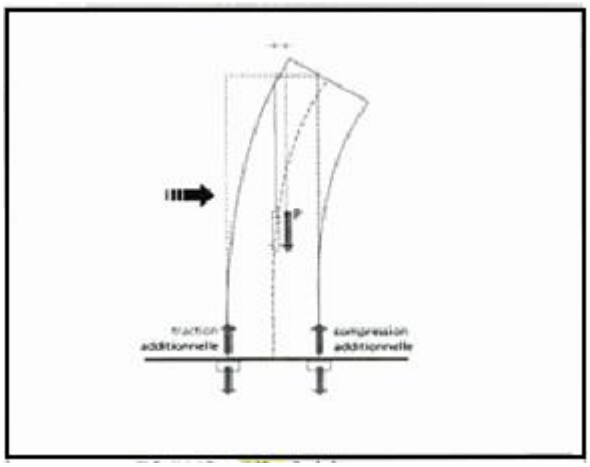


Figure II.4.Effets P-Delta

II.1.5. Balancement des constructions

Le balancement des constructions provoque des déformations inélastiques des sols réduisant ainsi leurs résistances, ils peuvent également avoir comme conséquence une inclinaison rémanente des ouvrages **[1]. (Figure II.5)**

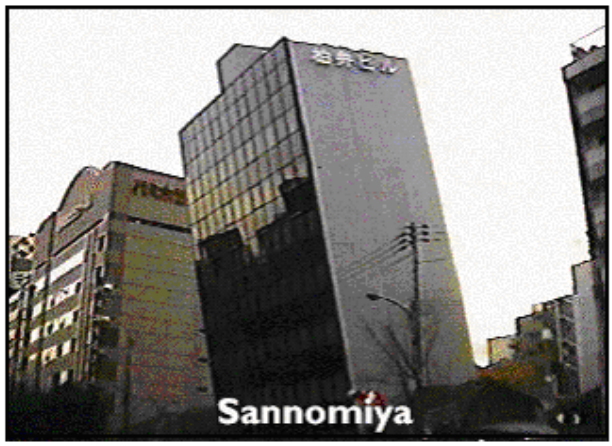


Figure II.5. Balancement de construction séisme de Kobe Japon 1995

II.2. Effets des oscillations verticales sur les constructions

Les oscillations verticales des constructions entrainent :

- ✓ Des oscillations dangereuses des éléments horizontaux de grande portée (tels que les poutres, les portes à faux, les consoles, …etc.)et la concentration de contrainte sévère dans les éléments qui supportent.
- ✓ Le délestage des éléments.
- ✓ Un arrachement des éléments insuffisamment fixés et projection éventuelle des équipements posés si l'accélération des secousses est supérieure à celle de la pesanteur. Ainsi que le flambement des poteaux élancés. **(Figure II.6)**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

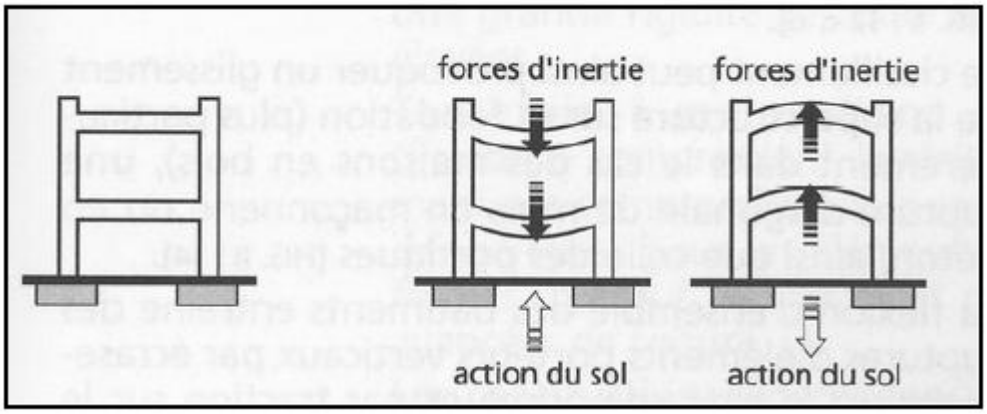


Figure II.6.Oscillation verticale des constructions.

II.3. Effets des oscillations de torsion

La torsion se produit principalement dans le cas où le centre de gravite d'un niveau ne coïncide pas avec son centre de rigidité. Les effets de torsion sont importants dans le cas des bâtiments de forme irrégulière ou possédant un contreventement excentré **[8]**.

Lors d'un séisme, on peut envisager deux types de torsions :

II.3.1.Torsion structurelle

Elle est due à l'asymétrie des éléments latéralement rigides. **(Figure II.7)**.

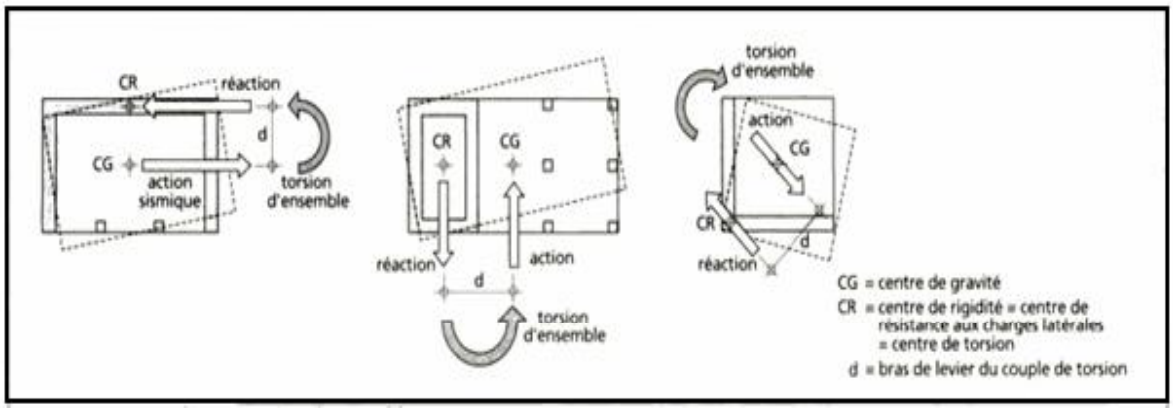


Figure II.7. Torsion d'ensemble due à l'asymétrie des éléments latéralement rigides

II.3.2.Torsion accidentelle

Elle est due au décalage entre les lignes d'actions et des réactions qui est engendrée par :

- ✓ Des mouvements différentiels (horizontaux) du sol.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- ✓ La présence des charges temporaires (dans le cas des salles de cinéma, théâtre, de conférence,…etc.) où le centre de masse change avec l'occupation des personnes.
- ✓ la défaillance progressive des éléments constructifs.

La torsion d'ensemble entraine la concentration des efforts sur les angles de bâtiments les plus éloignés du centre de torsion **[8].**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.1. Introduction

Les lignes directrices constituent un manuel technique pouvant servir de guide aux ingénieurs qui effectuent l'évaluation parasismique des bâtiments existants elles s'adressent aussi à des ingénieurs experts en structures mais pas nécessairement en génie parasismique

III.2.L'objectif des lignes directrices

L'objectif principal c'est de déceler les défauts pathologiques de structures que l'on observe après un séisme afin de comprendre le comportement des bâtiments lors d'un séisme et de déterminer les risques sismiques et d'identifier les bâtiments ou les éléments de bâtiment qui présentent des risques inacceptables pour la vie humaine. On dit qu'un bâtiment ne répond pas aux objectifs de sécurité des lignes directrices s'il se produit, lors d'un séisme un ou plusieurs des événements suivants :

- Le bâtiment s'effondre en entier
- Des parties de bâtiment s'effondrent
- Des composants du bâtiment se brisent et tombent
- Les voies d'accès et de sortie sont bloquées, ce qui empêche l'évacuation et le sauvetage des occupants.

Pour établir s'il existe des dangers pour la sécurité des personnes dans un bâtiment existant, il faut déterminer s'il est possible qu'un de ces événements se produise durant un séisme éventuel.par conséquent, une partie importante des lignes directrices explique à l'ingénieur évaluateur comment on détermine s'il existe, dans la structure d'un bâtiment, des liaisons faibles qui pourraient entrainer une défaillance de la structure ou des éléments **[4]**

III.3.La méthodologie des lignes directrices

La méthodologie des lignes directrices est centrée sur un ensemble de question visant à détecter les défauts et les faiblesses du bâtiment .Les questions sont posées sous forme d'énoncés d'évaluation positifs décrivant des caractéristiques de bâtiment essentielles pour éviter les défaillances observées lors de séismes passés. L'ingénieur évaluateur examine chaque énoncé et détermine s'il est vrai ou faux. Les énoncés vrais reflètent des situations qui sont acceptables. Les énoncés faux signalent des problèmes exigeant une étude plus Approfondie.
La méthode d'évaluation comporte deux phases, la première phase consiste à effectuer une évaluation initiale rapide du bâtiment par une étude initiale sur place et une étude des dessins du bâtiment, suivie d'une révision des énoncés d'évaluation applicables au bâtiment en question. Cette révision comprend des calcules de vérification rapide, on obtient à la fin de cette première phase, une liste de défaillances qui ne satisfont pas aux vérifications rapides ou qu'on ne veut évaluer sans étude plus approfondie. La seconde phase de la méthode d'évaluation met l'accent sur une étude des lieux et des analyses structurales détaillés en vue de déterminer si les énoncés «faux» indiquent des faiblesses réelles. L'un des avantages de cette approche, c'est qu'il est souvent possible de déterminer clairement, après la première phase, si le bâtiment est sur ou s'il nécessite des améliorations en raison des faiblesses clairement identifiées **[4]**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.3.1. La méthode d'évaluation

La méthode d'évaluation comprend les étapes suivantes :
1 .Visiter les lieux et recueillir des données
2. Déterminer le système de résistance aux forces latérales et procéder à la revue initiale des énonces d'évaluation, en effectuant des vérifications rapide, au besoin
3. Exécuter les travaux de suivi sur place
4 .Effectuer les analyses requises pour les énoncés d'évaluation qui se sont révélé faux
5. Faire l'évaluation finale (L'évaluation finale est un énoncé au sujet du bâtiment, fondé sur les résultats des travaux d'évaluation et sur la liste des faiblesses).
6 .Rédiger le rapport final **[4]**

III.3.1.1.visite des lieux et collecte de données : l'ingénieur doit prendre des Photographies et effectuer l'évaluation initiale du bâtiment par la suite, l'ingénieur devrait :

- vérifier s'il existe un rapport géotechnique sur les conditions du sol des lieux
- établir les paramètres des lieux et du sol
- rassembler les données de calcul du bâtiment
- rechercher les données de comportements : évaluations parasismique du bâtiment et autres données de comportement ou études des dommages
- effectuer une étude des lieux initiale du bâtiment, afin de vérifier les données de calcul et, quand c'est possible, l'état des composants du bâtiment
- préparer un résumé des données **[4]**

III.3.1.2.détermination du système de résistance aux forces latérales et revue initiale des énoncés d'évaluation : après avoir examiné le bâtiment et rassemblé tous les dessins et autres donnée disponibles, l'ingénieur devrait déterminer le système de résistance aux forces latérales et utiliser les énoncés d'évaluation comme suit :
1. rechercher et décrire le système de résistance aux forces latérales, tenir compte de tout composant existant pouvant constituer un bon système
2. reproduire la liste des énoncés d'évaluation requis pour le batiment.il est à noter que les énoncés d'évaluation de la liste générale ne s'appliqueront pas nécessairement tous a chaque bâtiment évalué
3.répondre provisoirement aux énoncés
La revue des énoncés d'évaluation constitue le cœur de la méthode d'évaluation
Lorsqu'un énoncé d'évaluation se révèle vrai, l'élément évalué est acceptable, selon les critères des lignes directrices, et le point examiné peut être laissé de cote, les critères peuvent exiger d'effectuer les calcules de vérification rapide, lorsqu'un énoncé se révèle faux, c'est qu'il existe un problème exigeant une étude plus approfondie **[4]**

III.3.1.3.Travaux de suivi sur place

Les énoncés d'évaluation peuvent indiquer au premier examen, qu'il faudra réunir plus d'information au sujet du bâtiment. L'ingénieur devrait planifier ses travaux comme suit

- ✓ vérifier s'il existe d'autres renseignements sur le système structural. L'ingénieur pourra trouver utile d'effectuer certains recherches sur l'histoire des systèmes de bâtiments, de consulter d'anciens manuels et peut être aussi de discuter avec des ingénieurs plus âgés qui possèdent une connaissance des structures anciennes

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

dans la même agglomération ou région, mais son évaluation devrait être basée le plus possible sur des faits et non pas sur des hypothèses

- ✓ 2. Lorsque c'est nécessaire, rechercher des renseignements géotechniques additionnels dans le voisinage du bâtiment, y compris des renseignements sur les travaux de préparation du terrain (par ex, compactage du sol, drainage, etc.).il faudrait obtenir l'avis d'un géotechnicien compétent ou d'un géologue dans tous les cas ou le bâtiment est construit sur des sols meubles ou dans des zones géologiques présentant des dangers sismiques
- ✓ 3. Pour détecter des points critiques, il sera peut être nécessaire d'enlever certains matériaux. Par exemple, lorsque les plans de l'acier d'armature sont disponibles, on peut exposer une portion limitée de l'armature à étudier, afin de s'assurer qu'elle est conforme aux plans. Lorsqu'il est impossible de consulter les plans, la qualité et l'emplacement de l'armature devraient être déterminés par des méthodes non destructives.
- ✓ 4. Il sera peut être nécessaire d'effectuer certains essais destructifs et non destructifs pour vérifier la résistance et la qualité des éléments **[4]**

III.3.1.4. analyse du bâtiment

Dans cette étape l'ingénieur évaluateur doit utiliser les méthodes d'analyses des bâtiments, on peut citer par exemple la méthode de push over

III.3.1.5.l'évaluation finale

III.3.1.5.1.revue des énonces et des réponses

Apres avoir achevé le travail sur place et l'analyse, l'ingénieur devrait revoir les énoncés et les réponses, en s'assurant que tous les problèmes ont été traités

III.3.1.5.2.groupement et revue des résultats de l'évaluation sismique

L'ingénieur devrait rassembler et revoir les résultats

III.3.1.5.3.préparation d'une liste des faiblesses

Il faut dresser une liste des faiblesses relevées grâce à la méthode d'évaluation. Cette liste doit être préparée de façon à aider le propriétaire (ainsi que les autorités de construction, éventuellement à prendre pour l'amélioration parasismique du bâtiment il arrive souvent que le propriétaire demande à l'ingénieur d'ajouter au rapport final une évaluation des améliorations requises, mais même dans le cas contraire, l'évaluateur doit néanmoins donner certains conseils sur les types d'améliorations requis pour corriger les faiblesses.
L'évaluateur doit aussi prendre en considération les risques pour la sécurité et la vie associée à chaque faiblesse
Les faiblesses doivent être énumérées selon une priorité basée sur les risques pour la vie des personnes associés à chaque faiblesse et selon le cout des améliorations requises pour corriger chaque faiblesse **[4]**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

III.3.1.5.4. L'évaluation finale

L'évaluation finale est un énoncé au sujet du bâtiment, fondé sur les résultats des travaux d'évaluation et sur la liste des faiblesses. Dans certains cas, le problème est facile à résoudre par contre dans d'autres cas on trouve un mélange complexe de problèmes à résoudre

III.3.1.6.le rapport

Le rapport devait inclure les éléments suivants

- ✓ Une description du bâtiment sur la fiche de résumé des données
- ✓ L'ensemble des énoncés et un résumé des analyses effectuées
- ✓ Une liste des faiblesses à corriger afin que les réponses aux énoncés d'évaluation passent de faux à vrai
- ✓ Des commentaires sur l'importance relative des faiblesses **[4]**

III.4. Les lignes directrices que nous avons choisies pour l'évaluation en fonction de la typologie

III.4. 1 .Redondance en plan

Chaque étage devra avoir en plan au moins quatre fils de portiques et/ou de voiles dans la direction des forces latérales appliquées, ces fils de contreventement devront être disposés symétriquement autant que possible avec un rapport entre valeur max et min d'espacement ne dépasse pas 1.5. **[5]**

III.4. 2. Les irrégularités en élévation

Sont définies en termes de continuité dans la résistance, dans la rigidité et masse, et aussi dans la géométrie **(Figure III .1).**

I.4. 2. 1. La rigidité et la masse des différents niveaux restent constantes ou diminuent progressivement et sans changement brusque de la base au sommet du bâtiment

I.4. 2. 2 .le trajet de charge

Le système de contreventement ne doit pas comporter d'élément porteur vertical discontinu dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

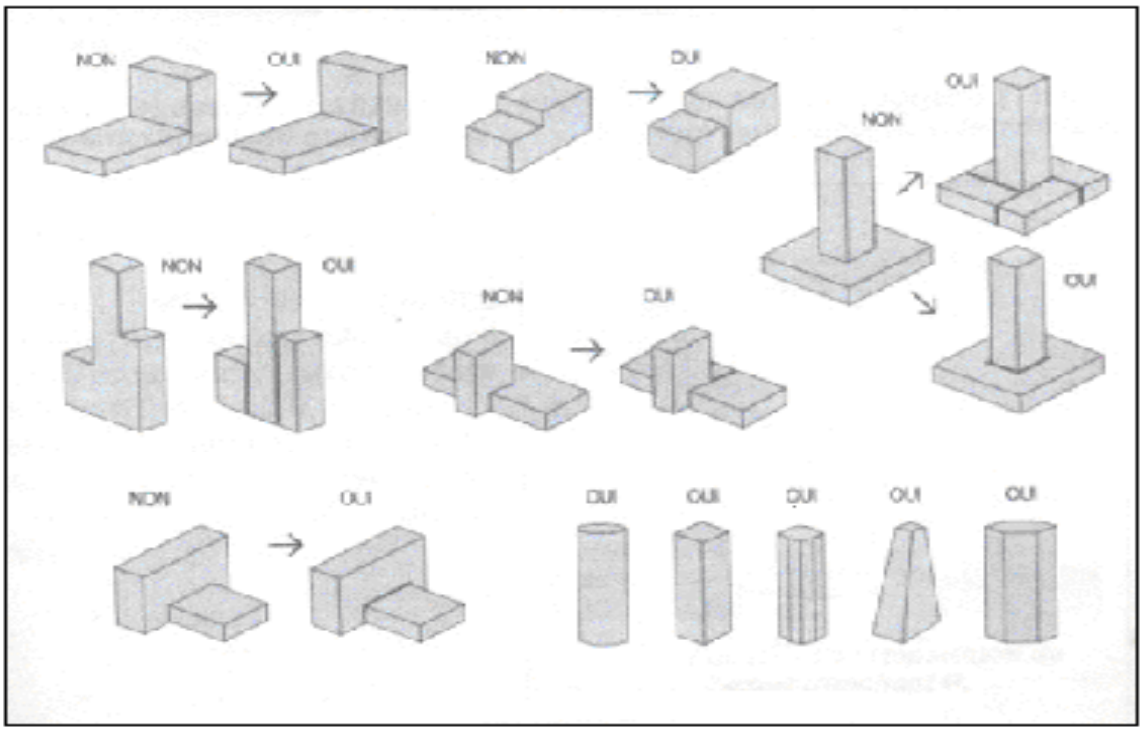


Figure III.1.
Forme des bâtiments en élévation

III.4. 3. La régularité en plan

Il n'ya aucune irrégularité importante (dépassant les normes imposés dans le RPA) **(Figure III .2).**

I.4.3.1. La forme du bâtiment doit être compacte avec un rapport longueur / largeur du plancher inférieur ou égale à 4(structure en béton armée) et inférieur ou égale à 3.5 (structure en maçonnerie)

I.4.3.2. La somme des dimensions des parties rentrantes et saillantes du bâtiment dans une direction donnée ne doit pas excéder 25% de la dimension totale du bâtiment dans cette direction.

