

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People's Democratic republic of Algeria

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministry of Higher Education and Scientific Research

جامعة عبد الحميد بن باديس – مستغانم

University Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem

كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculty of Sciences and Technology

قسم الهندسة المدنية والمعمارية

Civil engineering & architecture département



N° d'ordre : M/GCA/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : GENIE CIVIL

Spécialité : STRUCTURES

Thème

**Evaluation de la Vulnérabilité des Mosquées Existantes
de la Ville de Mostaganem Par Méthode RISK-U**

Présenté par :

-Oudah Khadidja

- Lazreg Ismail

Soutenu le 30/06 / 2020 devant le jury composé de :

President: Mr Bourdim sidi Mohamed El Amine

Examineur : Mr Sabeur Bendehiba

Encadrant : Mme Djilali Nassira

Année Universitaire : 2019 / 2020

Remerciements

Nous tenons d'abord à remercier Dieu qui nous a donné le courage et la patience pour achever ce travail.

Nos sincères remerciements Mlle **Djilali Nassira** , pour tous mes enseignants qui m'ont formé durant mon cursus universitaire.

A notre encadreur, pour ses précieux conseils et ses efforts pendant l'élaboration de ce travail.

Nous tenons également à remercier les membres de jury **Mr Bourdim sidi Mohamed El Amine et Mr Sabeur Bendehiba**, d'avoir examiné ce travail et assister à la soutenance.

Enfin, nous remerciant aussi tous les membres du département de génie civil et d'architecture de l'université Abdelhamid ibn badis de Mostaganem.

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Etude Bibliographique	
I-Introduction	4
I-1-les catégories de séismes	5
I-1-1-les séismes tectoniques.....	5
I-1-2-Les séismes d'origine volcanique.....	5
I-1-3-Les séismes d'origine polaire.....	5
I-1-4-Les séismes d'origine induite.....	5
I.2.Les caractéristiques générales d'un séisme	6
I.2.1. L'hypocentre ou foyer.....	6
I-2-2-L'épicentre.....	6
1.2.3 Classement des séismes.....	8
I.2.4. Types de séismes	9
I.3.Les ondes sismiques.....	9
I.3.1. Les ondes P.....	9
I.3.2. Les ondes S.....	10
I.3.3. Les ondes de surface.....	11
a) Les ondes de Love (L ou LQ)	11
b) Les ondes de Rayleigh (LR)	12
I.3.4. Le séisme et les bâtiments	13
I.3.4.a. Les constructions parasismiques.....	13

I.3.4.b. Exemples de mauvaises conceptions parasismiques	14
I.3.4.c. Effets des séismes sur les bâtiments	16
I.3.5. La sismicité en Algérie	21
I.3.5.a. Le risque et l'alea sismique en Algérie	23
I.3.5.b. Les règles parasismiques algériennes	23
I.3.5.c. Zonage sismique de l'Algérie	24
2. Sismologie de la ville de Mostaganem	25
3. Recommandation.....	26

Chapitre 2 : Méthodes D'évaluation De La Vulnérabilité Sismique

1.Introduction	27
2.Vulnérabilité sismique	27
3. Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique	27
3.1. Méthodologie Risk_UE	28
3.2. Méthode du CETE Méditerranée (fin des années 1990).....	31
3.3. Méthode VULNERALP (2005).....	35
3.4. Méthodologie HAZUS (Hazard US)	38
4.Conclusion	42

Chapitre 3 : Méthodologie D'évaluation De La Vulnérabilité Sismique Par Approche RISK-UE

1. Approche du projet européen RISK-UE(2003)	43
1. 1. Procédure de la méthode.....	43
1.2. Données et compétences nécessaires	44

1.3. Évaluation qualitative de la présomption de vulnérabilité	45
--	----

Chapitre 4 : Diagnostic Des Mosquée Existantes Dans La Ville Mostaganem

1.Introduction.....	51
1.1 Enquêtes et recueil d'informations.....	51
1.2. Localisation des projets étudiés	53
1.3. Missions d'enquête sur le terrain d'étude.....	55
1.4. Typologies des mosquées expertisées.....	55
1.5. Procédure de calcul.....	67
1.6. Estimation de l'indice de vulnérabilité pour les mosquées étudiées	67
2. Estimation de degrés des dommages moyens et présentation des courbes de vulnérabilité.	68
2.1 . Estimation degrés des dommages moyens pour les mosquées en maçonnerie	68
2.2. Estimation de degrés des dommages moyens pour les mosquées en béton armé	69
3 Distribution des dommages et scénarios sismique de déférent intensités	70
3.1 Scénario sismique pour Intensité I=5.....	70
3.1.1 Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....	70
3.1.2 Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....	71
3.1. Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=5.....	72
3.2 Scénario sismique pour Intensité I=6.....	72
3.2.1 Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....	72
3.2.2 Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....	73
3.2.3 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=6.....	74
3.3 Scénario sismique pour Intensité I=7.....	74