I.4.3.3. La surface totale des ouvertures de planchers doit rester inferieur à 15% de celle de ce dernier.

I.4.3.4. La torsion 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. **[5]**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

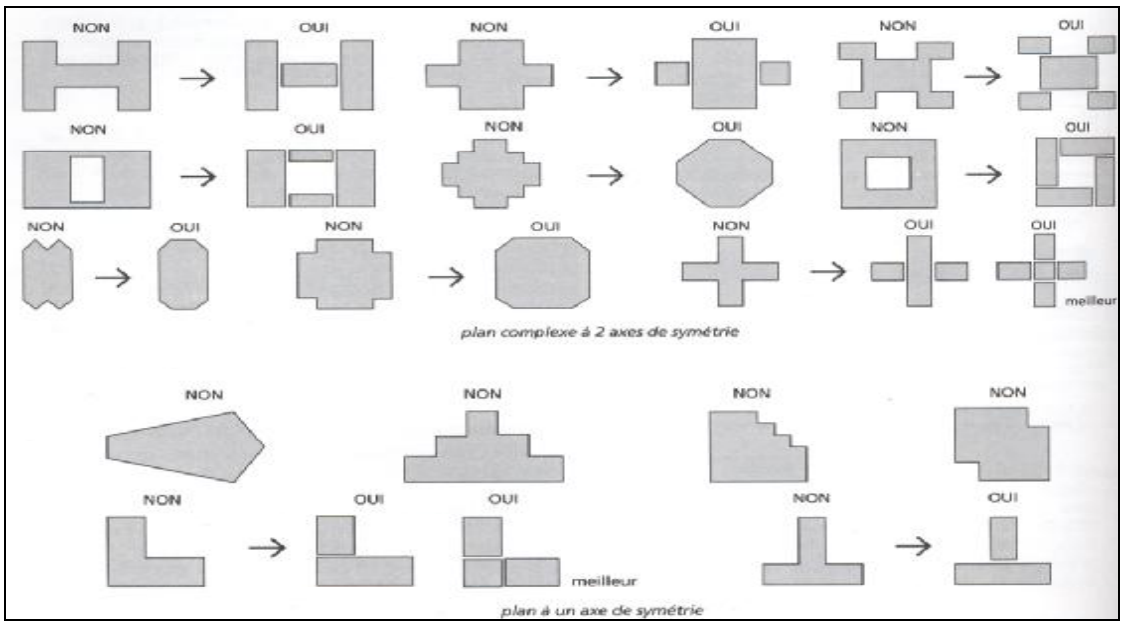


Figure III.2.
Forme des bâtiments en plan

III.4. 4.La largeur des joints sismiques

Deux blocs voisins doivent être sépares par des joints sismiques dont la largeur minimale d_{min} satisfait la condition suivante d_{min}=15+ (δ_1+δ_2) mm≥40mm
$\delta_1$etδ_2) sont les déplacements maximaux des deux blocs **[5]**

III.4. 5.La vétusté des matériaux :

L'absence du contrôle de la qualité des matériaux, et d'exécution conduit a la perte de la résistance mécanique des matériaux constituant les éléments d'une construction, cette dernière influe directement sur le comportement de la construction.

III.4.6. Liquéfaction

Les sources sismiques peuvent, dans certains cas, modifier la texture des sols. Les sables lâches satures d'eau sont particulièrement sensible à ce phénomène.

La liquéfaction ne peut se produire que dans les couches superficielles du terrain, jusqu'à 20 m de profondeur de la surface de la terre. Elle est donc particulièrement dangereux pour les constructions qui ne comportent pas des sous sols et sont fondés sur des couches liquéfiables.

La liquéfaction des sols induit la destruction des bâtis et des déformations apparentes dans la texture du sol **(Figures III.3 et III.4).**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure III.3.
Liquéfaction des sols qui est produit le 21 mai 2003 par le séisme de Boumerdes

Figure III.4.
Liquéfaction et rotation du radier d'un immeuble (Mexique –Mexico – 10September 1985)

III.4. 7. Tassement du sol : les sols de fondation ne comprennent pas de matériau granulaire peu dense (tel que le remblai) susceptible de tassement

III.4.8. Présence d'un diaphragme rigide : Le système de contreventement horizontal est constitué de planchers ou de toitures, ceux-ci doivent former un diaphragme rigide, ce diaphragme joue un rôle très important dans la stabilité des constructions, en leurs donnant un comportement uniforme et résistant aux sollicitations des actions latérales.

Le diaphragme rigide en cas d'un séisme assure, d'une part la transmission des actions latérales, d'autre part un déplacement uniforme en têtes de tous les murs et poteaux sur lesquels repose. **[14]**

III.4.9. Présence de niveaux ouverts

Les niveaux ouverts (transparents) sont fortement déconseillés, d'une part ils provoquent une position élevée du centre de gravité et d'autre part peuvent constituer des niveaux flexibles qui donnent lieu à des concentrations de contraintes aux extrémités des poteaux. Ces concentrations empêchent une transmission correcte des charges, réduisant la capacité incriminée à stocker et à dissiper l'énergie, ce qui entraîne la formation des rotules plastiques dans les poteaux ; celles-ci transforment la structure en système instable **(Figures III.5, III.6et III.7). [1]**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

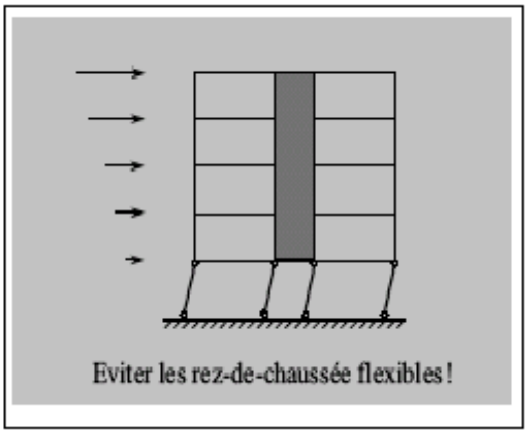


Figure III.5.
rez- de chaussée flexible

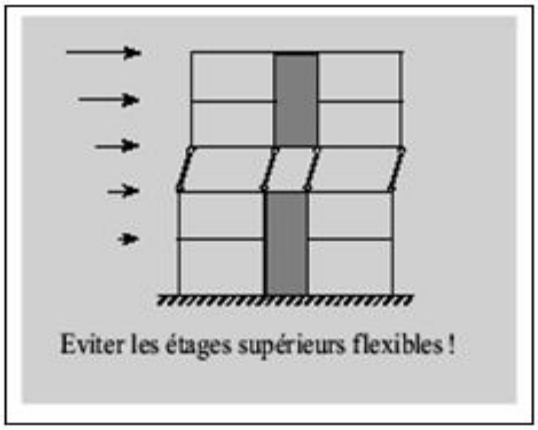


Figure III.6.
Etage supérieur flexible

Figure III.7: Destruction des rez de chaussée due à la flexibilité lors du séisme de Boumerdes le 21 mai 2003

III.4.10. Présence de poteaux courts :

Les poteaux devraient pouvoir vibrer et fléchir sans aucune ambiguïté, sous charges latérales sur toute la hauteur de l'étage.

Les poteaux courts ($\lambda=l_f/i\leq 50$) sont ceux dont les déformations sont limitées par la présence d'allèges, mezzanines, paliers d'escaliers ……..etc. ils doivent résister à des actions latérales importantes, ces éléments sont les plus sollicités que les poteaux ayant une hauteur plus courante **[5].**

Lors des secousses violentes, ils sont soumis à des efforts de cisaillement très élevé, alors qu'ils dissipent que peu d'énergie. Deux cas peuvent se présenter :

III.4.10.1. Poteaux de Verus ouverts :(Figure III.8)

La hauteur du poteau se trouve diminuer par la :

- Mise en place d'alléges préfabriquées ou d'un remplissage partiel.
- Présence de mezzanines rigides solidaires de la structure.
- Présence de décalage de hauteur dans un même niveau.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure III.8.cisaillement de poteaux courts dus à la présence de Verus ouverts

III.4.10.2. Poteau court d'origine structurelle (Figure III.9)

- Poteaux supportant les paliers d'escaliers entre deux niveaux.
- Bâtiment comportant des niveaux décalés.
- Le cas d'un vide sanitaire

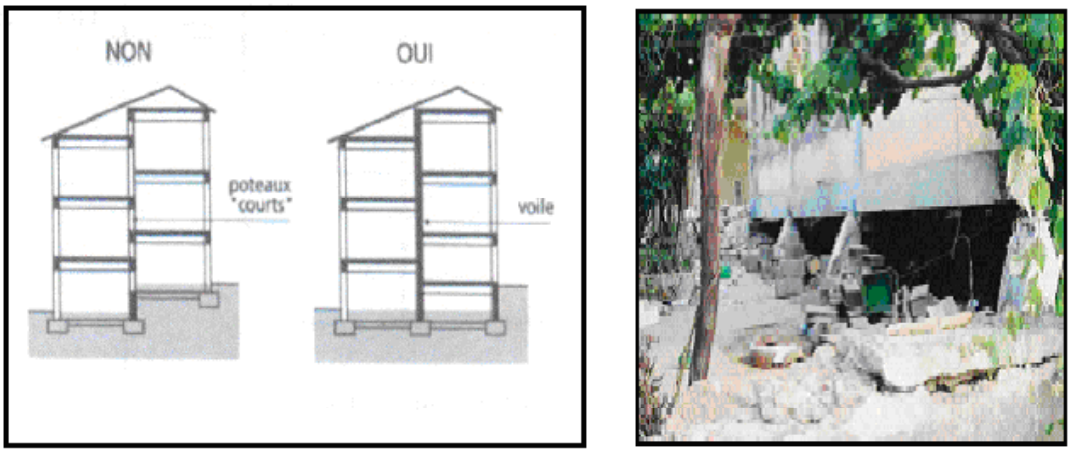


Figure III.9.Cisaillement de poteaux courts d'origine structurelle

III.4.11.Système poteaux faibles, poutres fortes

Quelques fois ; les structures en portiques, sont réalisées en poteaux de sections faibles par rapport à celles des poutres, donc les poteaux atteignent leur limite de résistance avant les poutres **(Figure III.10).**

La stabilité de la structure peut être rompue par la formation des rotules plastiques dans les poteaux. Par conséquent ; on doit toujours respecter le principe poteau fort, poutre faible **[8].**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure III.10: Destruction des nœuds due à la différence de rigidité entre le Poteau et les poutres (séisme de Boumerdes 2003).

III.4.12.Terrain en pente

Les séismes peuvent induire un glissement de terrain en pente, susceptible d'emporter toute construction parasismique ou non

III.4.13.présence de porte à faux important

Les portes à faux importants ou supportant une charge lourde à leurs extrémités libres sont également à éviter, car ils donnent lieu à des sollicitations verticales dangereuses, entrainant des efforts notables dans les appuis. La rupture des portes à faux peut amorcer la dislocation du reste de l'ouvrage.

III.4.14.Elancements des éléments porteurs verticaux

La stabilité latérale d'une construction peut être rompue par la flexibilité des éléments porteurs verticaux ayant un élancement excessif. En effet lors des secousses sismiques, les poteaux ou les murs porteurs qui ne sont pas suffisamment dimensionnés se déforment d'une manière importante par flexion, provoquant l'instabilité ou bien l'effondrement de la bâtisse. **(Figures III.11et III.12) [14]**.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

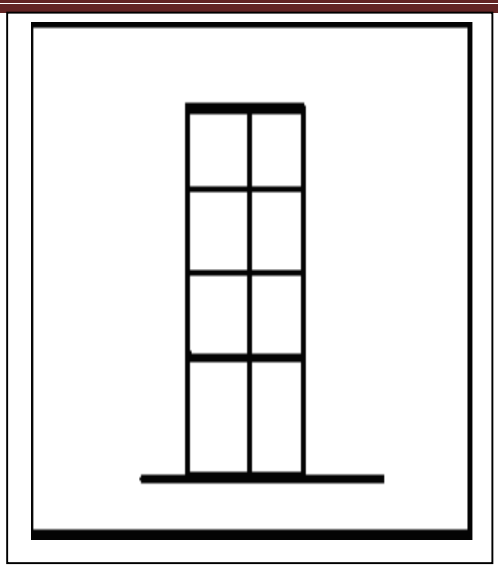


Figure III.11.Élancement des poteaux de rez de chausse

Figure III.12. Endommagement d'un bâtiment du à l'élancement de ces éléments porteurs lors du séisme de Kobe Japon 1995

III.4.15.Modification de la structure d'origine

Il est bien connu que les ouvrages des secteurs tertiaires et industriels, subissent continuellement des modifications par rapport au projet initiales. Les modifications ont plusieurs origines :

- Changement de destination du bâtiment ou une partie de ce dernier.
- Condition d'exploitation plus sévère.
- Changement du processus industriel.
- Modification ou disparition d'éléments structuraux

III.4.16.L'âge de la construction :

L'âge de la construction est relié directement aux méthodes de calcul et de construction y compris les exigences sismiques du code en vigueur, il constitue un facteur important dans la détermination du degré de vulnérabilité d'un bâtiment.

III.4.17.Présence de niveaux décalés

Les bâtiments comportant des niveaux décalés portés par des poteaux ont souvent subis des dégâts importants lors de séismes majeurs. En effet, la hauteur libre des poteaux chargés de part et d'autre par des planchers situés à des niveaux différents est réduite, ce qui peut donner lieu à l'effet des poteaux courts et une ruine par cisaillement. **(Figure III.13) [13]**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

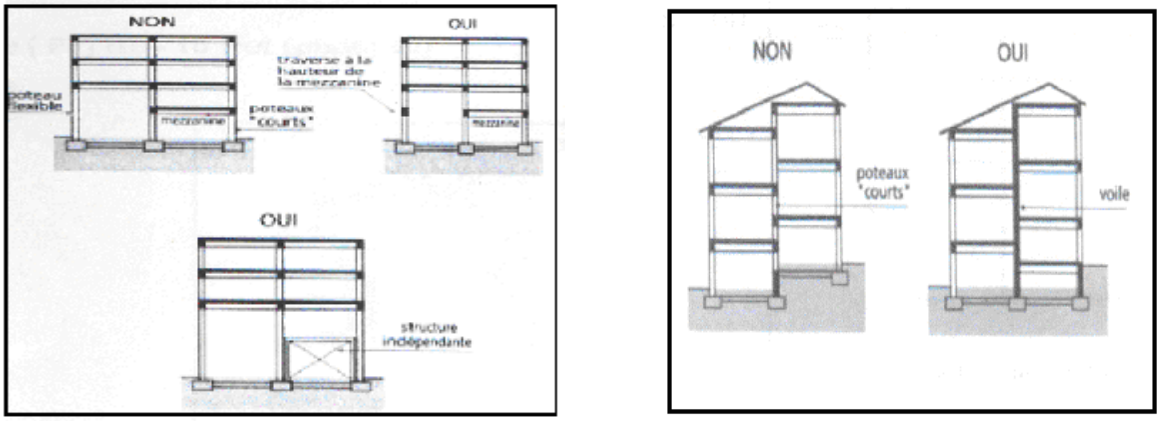


Figure III.13. Niveaux décalés portés par des poteaux

III.4.18.présence d'un angle affaibli

Lors d'un séisme, les angles d'une construction subissent souvent des dommages importants car ils sont d'avantage sollicités que les parties courantes, ils sont soumis aux déformations différentielles des façades qu'ils relient, ainsi qu'a des efforts dus a la torsion d'ensemble, en raison de leur position éloignée du centre de gravite

III.4.19.problèmes consternant les escaliers

Les escaliers jouent un rôle capital dans la sauvegarde des vies humaines après ou au moment du séisme. Des personnes peuvent être piégées à l'intérieur des bâtiments, après un choc principal qui a détruit les cages d'escaliers sans pouvoir sortir avant une éventuelle réplique.
Pour cela il est conseillé, de concevoir des cages d'escaliers, ayant un bon comportement au séisme, toute fois leurs position dans le bâtiment doit être examiné, par l'équipe architecte ingénieur de telle sorte que leur disposition n'engendre pas de mouvement de torsion d'axe verticale ou que ces mouvements restent très limités.
Les cages d'escaliers solidaires de la structure, doivent être conçues en respectant les prescriptions suivantes : les poutres palières, les paliers et les paillasse doivent former un ensemble rigide lies à l'ossature ou aux chainages du bâtiment **[14]**

III.4.20.Poteaux poutre non concourant :

Sur le plan géométrique ; la configuration des nœuds ne doit pas favoriser les concentrations de contraintes, donc cela implique que les poteaux et les poutres soient de largeurs comparables et que leurs axes croisent dans le même plan **(Figure III.14.) [1].**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

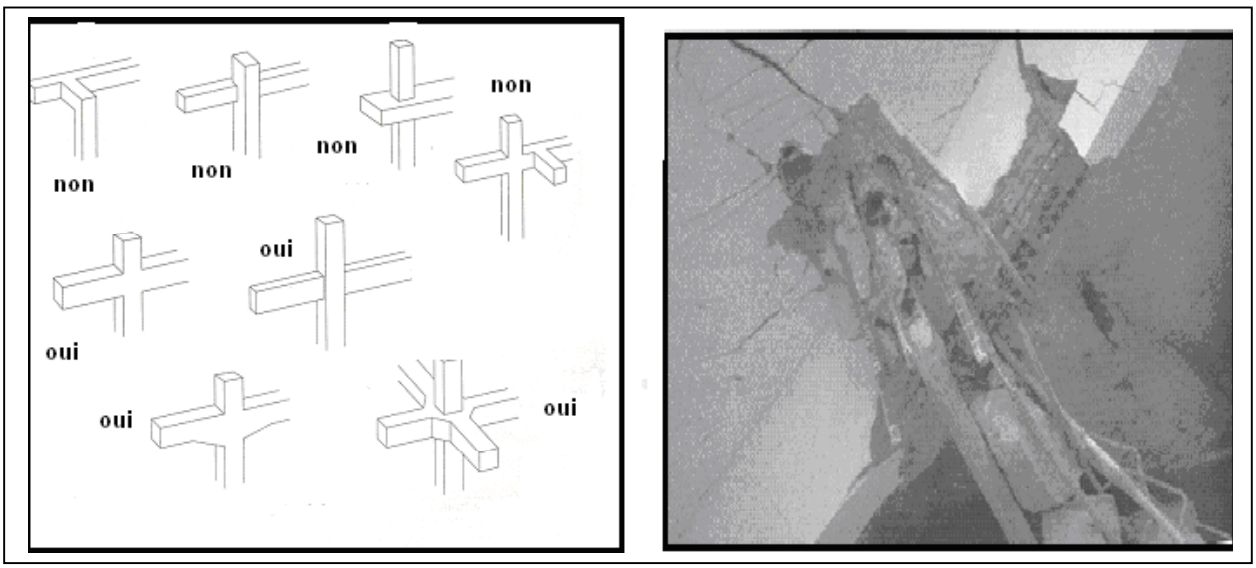


Figure III.14.poutres désaxées par rapport aux poteaux (séisme de chi chi Taiwan1999)

III.4.21.Eléments non structuraux :

III.4.21.1. Cloisons :

Lors des tremblements de terre violents, des cloisons sont souvent endommagées ou détruites, ce qui présente une menace pour la sécurité des occupants, surtout lorsqu'il y a des répliques.

A fin d'améliorer le comportement des cloisons, il est conseillé de prendre certaines dispositions.

Les cloisons sans fonction porteuse de contreventement, sont en général très faibles et doivent être radier, si non il faut les chaîner verticalement ou par un mur perpendiculaire **[14].**

Les solidariser avec les planchers qui règnent sur toute la hauteur, pour éviter leurs diversement.

Si les cloisons n'atteignent pas les plafonds, il est nécessaire un chaînage lit ou gros œuvres pour éviter l'éclatement des cloisons.

On peut prévoir des zones fusibles constituées de plaque de plâtre pour éviter l'éclatement des cloisons.

III.4.21.2. Les acrotères non chaînés et les cheminées élancées :

Le poids lourd et le manque de liaison des corniches, des acrotères et les cheminées élancées avec l'ossature, sont responsables de la faiblesse de ces éléments à l'action sismique, leurs chutes entraînent des dégâts corporels et parfois mortels des passants lors d'un séisme.

III.4.21.3. Les ouvertures et les linteaux :

Les ouvertures ont une grande influence par leur emplacement et leurs dimensions sur la résistance des bâtiments en maçonnerie.

Les linteaux doivent être constitués par des poutres ou poutrelles en BA**[14].**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.1.Historique de la wilaya de Tizi-Ouzou

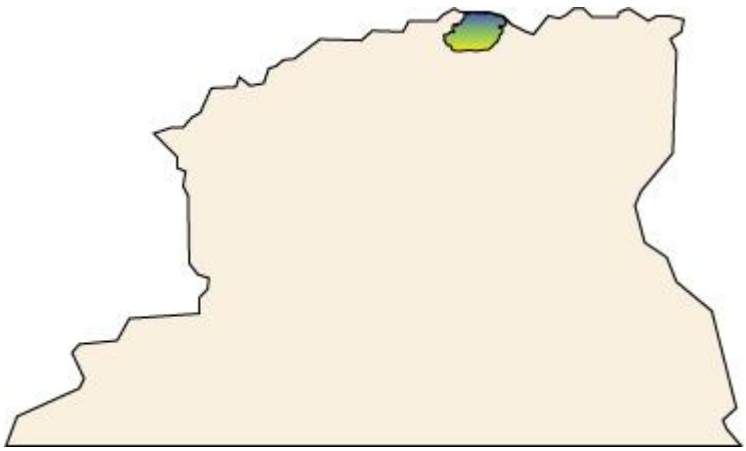


Figure IV.1. Situation géographique de la wilaya de Tizi-Ouzou

L'histoire de Tizi-Ouzou est indissociable de celle de la Kabylie et du reste de l'Algérie. Son territoire a subi l'ensemble des expansions coloniales (romaines, ottomanes, françaises) ayant visé le pays.

D'abord, simple village kabyle dans la vallée de l'oued Sébou, Tizi-Ouzou est devenue un point d'appui militaire important pour les ottomans après la construction d'un bordj (fort). Ce dernier étant lui-même fondé sur d'anciennes ruines romaines.

L'arrivée des Français a considérablement modifié l'aspect du village. D'un côté, Tizi-Ouzou est devenue une vraie petite ville abritant quelques services publics, une juridiction, des lieux de culte (l'église Saint-Eustache, des mosquées comme celle de *Lalla D'Mamiya*), une école de filles et une autre pour garçons, un hôtel, un bureau de poste. L'ouverture de la voie de chemin de fer Alger-Tizi-Ouzou vers 1888 précipita le développement de la ville.

Mais l'arrivée des Français fut aussi synonyme de conflits armés, d'insurrections, de politique de la terre brûlée. Tout ceci contribua à un exode rural massif des villages de Kabylie vers la ville de Tizi-Ouzou.

Après l'indépendance de l'Algérie en 1962, le pays connut un essor démographique très important. Tizi-Ouzou ne fut pas en reste. Sa population est passée de 15 000 habitants en 1960 à 178 542 habitants en 1998.

Aujourd'hui, Tizi-Ouzou est l'une des villes les plus importantes d'Algérie.C'est aussi l'une des mieux équipées. Elle est très bien desservie en matière de transports et d'infrastructures administratives, hospitalières, universitaires… C'est aussi une ville où transite une importante partie de l'activité marchande du pays. En raison de la forte

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

émigration kabyle à l'étranger, Tizi-Ouzou est aussi l'une des places-fortes du commerce de la devise.

La wilaya de Tizi-Ouzou est composée de 67 communes **(Figure IV.2)** dont la commune de Tizi-Ouzou

Sur le plan sismique la wilaya de TIZI -OUZOU, est classée selon le RPA 99 (modiié en 2003) comme une zone de moyenne sismicité **(zone IIa).**

IV.2.La commune et la daïra de Tizi-Ouzou

Figure IV.2.Localisation de la commune dans la wilaya de Tizi-Ouzou.

La daïra de Tizi-Ouzou comprend une seule et unique commune. Il s'agit de la commune de Tizi-Ouzou. Les deux structures administratives partagent donc la même superficie (102,36 km^2) et le même nombre d'habitants

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.3 .Situation géographique et économique de la ville de Tizi-Ouzou

Tizi-Ouzou, située sur un col d'une hauteur de 270 m (col: Tizi en kabyle), n'est pas tout à fait une ville de montagne et encore moins de plaine. Tirant son nom d'une plante sauvage verte à fleurs jaunes qu'est le genêt (ouzou en kabyle) qui embellit toute la région, elle est enserrée par le massif du Belloua (de 650 m d'altitude) et le massif de Hasnaoua (de plus de 600 m d'altitude). La ville de Tizi-Ouzou, dont le nom signifie donc "Col des genêts", est à 100 Km à l'est d'Alger. Elle est la capitale de la grande Kabylie, région essentiellement montagneuse, d'une superficie de 2.957,98 km², délimitée:

- au Nord, par la mer Méditerranée,
- au Sud, par la wilaya de **Bouira**,
- à l'Est, par la wilaya de **Bejaia**,
- à l'Ouest, par la wilaya de Boumerdes

La ville de Tizi- ouzou a été crée en **1645. (Figure IV.3)**

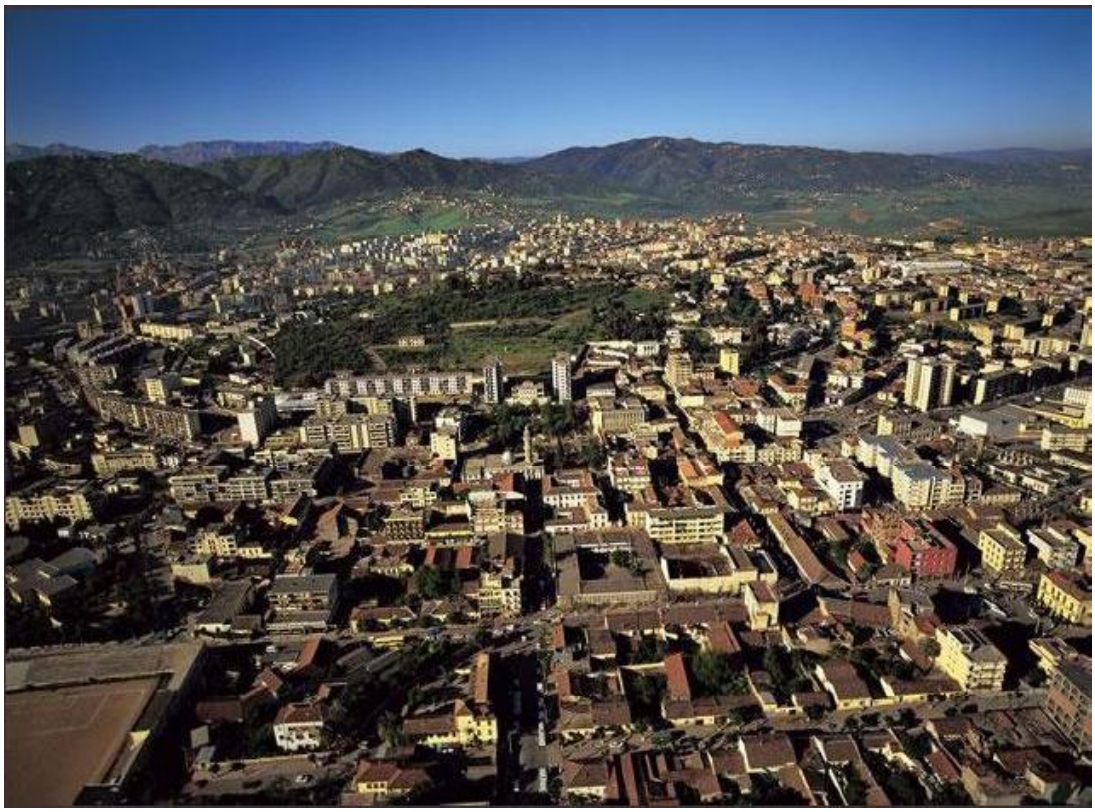


Figure IV.3 .Photo de la ville de Tizi-Ouzou

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV. 4.Evolution du bâti dans la ville de Tizi- ouzo

- **La Haute-Ville ou *EDDechra*** : on a l'habitude de désigner ainsi tout ce qui se trouve au-delà du Boulevard du Nord. Il s'agit de la partie la plus ancienne de la ville. Certains quartiers peuvent donner l'impression de circuler dans une sorte de casbah. Les rues y sont très étroites. La haute ville se décompose elle-même en plusieurs quartiers (Zellal, Ain-l-Halouf, Ain-Soltane, Thazougarte...) **(Figure IV.4), (Figure IV.5).**

Figure IV.4. Les anciennes bâtisses de la haute ville

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.5. Les structures en maçonnerie

- **Le Centre-ville** : il comprend différents quartiers tels que Les Bâtiments Bleus, Le quartier des Genêts, Le Djurdjura, La Cité du 20 août, Le quartier dit du marché… La plupart de ces quartiers sont situés à proximité de La Grande Rue, principale rue commerçante de la ville. **(Figure IV.6), (Figure IV.7) (Figure IV.8).**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.6 .photo du centre ville de Tizi-Ouzou

Figure IV.7. Photo des bâtiments bleus

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.8.quelques typologies de structures du Centre-ville

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- **En périphérie du Centre-Ville** : les quartiers de M'douha, Les Cadis, la cité Million, la Cité des Fonctionnaires, la cité Bekkar, lotissement Berchiche, la Cité du 5 juillet, les Tours-Villas, la cité Bouaziz **(Figure IV.9).**

Figure IV.9. Quelques typologies de structures en périphérie du Centre-ville

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- **La Nouvelle-Ville** : qui se trouve au sud de la ville est composée de plusieurs cités, telles que les 450 logements, les 600 EPLF, les 600 Génisider, les 2000 (ou se situe le marché des légumes et des fruits). À l'origine, cette nouvelle partie de la ville, construite en grande partie après l'indépendance du pays, devait supplanter en termes d'activité commerciale la partie du Centre-Ville. Toutefois, il convient de constater que le Centre-Ville demeure le cœur de toute l'activité marchande de la ville de Tizi Ouzou. La Nouvelle-Ville est surtout une zone résidentielle**. (Figure IV.10), (Figure IV.11)**.

Figure IV.10.quelques typologies de structures de la nouvelle ville de Tizi- Ouzo

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.11.photo de la tour

IV.5.Typologie des constructions dans la ville de Tizi-Ouzou

IV.5.1. Introduction

Les typologies des constructions existantes doivent être bien représentatives du patrimoine de la région étudiée. Ces typologies sont définies en fonction des systèmes porteurs verticaux.

IV.5.1.1.Structures en maçonnerie traditionnelle chainées et non chainées

Ce genre de structures, malheureusement, ne supportent pas très bien les secousses sismiques. Soumises à des sollicitations, les structures en maçonnerie traditionnelle se disloquent donc facilement, il serait d'ailleurs souhaitable que ces constructions soient limitées à un RDC seulement. Ce genre de structures est très fréquent à la haute ville. **(Figure IV.12)**.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.12. Effondrement d'une maison traditionnelle

IV.5.1.2.Structures à ossature en béton armé

Le système structurel de base des ossatures en béton armé est constitué de poutres et de poteaux en béton armé **(Figure IV.13).**qui forment des portiques, ils sont reliés par des nœuds résistants à la flexion et au cisaillement. Les structures avec ossature en béton armé résistent à la fois aux charges verticales et latérales. Ce genre de structures on le retrouve partout dans la ville de Tizi-Ouzou

Figure IV.13.Bâtiment avec des portiques en béton armé

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

IV.5.1.3.Structures en voiles

Les bâtiments réalisés de voile en béton armé ont montré un excellent comportement sous l'action sismique même lors du tremblement de terres majeures. Ce genre de constructions ne comporte pas des zones sensibles comme les nœuds des portiques, ou il y a accumulation de charges violentes, la rigidité importante des voiles réduits les déplacements relatifs des planchers. Les voiles sont à même de supporter les planchers ce qui réduit le risque d'effondrement. Ce genre de structures est très fréquent à la nouvelle ville. **(Figure IV.14)**.

Figure IV.14.Bâtiments avec voiles en béton armé

IV.5.1.4.Systèmes mixtes en portiques et voiles

Le besoin des locaux de grandes dimensions exclut fréquemment l'emploi de voiles seules, on peut dans ce cas associer avantageusement des voiles à des portiques .Les systèmes mixtes en portiques et voiles sont donc caractérise à la fois par une résistance élevée assurée par les voiles et par une bonne capacité à dissiper l'énergie due à la présence des portiques, Ce genre de structures on le retrouve surtout dans la nouvelle ville et le centre ville**(Figure IV.15)**.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure IV.15. Systèmes mixtes en portiques et voiles

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V.1.INTRODUCTION

Les structures ne réagissent pas de la même manière aux secousses sismiques. Certaines sont plus sensibles que d'autre à l'endommagement par les séismes. Cette tendance à l'endommagement est traduite par la vulnérabilité. Pour les sismologues, il s'agit également de tenir compte de la vulnérabilité des bâtiments endommagés par un événement lors de la détermination de la valeur de l'intensité sismique observée. Parmi les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité du bâti existant on peut citer la méthode de pénalisation qu'on va utiliser dans ce chapitre par l'application des lignes directrices

Les paramètres de la méthode de pénalisation pour l'évaluation de la vulnérabilité sont :

- Classification typologique des constructions
- Degré de dommages
- Intensité des séismes

V.1.1.Classification typologique des constructions

La classification typologique des constructions de la ville de Tizi-Ouzou sont définie dans le chapitre IV :
A-Structures en maçonnerie traditionnelle
B-Structures à ossature en béton armé
C-Structures en voiles
D-Systèmes mixtes en portiques et voiles

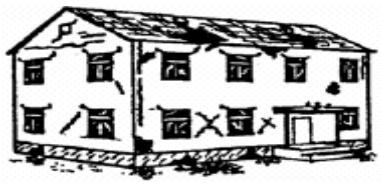
V.1.2.Le degré des dommages

V.1.2.1.Echelle des dommages utilisée :

L'échelle de dommage utilisée comprend 5 degrés de dommage. Les **tableaux (V.1)** et **(V.2)** donnent la définition de ces degrés de dommage pour les bâtiments en maçonnerie et en béton armé respectivement.

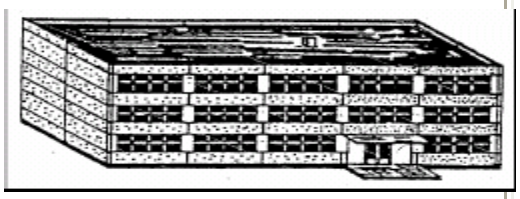
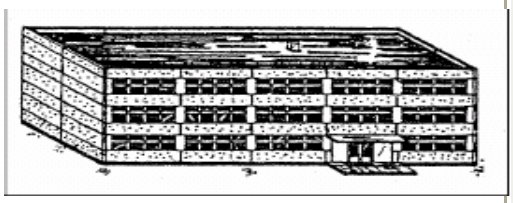
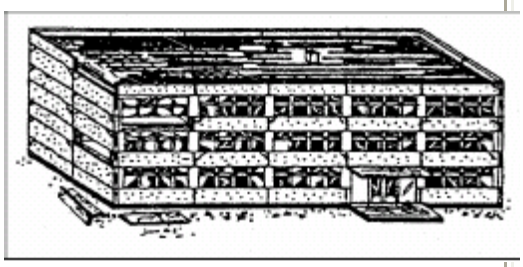
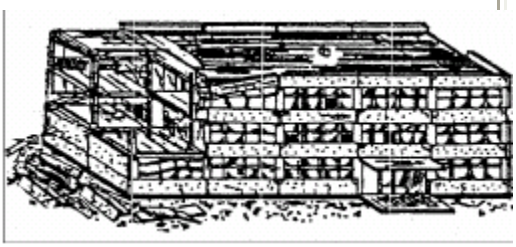
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Tableau V.1. Définition des niveaux de dommage pour les bâtiments en maçonnerie

Classification des dégâts aux bâtiments en maçonnerie	
	Degré 1 : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structuraux) Fissures capillaires dans très peu de murs. Chute de petits débris de plâtre uniquement. Dans de rare cas, chute de pierres descellées provenant des parties supérieures des bâtiments.
	Degré 2 : Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés) Fissures dans de nombreux murs. Chutes de grand morceau de plâtre. Effondrement partiel des cheminées.
	**Degré3: Dégâts sensibles à importants (dommages structuraux modérés, dommages non structuraux importants)** Fissures importantes dans la plupart des murs. Les tuiles se détachent du toit. Fracture des cheminées à la jonction avec le toit. Défaillance d'éléments non structuraux séparés (cloisons).
	Degré 4: Dégâts très importants (Dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants) Défaillance sérieuse des murs, défaillance structurale partielle des toits et planchers.
	Degré 5: Destruction (Dégâts structuraux importants) Effondrement partiel des maisons.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Tableau V.2. Définition des niveaux de dommage des bâtiments en béton armé

Classification des dégâts aux bâtiments en béton armé	
	**Degré 1 : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structuraux)** Fissures fines dans le plâtre sur les parties de l'ossature ou sur les murs à la base. Fissures fines dans les cloisons et les remplissages.
	**Degré 2 : Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés)** Fissures dans les structures de types portiques (poteaux et poutres) et dans les structures avec murs. Fissures dans les cloisons et les murs de remplissage ; chute des revêtements friables et du plâtre. Chute du mortier aux jonctions entre les panneaux des murs.
	**Niveau 3: Dégâts sensibles à importants (dommages structuraux modérés, dommages non structuraux importants)** Fissures dans les poteaux et dans les nœuds à la base de l'ossature et aux extrémités des linteaux des murs avec des ouvertures. Ecaillage du revêtement de béton, flambement des barres d'armature longitudinale. Fissures importantes dans les cloisons et les murs de remplissage, défaillance de certains panneaux de remplissage.
	**Degré 4: Dégâts très importants (Dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants)** Fissures importantes dans les éléments structuraux avec défaillance en compression du béton et rupture des barres à haute adhérence ; perte de l'adhérence acier béton ; basculement des poteaux. Ecroulement de quelques poteaux ou d'un étage supérieur.
	Degré 5: Destruction (Dégâts structuraux importants) Effondrement total du rez-de-chaussée ou de parties de bâtiments.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V.1.3.Intensité des séismes

A. Séisme faible :

Intensité modérée mais significative, elle correspond à l'intensité **VII** sur l'échelle **MSK et à 0,15g** en terme d'accélération.

B. Séisme moyen :

Intensité élevée, elle correspond à l'intensité macrosismique **VIII** sur l'échelle **MSK et à 0,25g** en termes d'accélération.

C. Séisme fort :

Intensité très élevée ; elle correspond à l'intensité macrosismique **IX** ou plus sur l'échelle de **MSK et 0,5g** en terme d'accélération.

SEISME	INTENSITE SUR L'ECHELLE MSK	ACCELERATION
FAIBLE	VII	0.15g
MOYEN	VIII	0.25g
FORT	IX	0.50g

V.2.Le principe de la méthode :

La méthode consiste à élaborer des grilles d'évaluation en attribuant un degré de dommages pour chaque construction en fonction du type de construction, de l'âge, du type de construction.

V.3.Données et définitions de base :

V.3.1.Données préliminaires préalablement recueillies :

V.3.1.1. Année de construction :

Il est indispensable de consulter les dossiers du service de la construction, car ils constituent la source la plus fiable pour l'année de construction d'un bâtiment, ils contiennent des plans, des permis et autre documents relatifs a la construction.

V.3.1.2 .Zone sismique effective :

Il est impératif de savoir la zone sismique où se retrouve le bâtiment, ceci en se situant dans les règlements parasismiques (RPA 99 version 2003) qui définie les zones sismiques comme suite :

- Zone 0 : Sismicité négligeable.
- Zone I : sismicité faible.
- Zone IIa et IIb : Sismicité moyen.
- Zone III : Sismicité élevée.

La **(figure V.1)** représente la carte des zones sismiques de l'Algérie et les zones globales des différentes wilayas.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

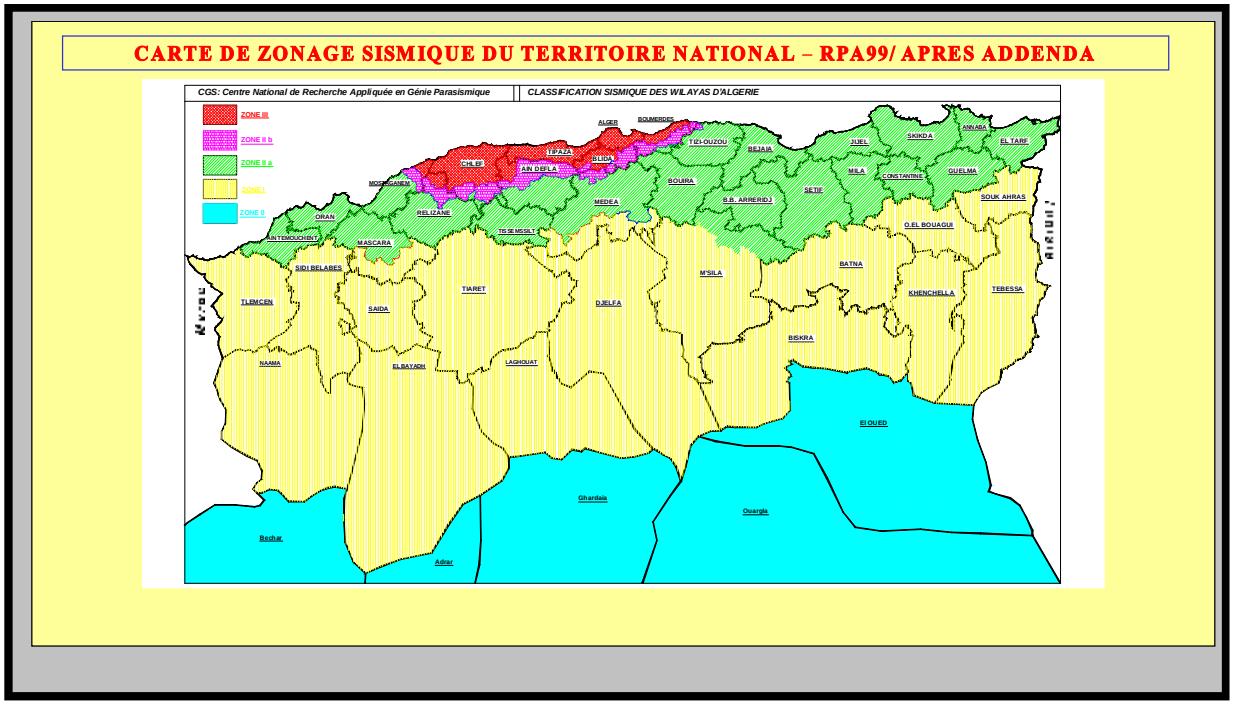


Figure V.1.La carte de zonage sismique du territoire national

V.3.1.3 .Renseignements sur les sols :

Etant donné que les conditions du sol constituent un facteur primordial pour l'évaluation de la vulnérabilité d'un bâtiment.

Comme il est impossible de déterminer facilement des conditions du sol visuellement, il est indispensable de consulter les cartes géotechniques et les cartes géologiques.

Dans la présente méthode on utilise la classiication du RPA 99 VERSION 2003 **(Tableau V. 3)**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Catégorie	Description	qc (MPA) (c)	N (d)	Pl. (MPA) (e)	Ep. (MPA) (e)	Qu (MPA) (f)	Vs (m/s) (g)
S1	Rocheux	-	-	>5	>100	>10	≥800
S2	Ferme	>15	>50	>2	>20	>0.4	≥400-<800
S3	Meuble	1.5≈15	10≈50	1≈2	5≈20	0.1≈0.4	≥200 <400
S4	Très meuble ou Présence de 3m au moins d'argile molle (b)	<1.5	<10	<1	<5	<0.1	≥100 <200

Tableau V.3. Classification des sites selon le RPA 99 version 2003

V.4.Les facteurs graves :

Le cumul de certains facteurs de vulnérabilité aggrave l'endommagement des constructions, ces facteurs sont :

- Niveau flexible
- Elancement excessif des éléments porteurs verticaux
- Irrégularité de forme en plan
- Dissymétrie importante des contreventements en plan
- Poteaux courts

V.5.Domaine d'application de la méthode : [14]

Cette méthode est applicable dans les cas suivants :

- ✓ Dans les zones qui présente une activité sismique
- ✓ Le non respect des normes sismique en vigueur de la réalisation des constructions
- ✓ Dans tous types de constructions (maçonnerie, auto stable, voile)

V.6.les grandes étapes de la méthode : [14]

A- : Rassembler et analyser les données préalables à l'étude sur place.

B- Inspection et étude sur place :

- Vérifier sur place les données préalablement recueillies.
- Déterminer le type de la construction.
- Déterminer le nombre (n) de facteurs de vulnérabilité que présente la construction.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- Vérifier l'état de conservation de la construction.

C- Choisir la grille d'évaluation qui convient à l'âge de la construction et l'intensité du séisme.

D- Evaluer la vulnérabilité de la construction sans tenir compte des conditions du sol et de l'état de conservation.

E- Mentionner le degré de dommage (avec un cercle) pour chaque facteur de vulnérabilité que présente la construction sur la grille d'évaluation

F- Identifier le nombre m des facteurs graves.

G- Estimer la vulnérabilité suivant le nombre n et m.

Premier cas :

n=1 ----> La vulnérabilité de la construction et égale à la vulnérabilité que présente se facteur

Deuxième cas :

n >1 ----> Dans ce c as il faut tenir compte d'une pénalisation induite par la présence de facteurs graves

Ainsi on peut envisager trois (03) possibilités suivant le nombre de facteurs graves m.

Si m ≤ 1**====>** La vulnérabilité de la construction correspond au facteur présentant le degré de dommage le plus élevé à l'intensité sismique considéré.

Si m = 2 **=====>** La vulnérabilité sera pénalisée d'un degré supplémentaire.

Si m = 3 **=====>** La vulnérabilité de la construction sera pénalisée de deux (02) degrés supplémentaires.

H- Estimer la vulnérabilité de la construction en tenant compte des conditions du sol

- **S'il s'agit d'un site de classe S_1:**

On garde le degré de vulnérabilité déjà estimée en **(D).**

- **S'il s'agit d'un site de classe S_3 ou S_2 :**

On pénalise la vulnérabilité déjà estimée en (D) d'un demi (1/2) degré supplémentaire.

-
- **S'il s'agit d'un site de classe S_4 :**

On pénalise la vulnérabilité déjà estimée en (D) d'un degré (1).

I- Estimer la vulnérabilité de la construction en tenant compte de l'état de

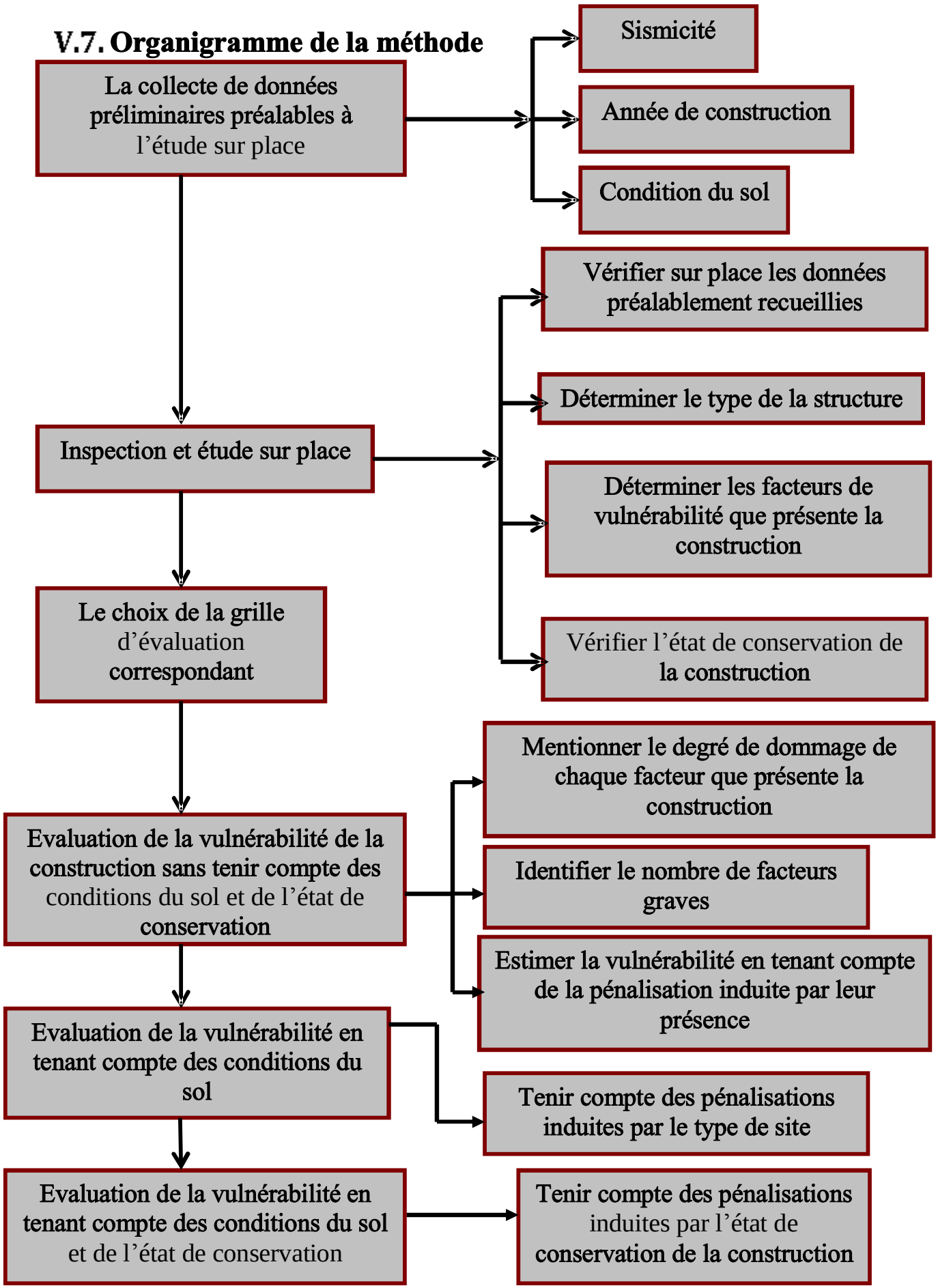
- Conservation de la construction
- **S'il s'agit de bonne conservation :**

On garde le degré de vulnérabilité déjà estimée en (E).

- **S'il s'agit de mauvaise conservation**
  - Pour un séisme faible ====> On garde la vulnérabilité estimée en (E).
  - Pour un séisme moyen ===> On pénalise la vulnérabilité estimé en (E) de 1/2 degré.
  - Pour un séisme fort =====> On pénalise la vulnérabilité estimée en (E) d'un (01) degré

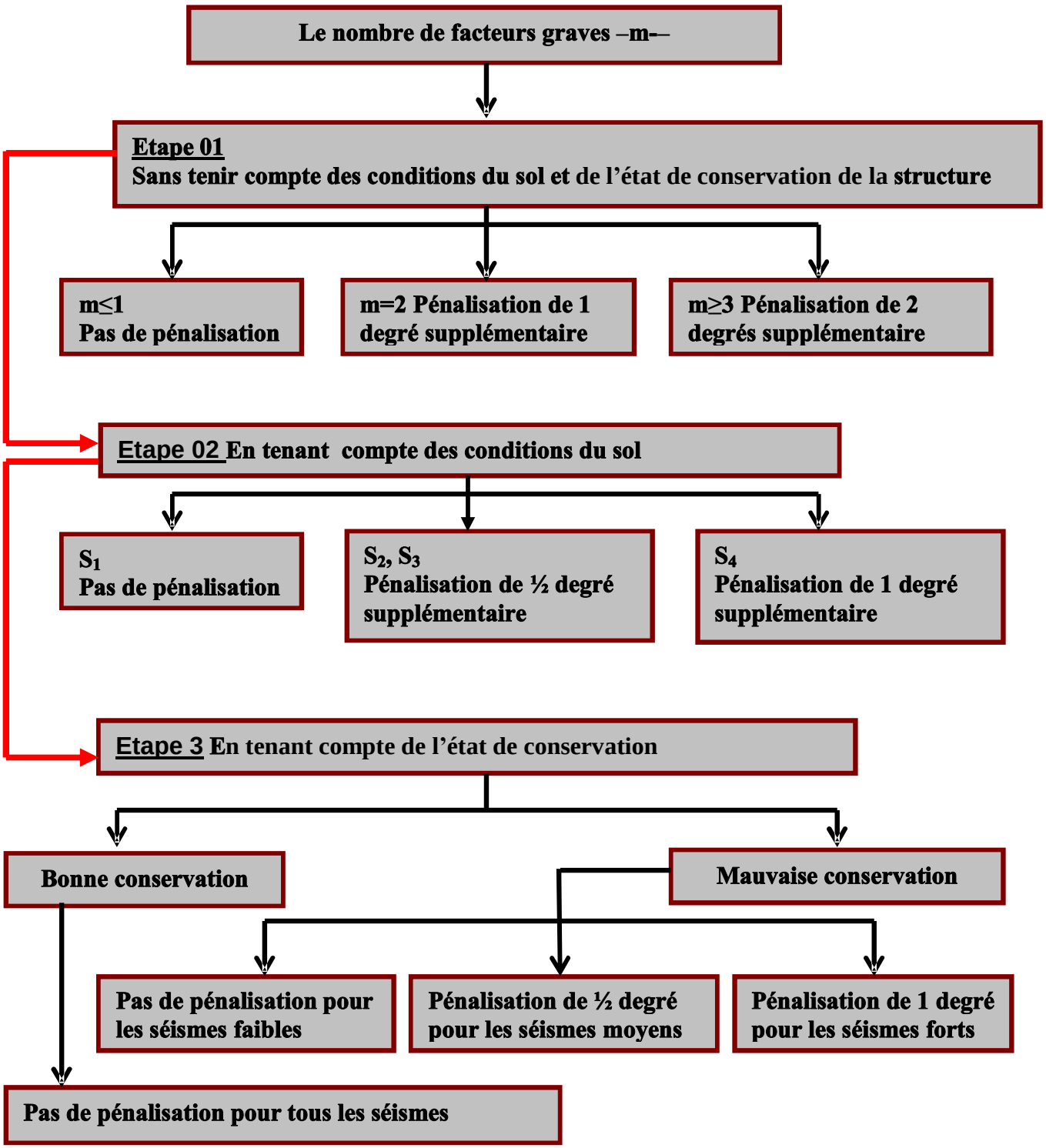
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V.7. Organigramme de la méthode



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V.8.Détermination des pénalisations de la vulnérabilité



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V.9.Les fiches d'évaluation de la vulnérabilité

V. 9.1 .La fiche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions en maçonnerie non chainée

	bâtiment en maçonnerie traditionnelle												
	l'âge du bâtiment	bâtiments anciens											
	la fiche B M T non chaînée	degré des dommages											
	types de séisme	séisme faible				séisme moyen				séisme fort			
	les zones sismiques	0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III
	les facteurs de vulnérabilité												
conception	irrégularité en plan	1	2	3	4	1/2	2/3	3/4	4/5	/	3/4	4/5	5
conception	irrégularité en élévation	1	1/2	2/3	3/4	1/2	2/3	3/4	4/5	/	3/4	4/5	5
conception	liaison des murs avec les planchers	1	1/2	2/3	3/4	1/2	2/3	3/4	4/5	/	3/4	4/5	5
Dimensionnement	Lx/Ly (RPA99) version 2003	Lx/Ly ≤ 3,5											
Dimensionnement	la dimension en plan Lx/Ly	1	2/3	3/4	4/5	1/2	3/4	4/5	5	/	4/5	5	5
ouvertures et les linteaux	La dimension des ouvertures		Σbi ≤ 0,5Li										
ouvertures et les linteaux	La dimension des ouvertures	non	1/2	2	3	4	1/2	2/3	3/4	5	/	3/4	4/5	5
ouvertures et les linteaux	les trumeaux extrêmes		a1≥1,00M										
ouvertures et les linteaux	les trumeaux extrêmes	non	1/2	2	3	4	1/2	2/3	3/4	5	/	3/4	4/5	5
ouvertures et les linteaux	les autres trumeaux		a2 ≥1,00m (zoneIII)						a2≥(b1+b2)/3m (zonel,IIa,IIb)					
ouvertures et les linteaux	les autres trumeaux	non	1	2	3	4	2	3	4	5	/	4	5	5
ouvertures et les linteaux	Les linteaux	les linteaux doivent être constitués par des poutres ou poutrelles en BA											
ouvertures et les linteaux	Les linteaux	non	1	1/2	2/3	4/5	2/3	3/4	4/5	5	/	4/5		5
non superposition des éléments porteurs verticaux		1	1/2	2/3	3/4	1/2	2/3	3/4	4/5	/	3/4	4/5	5
présence de porte à faux important		1	1/2	2/3	3/4	1/2	2/3	3/4	4/5	/	3/4	4/5	5
problème de mitoyenneté		1	1/2	2/3	3/4	1/2	2/3	3/4	4/5	/	3/4	4/5	5
Vétusté des matériaux		1	2	3	4	2	3/4	4/5	5	/	4	5	5

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V. 9.2 .La fiche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions en maçonnerie chainée

	bâtiment en maçonnerie traditionnelle												
	l'age du bâtiment	bâtiment ancien											
	la fiche B-M-T- chaînée	degré des dommages											
	types de séisme	séisme faible				séisme moyen				séisme fort			
	les zones sismiques	0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III
	les facteurs de vulnérabilité												
Dimensionnement conception	irrégularité en plan	1	1/2	2	3	1	1/2	2/3	3/4	/	2/3	3/4	4/5
	irrégularité en élévation	1	1/2	2	2/3	1	1/2	2/3	3/4	/	2/3	3/4	4/5
	liaison des murs avec les planchers	1	1/2	2	3	1	2	3	4	/	3	4	5
	Lx/Ly (RPA99) version 2003	Lx/Ly ≤ 3,5											
	la dimension en plan Lx/Ly	1	1/2	2/3	3/4	1/2	2/3	3/4	4	/	3/4	4/5	5
ouvertures et les linteaux	La dimension des ouvertures		Σbi ≤ 0,5Li										
		non	1	1/2	2	3	1/2	2/3	3/4	4	/	3	4	5
	les trumeaux extrêmes		a1≥1,00M										
		non	1	1/2	2/3	3	1/2	2/3	3	4	/	3/4	4/5	5
	les autres trumeaux		a2 ≥1,00m (zoneIII)					a2≥(b1+b2)/3m (zoneI,IIa,IIb)					
		non	1	1/2	2/3	3	1	2	3	4	/	3	4	5
	Les linteaux	les linteaux doivent être constitués par des poutres ou poutrelles en BA											
		non	1	2	3	3/4	1/2	2/3	3/4	4/5	2/3	3/4	4/5	5
	non superposition des éléments porteurs verticaux	1	1/2	2	2/3	1	1/2	2/3	3/4	/	2/3	3/4	4/5
	présence de porte à faux important	1	1/2	2	2/3	1	1/2	2/3	3/4	/	2/3	3/4	4/5
	problème de mitoyenneté	1	1/2	2	3	2	3	3/4	4	/	2/3	3/4	4/5
	Vétusté des matériaux	1	1/2	2	3	1	2/3	3/4	4	/	3	4	5

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V. 9.3 .La fiche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions auto stable anciennes

bâtiment avec portique en béton armé													
l'âge du bâtiment			bâtiment ancien										
la fiche P-BA			degré des dommages										
types de séisme			séisme faible				séisme moyen				séisme fort			
les zones sismiques			0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III
les facteurs de vulnérabilité														
la forme du bâtiment		irrégularité en plan	1	1/2	2	3	1/2	2/3	3/4	4/5	/	4	5	5
		irrégularité en élévation	1	1/2	2/3	3/4	2	3	3/4	4/5	/	3/4	4/5	5
		présence de niveaux flexible	1	2	2/3	3/4	2	3	4	5	/	4	5	5
		Lx/Ly (RPA99) version 2003	0,25 <Lx/Ly≤4											
		la dimension en plan	1	1/2	2	3	1/2	2/3	3/4	4/5	/	3/4	4/5	5
système de contreventement		Absence de diaphragme rigide	1	2	3	4	2	3	4	5	/	4	5	5
	contreventement vertical	répartition non uniforme des rigidités en plan	1	1	1/2	2	1	1/2	2/3	3/4	/	3/4	4	4/5
		élancement des éléments porteurs verticaux	2	2/3	3/4	4/5	2	3	4/5	5/6	/	4	5	5
		non superposition des éléments porteurs verticaux	1/2	2/3	3/4	4/5	2/3	3/4	4/5	5	/	4	5	5
		non homogénéité du système porteurs verticaux	1	2/3	3	4	3	3/4	4/5	5	/	4	5	5
		présence de poteaux courts	1/2	2/3	3	3/4	2/3	3/4	4	4/5	/	4/5	5	5
		système poteaux faible poutre forte	1	1/2	2	2/3	1/2	2/3	3	3/4	/	4/5	5	5
		présence de porte à faux important	1	1/2	2	2/3	1/2	2/3	3	3/4	/	2/3	3/4	4
		problème de mitoyenneté	/	1	2	2/3	1	2	3	3/4	/	3/4	4	4/5
		poteaux poutres non concourant	1	1/2	2/3	3	1	2	3	4	/	3	4	5
Eléments non structuraux		cloisons non solidaires des planches	1	2/3	3	3/4	2/3	3	3/4	4	/	3/4	4/5	5
		conception des angles	2	2/3	3	3,4	2	3	4	5	/	4	5	5
		placage des poteaux avec de la maçonnerie	1	1/2	2	2,3	1,2	2	2,3	3,4	/	3/4	4	4/5
		les acrotères non chaînées	1	1/2	2	2/3	1	1/2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
		les cheminés élancées	1	1/2	2	2/3	1	1/2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
Vétusté des matériaux			1/2	2/3	3/4	4	2	3	4	5	/	4	5	2

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V. 9.4 .La fiche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions auto stable récentes

bâtiment avec portique en béton armé													
l'âge du bâtiment			bâtiment récent										
la fiche P-BA			degré des dommages										
types de séisme			séisme faible				séisme moyen				séisme fort			
les zones sismiques			0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III
les facteurs de vulnérabilité														
la forme du bâtiment		irrégularité en plan	1	1/2	2	2/3	1/2	2	3	3/4	/	3/4	4	4/5
		irrégularité en élévation	1	1/2	2	2/3	1/2	2/3	3	3/4	/	3/4	4	4/5
		présence de niveaux flexible	1	1/2	2	3/4	2	3	4	4/5	/	4/5	5	5
		Lx/Ly fixé parle RPA99	0,25 <Lx/Ly≤4											
		la dimension en plan	1	1/2	2	2,3	1	2	2/3	3/4	/	3	4	5
système de contreventement		Absence de diaphragme rigide	1	1/2	2/3	3/4	2	2/3	3/4	4/5	/	3	4	5
	contreventement vertical	répartition non uniforme des rigidités en plan	1	1	1/2	2	1	1/2	2/3	3/4	/	3/4	4	4/5
		élancement des éléments porteurs verticaux	2	2/3	3/4	4/5	2	3	4/5	5	/	4	5	5
		non superposition des Eléments porteurs verticaux	1	2	2/3	3	2	2/3	3	4	/	3/4	4/5	5
		non homogénéité du système porteurs verticaux	1	1/2	2/3	3/4	2	2/3	3/4	4/5	/	3/4	4/5	5
		présence de poteaux courts	1/2	2/3	3	3/4	2/3	3/4	4	4/5	/	4/5	5	5
		système poteaux faible poutre forte	1	1/2	2	2/3	1/2	2/3	3	3/4	/	4/5	5	
		présence de porte à faux important	1	1/2	2	2/3	1/2	2/3	3	3/4	/	2/3	3/4	4
		problème de mitoyenneté				2/3				3/4	/			4/5
		poteaux poutres non concourant	1	1/2	2/3	3	1	2	3	4	/	3	4	5
Eléments non structuraux		cloisons non solidaires des planches	1	1/2	2	2/3	1/2	2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
		conception des angles	1	1/2	2	2/3	1	2	3	4	/	3	4	5
		placage des poteaux avec de la maçonnerie	1	1/2	2	2/3	1/2	2	2/3	3/4	/	3/4	4	4/5
		les acrotères non chaînées	1	1/2	2	2/3	1	1/2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
		les cheminés élancées	1	1/2	2	2/3	1	1/2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
Vétusté des matériaux			1	1/2	2/3	3	2	2/3	3/4	4/5	/	3/4	4/5	5

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V. 9.5 .La fiche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions avec voiles porteurs récentes

bâtiment avec voiles en béton armé													
l'âge du bâtiment			bâtiment ancien										
la fiche B-V-BA			degré des dommages										
types de séisme			séisme faible				séisme moyen				séisme fort		
les zones sismiques			0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III
les facteurs de vulnérabilité													
La forme du bâtiment		irrégularité en plan	/	1	1/2	2/3	1	1	1/2	3/4	/	2/3	3/4	4
		irrégularité en élévation	/	1	1	1/2	1	1	2	3	/	1/2	2/3	4
		présence de niveaux flexible	/	1/2	2	3	1	2	3/4	4	2	3	4	5
		Ix/Iy (RPA99) version 2003	Ix/Iy<4											
		Ix/Iy réel	/	1	1/2	2	1	1/2	2	3	/	2	3	4
Système de contreventement	C-H	Absence de diaphragme rigide	/	2	3	3/4	2	3	4	4/5	/	3	4	5
	Vertical	élancement des éléments porteurs verticaux	/	1/2	2	2/3	1/2	2	2/3	3/4	/	2/3	3/4	4/5
		non superposition des éléments porteurs verticaux	/	1/2	2	3	1	2	3	4	/	3	4	5
		répartition non uniforme des rigidités en plan	/	2	2/3	3	2	3	3/4	4	/	3	4	5
Eléments non structuraux		problème de mitoyenneté	/	1	2	3	1	2	3	4	/	3	4	5
		cloisons non solidaires des planches	/	1/2	2	2/3	1	2	2	3	/	2	3	4
		conception des angles	/	1/2	2	2/3	1	2	3	4	/	3	4	5
		les acrotères non chaînées	/	1	1	1/2	1/2	2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
		les cheminés élancées	/	1	1	1/2	1	1/2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
		Vétusté des matériaux	/	1	2	3	1	2	2/3	4	/	3	4	4/5

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V. 9.6 .La fiche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions avec voiles porteurs anciennes

bâtiment avec voiles en béton armé													
l'âge du bâtiment			bâtiment ancien										
la fiche B-V-BA			degré des dommages										
types de séisme			séisme faible				séisme moyen				séisme fort		
les zones sismiques			0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III
les facteurs de vulnérabilité													
La forme du bâtiment		irrégularité en plan	/	1	1/2	2/3	1	2	2/3	3	/	1/2	2/3	3/4
		irrégularité en élévation	/	1	1/2	2	1	2	2/3	3	/	2	3	3/4
		présence de niveaux flexible	/	1	1/2	2	1	1/2	2/3	3	2	3	3/4	4
		lx/ly (RPA99) version 2003	lx /ly<4											
		lx/ly réel	/	1	1/2	2	1	1	2	3	/	2	3	4
Système de contreventement	C-H	Absence de diaphragme rigide	/	1/2	2	2/3	1	2	3	3/4	/	3	3/4	4
	Vertical	élancement des éléments porteurs verticaux	/	1/2	2	2/3	1/2	2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
		non superposition des éléments porteurs verticaux	/	1/2	2	2/3	1	1/2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
		répartition non uniforme des rigidités en plan	/	2	2/3	3	2	3	3/4	4	/	3	4	5
Eléments non structuraux		problème de mitoyenneté	/	1	1/2	2	1	1/2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
		cloisons non solidaires des planches	/	/	/	1	1	1	1/2	2	/	1/2	2/3	3
		conception des angles	/	1/2	2	2/3	1	2	3	4	/	3	4	5
		les acrotères non chaînées	/	1	1	1/2	1/2	2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
		les cheminés élancées	/	1	1	1/2	1	1/2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
La vétusté des matériaux			/	1	2	2/3	1	3/2	3	3/4	/	3	3/4	4

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V .10. Evaluation de la vulnérabilité des bâtiments par l'application de la méthode de pénalisation

V .10.1.Etude du bâtiment auto stable

V .10.1.1. Présentation et description du bâtiment auto stable

Le bâtiment est à usage d'habitation et commerciale, La structure est constituée de portiques auto stable en béton armé en (R+7) **(figure V.2),** avec des remplissages en maçonnerie. Ce dernier est implanté sur un sol argileux classée selon le RPA99 en site S3 (sol meuble) caractérisé par une vitesse d'onde de cisaillement Vs ≥ 200 m/, c'est un bâtiment récemment construit.

Figure V.2.photo du bâtiment auto stable

V .10.1.2.Fiche d'évaluation du bâtiment auto stable

Après l'inspection de l'ouvrage nous avons procédé à l'évaluation de la vulnérabilité du bâtiment auto stable

Les lignes directrices qui ne sont pas satisfaites ou bien les facteurs que présente la structure sont :

- Angles affaiblis
- Présences de poteaux courts
- Elancement de RDC

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V .10.1.2.1.Evaluation de la vulnérabilité sans tenir compte des conditions du sol et de l'état de conservation de la construction

A .Pour les angles affaiblis on aura les dommages suivants

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible	1/2
Séisme moyen	2
Séisme fort	3

B .Pour la présence des poteaux courts on aura les dommages suivants

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible	2/3
Séisme moyen	3/4
Séisme fort	4/5

C .Pour l'élancement du RDC on aura les dommages suivants

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible	2/3
Séisme moyen	3
Séisme fort	4

Le facteur de vulnérabilité le plus prépondérant c'est la présence de poteaux courts

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible	2/3
Séisme moyen	3/4
Séisme fort	4/5

V .10.1.2 .2.Evaluation de la vulnérabilité en tenant compte des facteurs graves :

Le bâtiment présente deux facteurs graves (m=2) donc on pénalise d'un degré de dommages

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible	3/4
Séisme moyen	4/5
Séisme fort	5

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V .10.1.2 .3.Evaluation de la vulnérabilité en tenant compte des conditions du sol :

Il s'agit d'un sol S 3, ce qui pénalise la vulnérabilité estimée en **V .10.1.2 .2.**d'un demi-degré supplémentaire sur l'échelle des dommages

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible	4
Séisme moyen	5
Séisme fort	5

V .10.1.2 .3.Evaluation de la vulnérabilité en tenant compte de l'état de conservation de la construction

La structure est en bonne état de conservation donc la vulnérabilité est celle estimée en **V .10.1.2 .3.**

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible	4
Séisme moyen	5
Séisme fort	5

V .10.2.Etude du bâtiment mixte

V .10.2.1. Présentation et descriptiou du bâtiment mixte

Le bâtiment est à usage d'habitation et commerciale, La structure est mixte en portiques et voiles en (R+7) **(figure V.3),** Ce bâtiment est implanté sur un sol argileux classée selon le RPA99 en site S3 (sol meuble) caractérisé par une vitesse d'onde de cisaillement Vs ≥ 200 m/, c'est un bâtiment récemment construit.

Figure V.3.photo du bâtiment mixte

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V .10.2.2.Fiche d'évaluation du bâtiment auto stable

Après la visite des lieux nous avons constaté que le seul facteur observé est : l'élancement du RDC

V .10.2.2.1.Evaluation de la vulnérabilité sans tenir compte des conditions du sol et de l'état de conservation de la construction

Pour l'élancement on aura les dommages suivants

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible	1/2
Séisme moyen	2
Séisme fort	3

V .10.2.2 .2.Evaluation de la vulnérabilité en tenant compte des facteurs graves :

Le bâtiment présente un seul facteur grave donc on ne pénalise pas

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible	1/2
Séisme moyen	2
Séisme fort	3

V .10.2.2 .3.Evaluation de la vulnérabilité en tenant compte des conditions du sol :

Il s'agit d'un sol S 3, ce qui pénalise la vulnérabilité estimée en **V .10.2.2 .2.**d'un demi-degré supplémentaire sur l'échelle des dommages

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible	2
Séisme moyen	2/3
Séisme fort	3

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V.10.2.2.3.Evaluation de la vulnérabilité en tenant compte de l'état de conservation de la construction

La structure est en bonne état de conservation donc la vulnérabilité est celle estimée en **V.10.2.2.3.**

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible	2
Séisme moyen	2/3
Séisme fort	3

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

VI.1. Introduction

Une évaluation fiable du comportement d'un bâtiment face à un tremblement de terre, en termes de dommages, requiert un outil permettant une analyse des structures au-delà du domaine élastique. La méthode d'analyse de type "push-over", basée sur les courbes de capacité (ou bien les courbes "push-over"), représente une nouvelle approche d'estimation de dommages.
Les techniques d'analyse de structures consistent essentiellement à comparer un paramètre de demande de déplacement avec un paramètre de capacité. L'effort tranchant a été le paramètre utilisé traditionnellement pour la conception parasismique des bâtiments. L'ingénieur calcule la sollicitation (la force) provoquée par un séisme donné (ou plusieurs) à la base de la structure, et la compare avec la résistance de ce bâtiment.
Dans cette étude, nous allons développer des courbes moyennes de capacité pour une construction dans le but d'appliquer la méthode push-over afin d'estimer l'état d'endommagement du bâtiment. L'application de cette méthode nécessite **[9]** :

- ✓ La demande sismique sous forme d'une réponse spectrale.
- ✓ La capacité sismique.
- ✓ Le niveau d'endommagement.

VI.2.La demande sismique

Le spectre de réponse est la notion la plus répondue pour représenter un séisme.
Il fournit la réponse maximale d'oscillateurs linéaire soumis à un séisme.
Cette réponse se calcul simplement pour un oscillateur linéaire de masse (M), de raideur (K), et d'amortissement (C) dont le déplacement relatif par rapport à son support soumis à une excitation sismique représenté par l'enregistrement de l'accélérogramme.

VI.3. La capacité sismique

Le calcul statique non linéaire appelé analyse « push over », permet d'obtenir une courbe de capacité de la structure. Cette courbe est une représentation graphique qui relie l'effort tranchant à la base au déplacement au sommet d'une structure, elle est en générale formé par une phase à caractère élastique linéaire suivie par une phase non linéaire correspondant à la formation des rotules de flexion et de cisaillement jusqu'au moment de la rupture **(Figure VI.1)**. La rupture est identifiable par une chute de l'effort à la base suite à un petit déplacement de la structure **[10]**.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

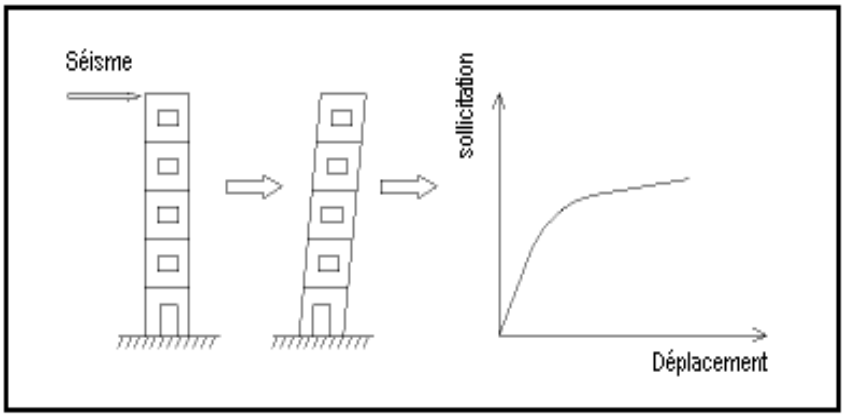


Figure VI .1. Signification physique de la courbe de capacité

VI.3.1. Analyse statique non linéaire

Le comportement globale non linéaire d'une structure auto stable est décrit par la formation des mécanismes de rotules plastique en un ou plusieurs de ses éléments. Les rotules plastiques sont des zones qui, sous une sollicitation sismique, perdent leur capacité de résistance et deviennent une sorte d'articulation, permettant la rotation de l'élément **(Figure VI .2)**. La rotule plastique définit le comportement post- élastique de l'élément considéré, permettant la dissipation d'une quantité importante d'énergie avant la rupture de l'élément. Cette propriété est connue sous le nom de la ductilité des matériaux.

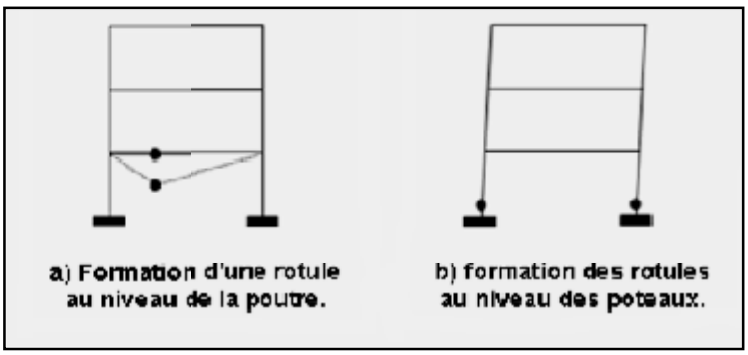


Figure VI.2. Formation des rotules plastiques.

Ces rotules plastiques sont caractérisées par certains paramètres qui définissent la capacité de déplacement ou de rotation de la rotule, avant sa rupture. Les valeurs caractérisant les rotules plastiques définissent le mécanisme globale de ruine de la structure, et représente des éléments fondamentaux de la modélisation non linéaire.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

VI.3.2.Définition de l'analyse push-over

L'analyse 'push-over' est une procédure statique non-linéaire dans laquelle la structure subit des charges latérales suivant un certain modèle prédéfini en augmentant l'intensité des charges jusqu'à ce que les modes de ruine commencent à apparaître dans la structure**[11].**

VI.3.3. but de l'analyse push-over

Le but de l'analyse push-over est de décrire le comportement réel de la structure et d'évaluer les différents paramètres en termes de sollicitations et déplacements dans les éléments de la structure.
L'analyse push-over est supposée fournir des informations sur plusieurs caractéristiques de la réponse qui ne peuvent être obtenues par une simple analyse élastique **[12]**, on cite :

- L'estimation des déformations dans le cas des éléments qui doivent subir des déformations inélastiques afin de dissiper de l'énergie communiquée à la structure par le mouvement du sol.
- La détermination des sollicitations réelles sur les éléments fragiles, telles que les sollicitations sur les assemblages de contreventements, les sollicitations axiales sur les poteaux, les moments sur les jonctions poteau-poutre, les sollicitations de cisaillement.
- Les conséquences de la détérioration de la résistance des éléments sur le comportement global de la structure ce qui permet de déterminer les points forts et les points faibles de notre structure.
- L'identification des zones critiques dans lesquelles les déformations sont supposées être grandes.
- L'identification des discontinuités de résistance en plan et en élévation qui entraînent des variations dans les caractéristiques dynamiques dans le domaine inélastique.
- L'estimation des déplacements inter-étage qui tiennent compte des discontinuités de la rigidité et de la résistance qui peut être utilisés dans le contrôle de l'endommagement.

VI.3.4.principe de la méthode push-over

Le principe de cette analyse consiste en l'application d'une force latérale, que l'on augmente d'une manière incrémentielle jusqu'à atteindre le déplacement maximale du bâtiment

VI.4. Le niveau d'endommagement

La courbe de capacité qui représente le déplacement du dernier niveau d'un bâtiment en fonction de la force sismique, montre le comportement de la structure face à n'importe quelle sollicitation horizontale, indépendamment de son intensité. Bien évidemment, le

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

déplacement de la structure augmente avec la force, jusqu'au moment ou celle-ci perd complètement sa capacité de résistance. **(Figure VI .3)**.

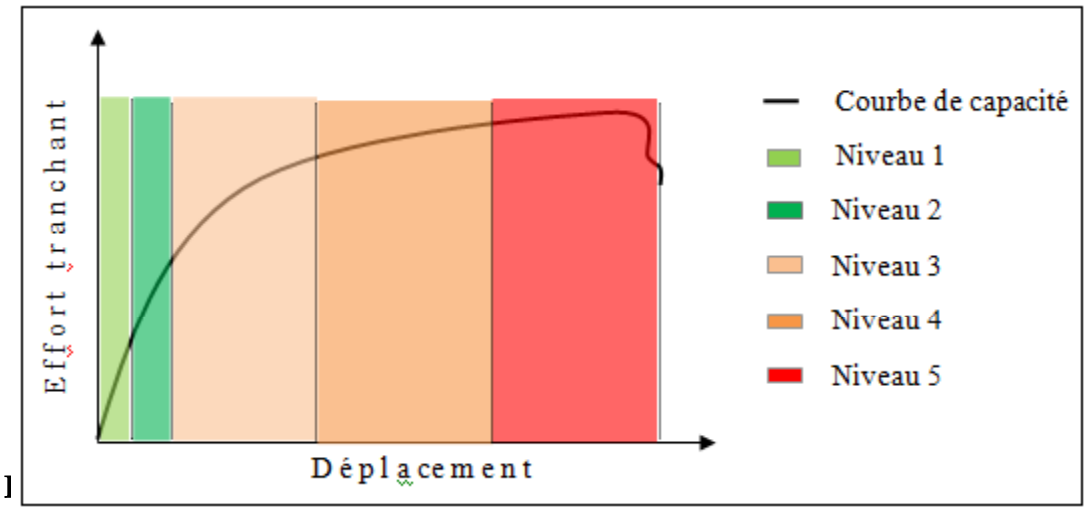


Figure VI.3. Niveaux d'endommagements décrits par une courbe de capacité

Niveau 1 : Correspond au comportement élastique de la structure et représente le niveau de conception parasismique habituel.

Niveau 2 : Correspond à un niveau de dommage contrôlé, il indique par conséquent un état d'endommagement superficiel (ou bien de non endommagement).

Niveau 3 : La stabilité de la structure n'est pas en danger, mais toutefois un endommagement mineur est susceptible de se développer.

Niveau 4 : Représente un état d'endommagement avancé, sa stabilité étant en danger.

Niveau 5 : La structure est susceptible à l'effondrement, ne présentant aucune capacité de résistance.

VI.5.1.Procédure d'évaluation du point de performance

Pour l'évaluation du point de performance nous avons utilisé la procédure par superposition directe de la courbe de capacité et celle de la demande sismique.

Le point de performance est évalué directement par l'intersection de ces deux courbes, en ce point la demande est égale à la capacité, correspondant à un déplacement maximum et à un état de dommage spécifique. Cet état est bien unique, et il correspond à un mouvement sismique spécifique.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

La superposition de la courbe de capacité et celle de la demande sismique nous conduit à définir trois cas :

VI.5.1.1. Cas où la demande est inférieure à la capacité

Le déplacement maximal qui peut être supporté par la structure est supérieur au déplacement imposé par le séisme **(figure VI .4).**la structure ne s'effondre pas, mais elle subit des dommages que l'on peut estimer par la position du point de performance sur la courbe de capacité **[15].**

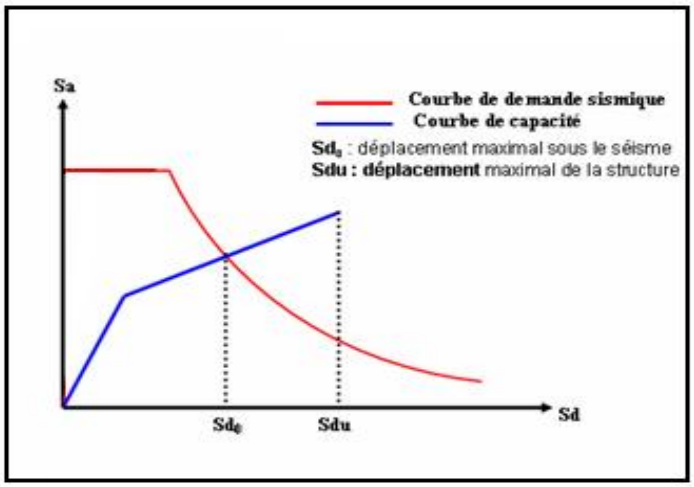


Figure VI.4. Courbes capacité –demande

(La demande est inferieur à la capacité)

VI.5.1.2.cas où la demande est égale à la capacité

Le déplacement imposé par le séisme est égale au déplacement maximal de la structure **[15] (figure V.5)**

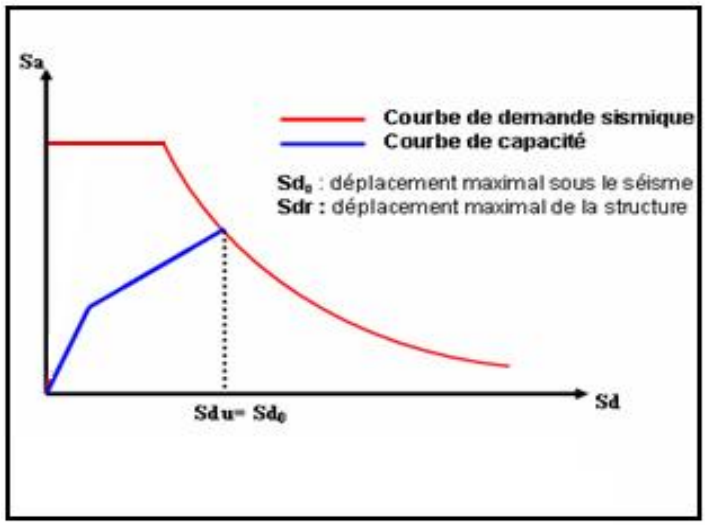


Figure VI.5. Courbes capacité-demande

(La demande est égale à la capacité)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

VI.5.1.3.cas où la demande est supérieure à la capacité

Le déplacement imposé par le séisme est supérieur à la capacité de la structure **(Figure VI.6)**, il conduit à l'effondrement total ou presque de cette dernière **[15]**.

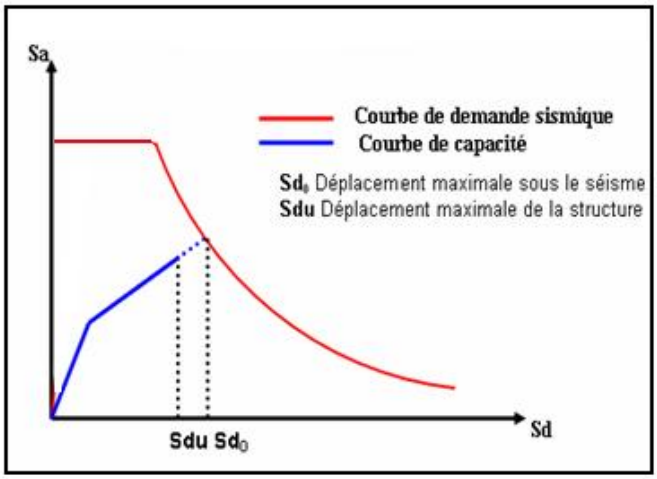


Figure VI.6. Courbes capacité-demande

(La demande est supérieure à la capacité)

VI.5.2.Estimation des degrés des dommages

Une représentation bilinéaire est développée afin de déterminer la limite élastique (point A) de coordonnées (S_{ay}, S_{dy}) et la limite ultime (point D) de coordonnées (S_{au}, S_{du}), de la courbe de capacité **(Figure VI.7)**.

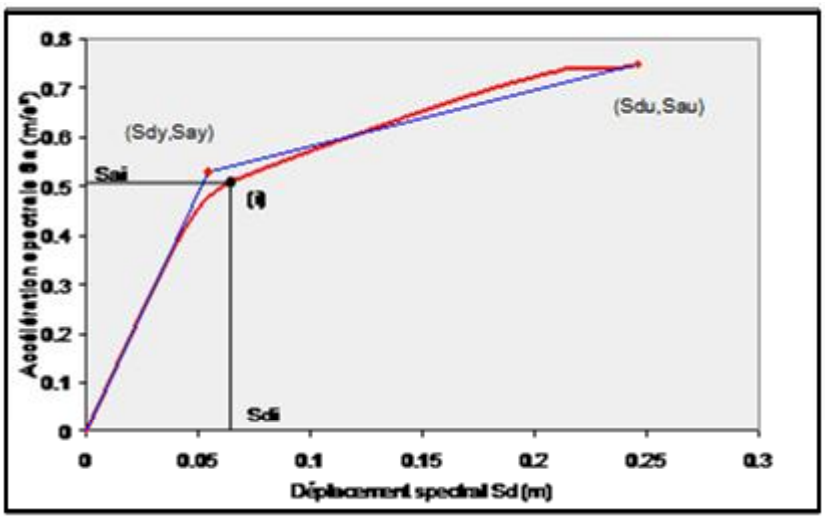


Figure VI.7. Représentation bilinéaire de la courbe de capacité

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Le comportement de la structure sur le tronçon (OA) correspond à un comportement élastique. Au delà de ce point la déformation de la structure n'est plus proportionnel à la sollicitation (la structure ne revient plus à son état initial si la force est arrêté). On divise la courbe de capacité de la structure en cinq domaines de dommages **(Tableau VI.1)** qui correspond à l'échelle des dommages EMS 98.

Degrés des dommages	Formule du déplacement spectral
DG1	$S_d = 0,4\ S_{dy}$
DG2	$S_d = 0,8\ S_{dy}$
DG3	$S_d = S_{dy} + 0,25\ (S_{du} - S_{dy})$
DG4	$S_d = 0,75\ S_{du}$
DG5	$S_d = S_{du}$
S_{dy} : Limite élastique. S_{du} : Limite ultime.	

Tableau VI .1. Domaine des dommages.

VI .6. Application de la méthode push over sur les bâtiments

VI. 6.1.Etude du bâtiment auto stable

VI. 6.1.1. Présentation et description du bâtiment auto stable

Le bâtiment est à usage d'habitation et commerciale, La structure est constituée de portiques auto stable en béton armé en (R+7) **(figure VI .8)**, avec des remplissages en maçonnerie. Ce dernier est implanté sur un sol argileux classée selon le RPA99 en site S3 (sol meuble) caractérisé par une vitesse d'onde de cisaillement Vs ≥ 200 m/

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure VI .8.photo du bâtiment auto stable

VI.6.1.2.Courbe de capacité

Les points qui définissent les courbes de capacité **(Figure VI.9)** suivant les deux directions sont donnés, par le **(Tableau VI.2)**

	Pas de force	S_d (m)	S_a (m/s²)
Direction (xx)	1	0.000	0.000
	2	0.017	0.280
	3	0.018	0.300
	4	0.024	0.320
	5	0 .061	0.420
	6	0.158	0.580
	7	0.166	0.600
	8	0.234	0.660
	9	0.265	0.690
Direction (yy)	1	0.000	0.000
	2	0.016	0.450
	3	0.018	0.530
	4	0.023	0.570
	5	0.034	0.620
	6	0.100	0.820
	7	0.188	1.020

Tableau VI.2.Courbe de capacité du bâtiment auto stable suivant les deux directions

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

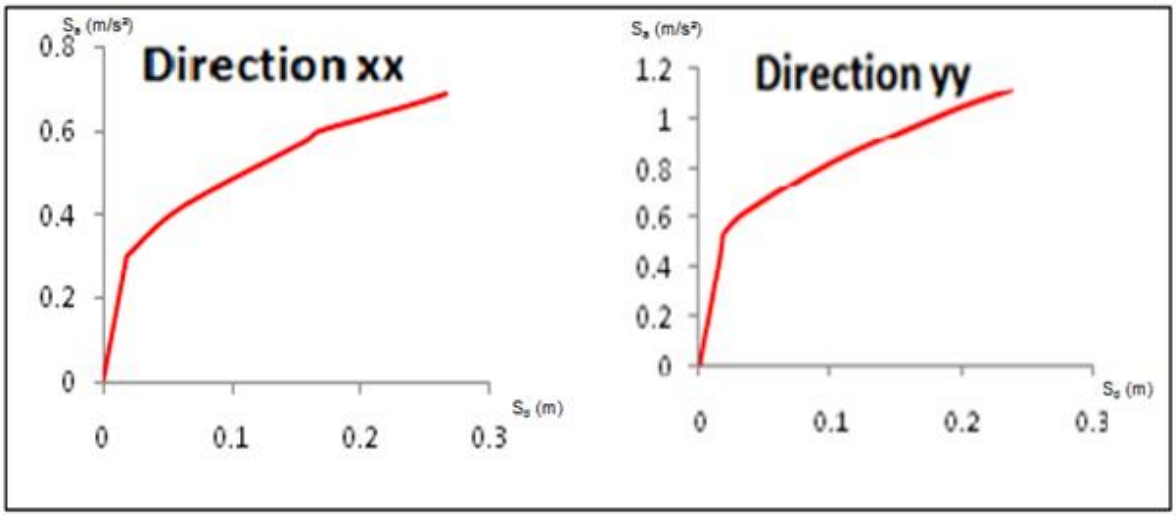


Figure VI.9.Courbe de capacité suivant les deux directions

VI. 6.1.3.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité

La représentation bilinéaire de la courbe de capacité du bâtiment auto stable selon les deux directions est donnée par la **(Figure VI.10)**.

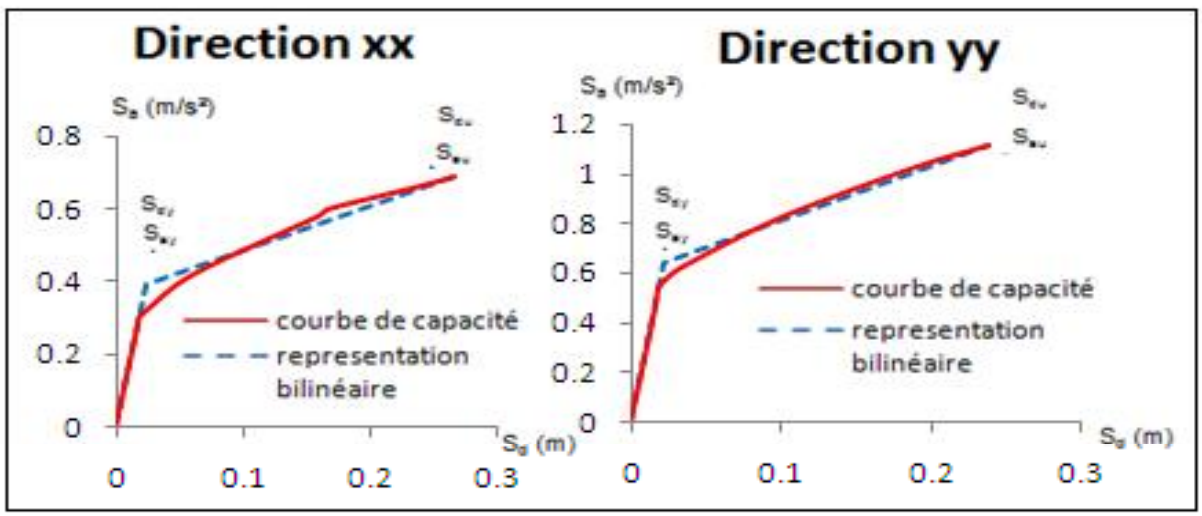


Figure VI.10.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité

Suivant les deux directions

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Les limites élastiques et ultimes du bâtiment auto stable sont données par le **(Tableau VI.3)**

Directions	S_{ay} (m/s²)	S_{dy} (m)	S_{au} (m/s²)	S_{du}(m)
(xx)	0.3920	0.0238	0.6900	0.2650
(yy)	0.6384	0.0227	1.1100	0.2380

Tableau VI.3.Limites élastiques et ultimes du bâtiment auto stable suivant les deux directions

VI. 6.1.4.Domaine des dommages

La courbe de capacité de la structure est divisée en cinq domaines des dommages selon l'échelle EMS98 **[17,18] (Tableau VI.4)**, chaque domaine associe à un état d'endommagement bien précis.

Degré de dommage	formule des différents déplacements spectraux	Valeurs de S_d (m)	
		(xx)	(yy)
DG1	$S_d = 0,4\ S_{dy}$	0.0095	0.0090
DG2	$S_d = 0,8\ S_{dy}$	0.0190	0.0181
DG3	$S_d = S_{d\,y} + 0,25\ (S_{du} - S_{d\,y})$	0.0841	0.0765
DG4	$S_d = 0,75\ S_{du}$	0.1987	0.1785
DG5	$S_d = S_{du}$	0.2650	0.238

Tableau VI.4.Evaluation des dommages du bâtiment auto stable suivant les deux directions

Avec
S_{dy}: Limite élastique en déplacement.
S_{du}: Limite ultime en déplacement.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Les différents degrés des dommages sont définis en fonction des déplacements spectraux calculés selon les deux directions et leurs représentations sont données pour les différents accélérations par les **(Figures VI .11)**, **(Figure VI.12)**

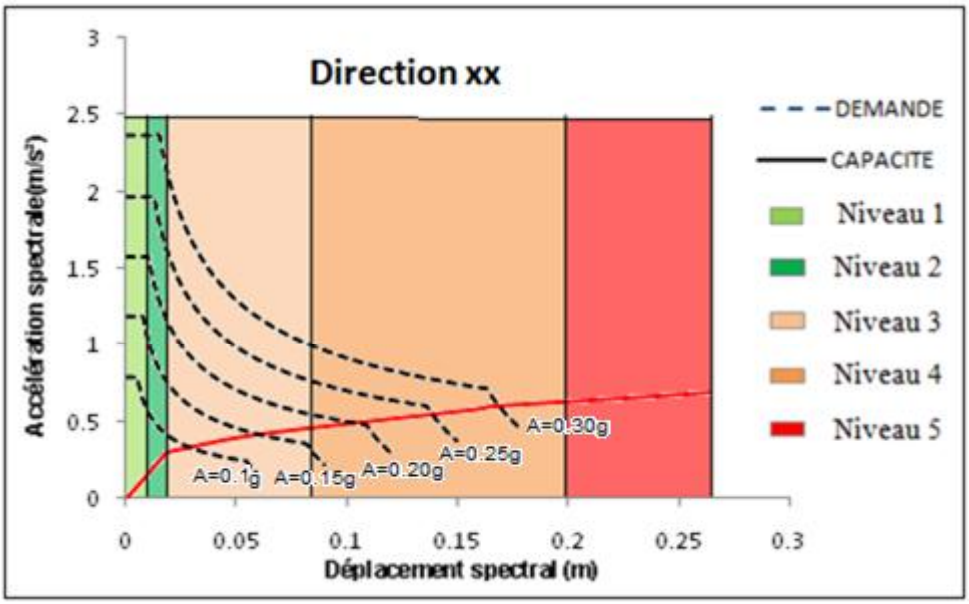


Figure VI.11.Points de performance suivant la direction (xx)

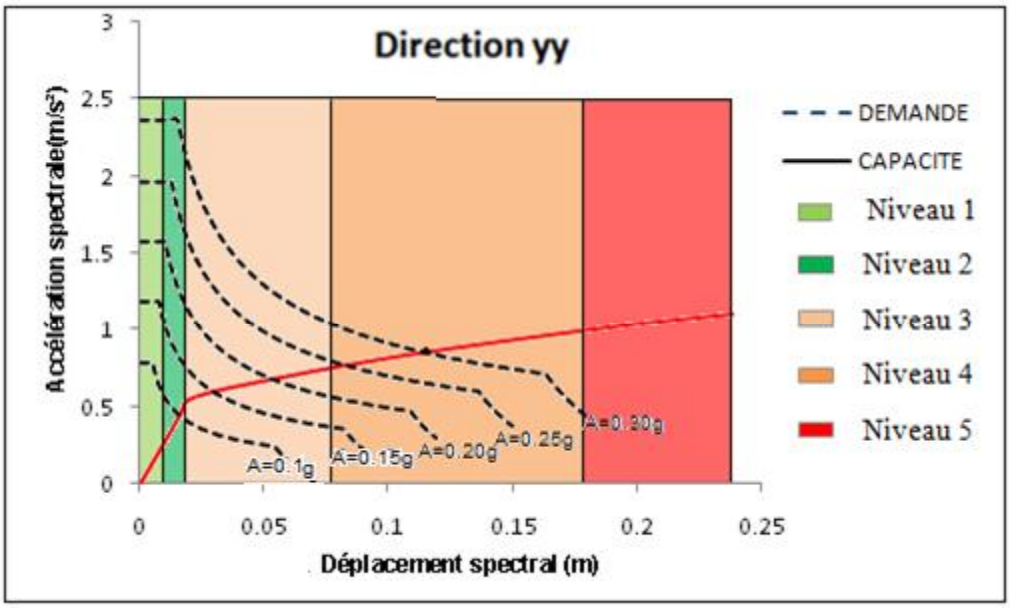


Figure VI.12.Points de performance suivant la direction (yy)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

VI.6.2.Etude du bâtiment mixte

VI.6.2.1.Présentation et description du bâtiment mixte

Le bâtiment est à usage d'habitation et commerciale, La structure est mixte en portiques et voiles en (R+7) **(figure VI.13),** Ce bâtiment est implanté sur un sol argileux classée selon le RPA99 en site S3 (sol meuble) caractérisé par une vitesse d'onde de cisaillement Vs ≥ 200 m/

Figure VI.13.photo du bâtiment mixte

VI.6.2.2.Courbe de capacité

Les points qui définissent les courbes de capacité **(Figure VI.14)** suivant les deux directions sont donnés, par le **(Tableau VI.5)**

	Pas de force	S_d (m)	S_a (m/s²)
Direction (xx)	1	0.0000	0.0000
	2	0.0034	0.1500
	3	0.0740	2.4000
	4	0.1260	3.560
Direction (yy)	1	0.0000	0.0000
	2	0.0026	0.5341
	3	0.0052	1.0692
	4	0.0178	2.4095
	5	0.0621	3.2266

Tableau VI.5.Courbe de capacité du bâtiment mixte suivant les deux directions

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

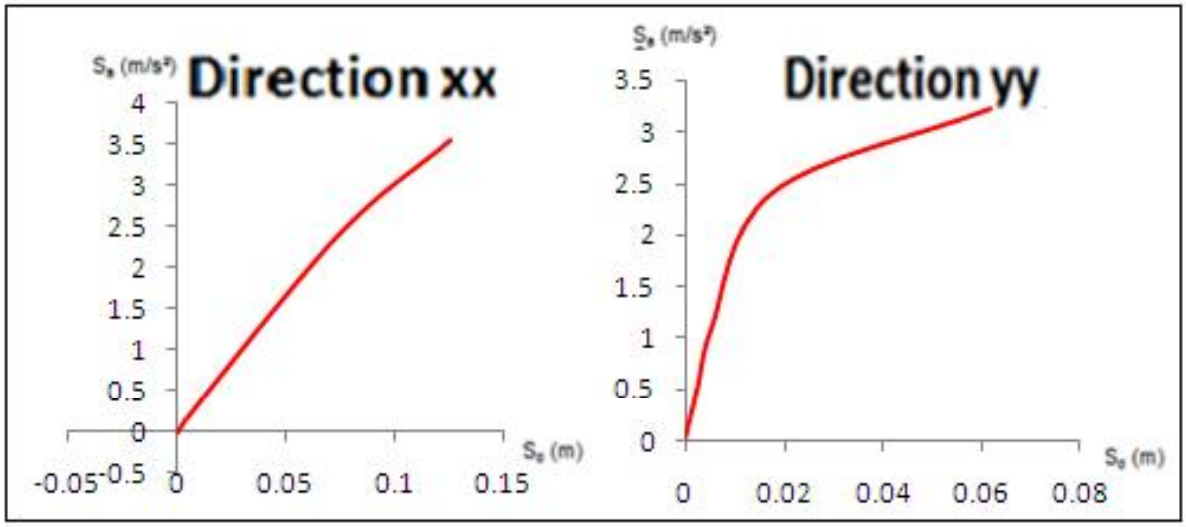


Figure VI.14.Courbe de capacité suivant les deux directions

VI.6.2.3.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité

La représentation bilinéaire de la courbe de capacité du bâtiment mixte selon les deux directions est donnée par la **(Figure V.15)**.

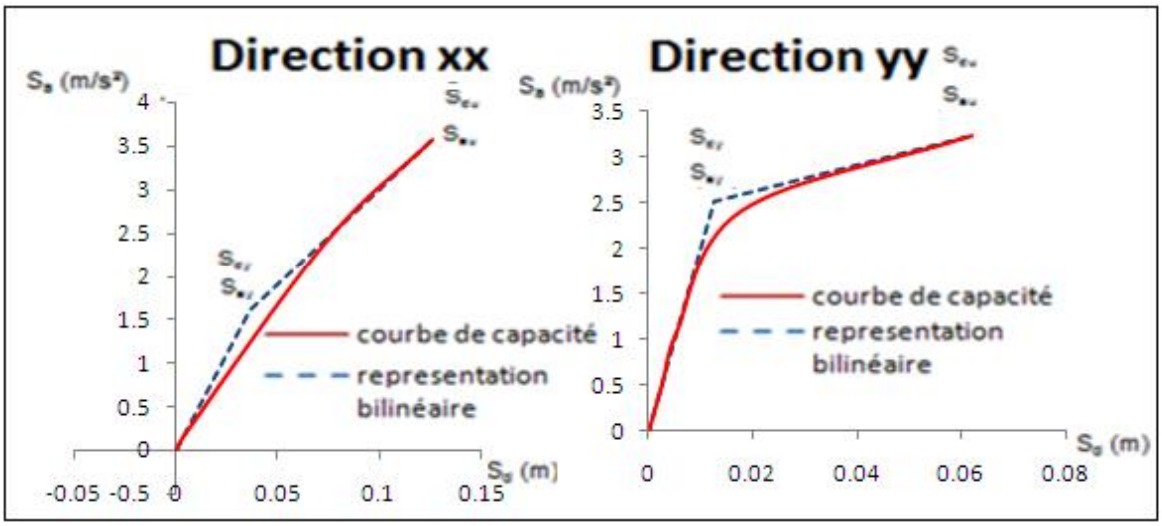


Figure VI.15.Représentation bilinéaire de la courbe de capacité

Suivant les deux directions

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Les limites élastiques et ultimes du bâtiment mixte sont données par le **(Tableau VI.6).**

Directions	S_{ay} (m/s²)	S_{dy} (m)	S_{au} (m/s²)	S_{du}(m)
(xx)	1.6028	0.0364	3.5600	0.1260
(yy)	2.5203	0.0126	3.2266	0.0621

Tableau VI.6.Limites élastiques et ultimes du bâtiment mixte suivant les deux directions

VI.6.2.4.Domaine des dommages

La courbe de capacité de la structure est divisée en cinq domaines des dommages selon L'échelle EMS98 **[17,18] (Tableau VI.7)**, chaque domaine associe à un état d'endommagement bien précis.

Degré de dommage	formule des différents déplacements spectraux	Valeurs de S_d (m)	
		(xx)	(yy)
DG1	$S_d = 0,4\ S_{dy}$	0.0145	0.0050
DG2	$S_d = 0,8\ S_{dy}$	0.0291	0.0101
DG3	$S_d = S_{d\,y} + 0,25\ (S_{du} - S_{d\,y})$	0.0588	0.0250
DG4	$S_d = 0,75\ S_{du}$	0.0945	0.0465
DG5	$S_d = S_{du}$	0.1260	0.0621

Tableau VI.7.Evaluation des dommages du bâtiment mixte suivant les deux directions

Avec
S_{dy}: Limite élastique en déplacement.
S_{du}: Limite ultime en déplacement.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Les différents degrés des dommages sont définis en fonction des déplacements spectraux calculés selon les deux directions et leurs représentations sont données pour les différents accélérations par les **(Figures VI.16)**, **(Figure VI.17)**

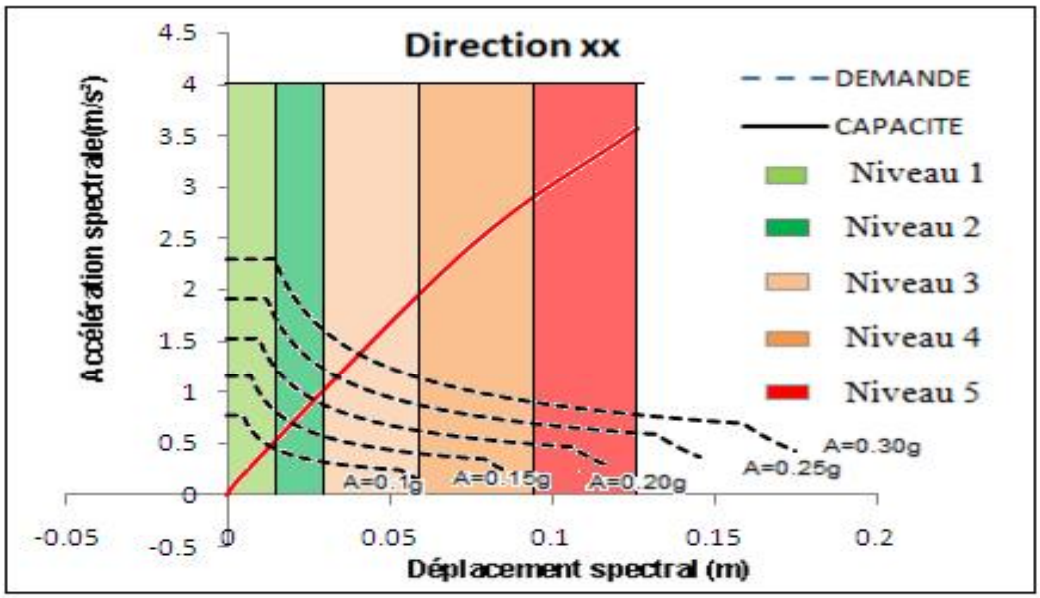


Figure VI.16.Points de performance suivant la direction (xx)

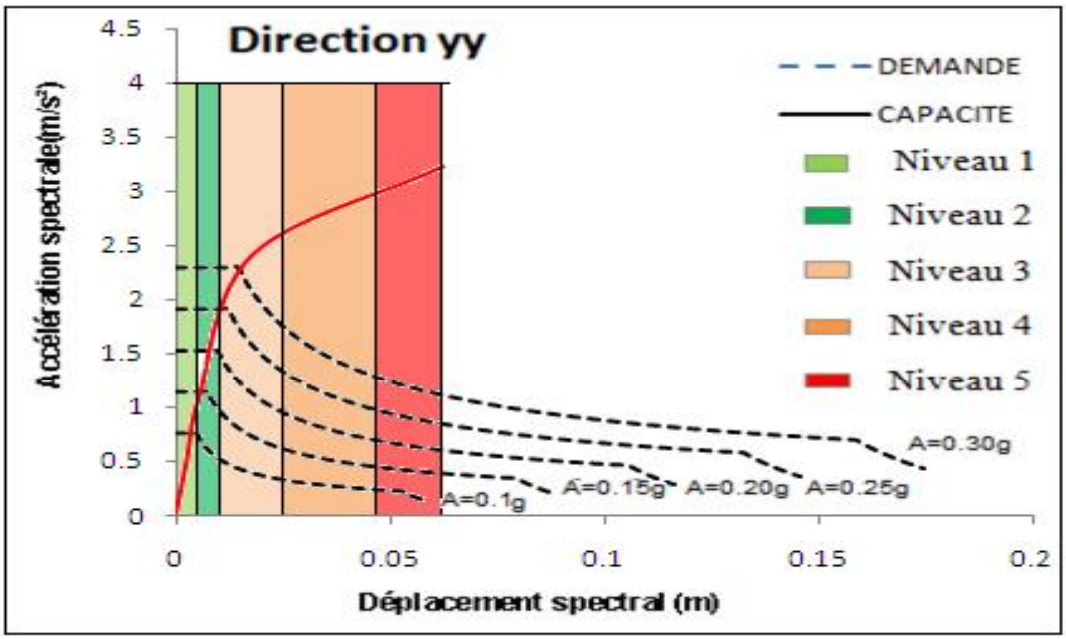


Figure VI.17.Points de performance suivant la direction (yy)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Remarque :

Apres plusieurs essais nous avons constaté que la méthode push-over n'est pas applicable pour les bâtiments en voiles porteurs
Cette méthode n'est pas applicable aussi pour les structures en maçonnerie traditionnelle

VI.7. conclusion

Vu les résultats obtenues par les deux méthodes nous avons constaté que la méthode de pénalisation surestime les dommages dans le cas du bâtiment auto stable qui présente les facteurs suivants :

- ✓ Angles affaiblies
- ✓ Poteaux courts
- ✓ RDC élancé

De ce fait, nous réévaluons la grille comme le montre la **(Figure VI.18)**

Par contre pour le bâtiment mixte qui présente un seul facteur pathologique (RDC élancé) donne les mêmes résultats par les deux méthodes

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Figure VI.18.La fiche utilisé pour évaluer la vulnérabilité des constructions auto stable récentes

bâtiment avec portique en béton armé													
l'âge du bâtiment			bâtiment récent										
la fiche P-BA			degré des dommages										
types de séisme			séisme faible				séisme moyen				séisme fort			
les zones sismiques			0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III	0-I	IIA	IIB	III
les facteurs de vulnérabilité														
la forme du bâtiment		irrégularité en plan	1	1/2	2	2/3	1/2	2	3	3/4	/	3/4	4	4/5
		irrégularité en élévation	1	1/2	2	2/3	1/2	2/3	3	3/4	/	3/4	4	4/5
		présence de niveaux flexible	1	1/2	2	3/4	2	3	4	4/5	/	4/5	5	5
		Lx/Ly fixé parle RPA99	0,25 <Lx/Ly≤4											
		la dimension en plan	1	1/2	2	2,3	1	2	2/3	3/4	/	3	4	5
système de contreventement		Absence de diaphragme rigide	1	1/2	2/3	3/4	2	2/3	3/4	4/5	/	3	4	5
	contreventement vertical	répartition non uniforme des rigidités en plan	1	1	1/2	2	1	1/2	2/3	3/4	/	3/4	4	4/5
		élancement des éléments porteurs verticaux	2	2/3	3/4	4/5	2	3	4/5	5	/	4	5	5
		non superposition des Eléments porteurs verticaux	1	2	2/3	3	2	2/3	3	4	/	3/4	4/5	5
		non homogénéité du système porteurs verticaux	1	1/2	2/3	3/4	2	2/3	3/4	4/5	/	3/4	4/5	5
		présence de poteaux courts	1	1/2	2	2/3	1/2	2/3	3	3/4	/	3/4	4	4
		système poteaux faible poutre forte	1	1/2	2	2/3	1/2	2/3	3	3/4	/	4/5	5	5
		présence de porte à faux important	1	1/2	2	2/3	1/2	2/3	3	3/4	/	2/3	3/4	4
		problème de mitoyenneté	/	1	2	2/3	1	2	3	3/4	/	3/4	4	4/5
		poteaux poutres non concourant	1	1/2	2/3	3	1	2	3	4	/	3	4	5
Eléments non structuraux		cloisons non solidaires des planches	1	1/2	2	2/3	1/2	2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
		conception des angles	1	1/2	2	2/3	1	2	3	4	/	3	4	5
		placage des poteaux avec de la maçonnerie	1	1/2	2	2/3	1/2	2	2/3	3/4	/	3/4	4	4/5
		les acrotères non chaînées	1	1/2	2	2/3	1	1/2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
		les cheminés élancées	1	1/2	2	2/3	1	1/2	2/3	3	/	2/3	3/4	4
Vétusté des matériaux			1	1/2	2/3	3	2	2/3	3/4	4/5	/	3/4	4/5	5

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

L'Algérie est une région à forte sismicité du fait de sa localisation dans une zone de convergence de plaques, la région nord est cataloguée comme une zone à sismicité forte à modérée

Le but de ce projet est d'établir des lignes directrices pour l'évaluation sismique du bâti existant de la ville de Tizi-Ouzou

La majorité des bâtiments qui constituent la ville de Tizi-Ouzou peuvent être rassembles selon quatre grandes familles :

- ✓ Constructions anciennes en maçonnerie chainée et non chainée
- ✓ Voiles en béton armé
- ✓ Portiques en béton armé avec murs de remplissage en maçonnerie généralement de briques
- ✓ Systèmes mixtes en portiques et voiles

En appliquant les lignes directrices sur les constructions nous avons obtenues les faiblesses (facteur de vulnérabilité que présente chacune de ces dernières).

Ensuite pour l'estimation de la vulnérabilité sismique nous avons utilise la méthode de pénalisation ,elle s'applique à tout type de bâtiment et nous permet en fonction de la typologie des constructions , de la nature des matériaux utilisés , des normes appliquées en vigueur (RPA 99 modiié)et des propriétés du sol d'assise , d'évaluer rapidement la vulnérabilité des constructions.

Cette méthode, qui nécessite la connaissance des plans d'architecture, de génie civil, des rapports de sol ainsi qu'une inspection visuelle des différents éléments (structuraux et non structuraux) est d'application simple et rapide pouvant être utilisée par des ingénieurs.

Les résultats obtenus pour le bâtiment auto stable sont donné dans le tableau suivant

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible (0.15g)	4
Séisme moyen (0.25g)	5
Séisme fort (0.5g)	5

Par contre pour le bâtiment mixte nous avons obtenues les résultats suivant

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible (0.15g)	2
Séisme moyen (0.25g)	2/3
Séisme fort (0.5g)	3

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Afin de déterminer l'efficacité de ces lignes directrices nous avons appliquée la méthode push-over sur les bâtiments, Cette méthode consiste à superposer deux courbes, celle de la demande sismique et celle de la capacité du bâtiment. L'évaluation des dommages qui indiquent les désordres que subit chaque bâtiment est représenté par cinq domaines de dommages inspiré de l'EMS 98.

Les résultats obtenus pour le bâtiment auto stable dans les deux directions sont :

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible (0.15g)	3
Séisme moyen (0.25g)	4
Séisme fort (0.5g)	/

Par contre pour le bâtiment mixte nous avons obtenues les résultats suivant dans les deux directions

Type de séisme	Degré des dommages
Séisme faible (0.15g)	2
Séisme moyen (0.25g)	3
Séisme fort (0.5g)	/

Apres plusieurs essais nous avons constaté que la méthode push-over ne s'applique pas pour les bâtiments en voiles porteurs

Elle n'est pas applicable aussi pour les structures en maçonnerie traditionnelle

Vu les résultats obtenues par les deux méthodes nous avons constaté que la méthode de pénalisation surestime les dommages dans le cas du bâtiment auto stable qui présente les facteurs suivants :

- ✓ Angles affaiblies
- ✓ Poteaux courts
- ✓ RDC élancé

De ce fait, nous avons réévalué la grille d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments en portiques

Par contre pour le bâtiment mixte qui présente un seul facteur pathologique (RDC élancé) donne les mêmes résultats par les deux méthodes

Enfin, notre étude n'a pas la prétention d'être définitive car avec le progrès scientifique et l'accumulation des connaissances en génies civiles d'autres méthodes plus performantes seront à la disposition des spécialistes du domaine et seront appliquées sur une marge plus grande de bâtiments.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Bibliographie

[1] MILAN ZACEK « Construction parasismique, édition parenthèse, Marseille 1996 ».

[2] Hervé Philip, Jean-Claude Bousquet, Frédéric Masson « séisme et risques sismique ».

[3] MILAN ZACKEK « construire parasismique ».

[4] Institut de recherche en construction « lignes directrices pour l'évaluation sismique des bâtiments existants ».

[5] Règles parasismiques Algériennes (RPA 99 / VERSION 2003).

[6] H .AZZOUZ, A.ADIB, B.REBZANI « Leçons d'un séisme ».

[7] Document d'information à l'usage du constructeur –VOLUME 1 et VOLUME 3 conçu par Mme PATRICIA BALANDIE. « Le séisme et les sites constructible ».

[8] VICTOR DAVIDOVICI « le rapport sur le séisme de Boumerdes le 21 mai 2003 ».

[9] Hamou kada, Ramdane kheir eddine « Etablissement de la courbe de fragilité par la méthode pushover ».

[10] BELMOUDEN YOUCEF « analyse spectral non itérative des oscillateurs simples sous l'action sismique ».

[11] H.Krawinkeler,Procedure and construction of pushover analysis of seismic performance évaluation engineering structure,vol:20,edition:Elsever science, Department of civil engineering standford university U.S.A 1998.

[12] FEMA273 Federal Emergency Management Agency**.** «NEHRP recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures. »Chapitre3, Washington, D.C.

[13] BENAMARA IDIR, BERKAT BACHIR «la thèse (évaluation de la vulnérabilité du bâti existant au séisme».

[14] AMAR KAHIL, MADJID HARBANE «la thèse (présentation de la méthode d'évaluation de la vulnérabilité appliqué aux blocs pédiatrie de CHU Nadir Mohamed».

[15] BELMOUDEN Youcef,PIERINO Lestuzzi. « Evaluation de la vulnérabilité sismique des batiments existants en Suise(EPFL).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com