3.3.1	Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....	74
3.3.2	Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé	75
3.3.3	Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=7.....	76
3.4	Scénario sismique pour intensité I=8.....	76
3.4.1	Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....	76
3.4.2	Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé	77
3.4.3	Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=8.....	78
3.5	Scénario sismique pour intensité I=9.....	78
3.5.1	Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....	78
3.5.2	Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....	79
3.5.3	Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=9.....	80
3.6	Scénario sismique pour intensité I=10.....	80
3.6.1	Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....	80
3.6.2	Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....	81
3.6.3	Scénario sismique pour intensité I=11.....	82
3.7	Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....	82
3.7.1	Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....	82
3.7.2	Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=11.....	83
3.7.3	Scénario sismique pour intensité I=12.....	84
3.8	Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....	84
3.8.1	Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....	84
3.8.2	Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=12.....	85
3.8.3	Distribution des dommages pour les mosquées étudiées	85
4	Conclusion.....	86

Conclusion Générale

Conclusion générale.....	87
--------------------------	----

Annexes

Annexe 1 : Valeur de la vulnérabilité.....	90
--	----

Annexe 2: Estimation des dommages Moyens.....	90
---	----

Annexe 3 : Estimation de la distribution des dommages.....	92
--	----

Références bibliographiques.....	102
---	------------

Tables des figures

Figure I.1. Carte du monde montrant les principales plaques tectoniques	4
Figure. 1.2: Schéma de plan de faille.....	6
Figure I.3: Caractéristiques d'un séisme	7
Figure I.4. Accélérogrammes du séisme de Loma Preita à la station Oakland.....	8
FigureI.5.LesondesP.....	10
Figure I.6. Propagation des ondes S	10
Figure. 1.7. Propagation des ondes de surface	11
Figure I.8. Propagation des Ondes de Love	12
Figure I.9. Propagation des Ondes de Rayleigh	13
Figure I.10. Accumulation des contraintes dans la zone d'angle.....	15
Figure I.11. Moment de torsion autour d'un noyau rigide.	15
Figure I.12. Les poutres sont dimensionnées plus largement que les poteaux.....	15
Figure I.13. Joint parasismique insuffisant.....	15
Figure I.14. Endommagement et rotation des poutres.....	16
Figure I.15. Éclatement du béton et flambement des armatures à la base.....	16
Figure I.16 : Poteaux courts	17
Figure I.17 : Effondrement total du musqué	17
Figure I.18: Fissure en X de la maçonnerie.....	18
Figure I.19: Effondrement de la maçonnerie	18
Figure I.20. Effondrement de la maçonnerie.....	18
Figure I.21. Interaction mur-portique.....	19
Figure I.22 : Cisaillement de l'étage souple.....	19
Figure I.23 : Tassement du bâtiment.....	20

Figure 1.24. la nouvelle carte de zonage sismique de l'Algérie (RPA 99/ v 2003).....	12
Figure I.25. Carte de zonage sismique de l'Algérie.....	25
Figure 1.26: Carte du zonage sismique de la wilaya de Mostaganem (prise à partir de la direction de la protection civile de la wilaya de Mostaganem).....	26
Figure 3.1 : Répartition des dommages moyens en fonction des intensités.....	49
Figure 4.1 : Organigramme méthodologique.....	52
Figure 4.2 : localisation des projets étudiées.....	53
Figure 4.3 :Type des mosquées expertisées.....	55
Figure 4.4 : Mosquée Imâm Alboukhari	56
Figure 4.5 : Mosquée Okba Ibn Nafie	56
Figure 4.6 : Mosquée Anasre	56
Figure 4.7 : Mosquée AL Qods	57
Figure 4.8 :Mosquée Abou Horayra	57
Figure 4.9 : Mosquée Al Rahma(Stidea).....	57
Figure 4.10 :Mosquée Al Nour	58
Figure4.11: Mosquée Imâm Al Ghazali	58
Figure 4.12 :Mosquée Al Rahma (Hay Asalam).....	58
Figure 4.13 :Mosquée Ibn Sinna	59
Figure 4.14 :Mosquée Al Hadith	59
Figure 4.15 : Mosquée SalmaneAlfarici.....	59
Figure 4.16 : Mosquée Ibn Noussayr	60
Figure 4.17 : Mosquée Al Houria	60
Figure 4.18 : Mosquée Sidi Yahia	60
Figure 4.19 : Mosquée Quba	61

Figure 4.20 : mosquée Salah Eddinne	61
Figure 4.21 : Mosquée Badr.....	61
Figure 4.22 : Mosquée OthmaneBenAffan.....	62
Figure 4.23 : Mosquée Al Islah	62
Figure4.24: Mosquée de Tobana	62
Figure 4.25 : Mosquée Sidi Allal Emhamed	63
Figure 4.26 : Mosquée Khadidja Om Moumine	63
Figure4.27 : Mosquée Aicha Om Mouminine.....	63
Figure 4.28: Mosquée Elhocine Ibn Ali	64
Figure 4.29 : Mosquée Chikh Moustafa Rammassi	64
Figure 4.30 : Mosquée (Zaouiyat) Sidi Ada	64
Figure4.31 : Mosquée Abde Rahman In Aouf	65
Figure 4.32: Mosquée Tawbba	65
Figure 4.33 : Mosquée Hamza Ibn Abde Motalib	65
Figure 4.34 : distribution des indices de la vulnérabilité des mosquées étudiées.....	66
Figure 4.35 : Estimation des dommages moyens pour les mosquées en maçonnerie.....	67
Figure 4.36 : Estimation des dommages moyens pour les mosquées en béton armé.....	68
Intensité I=5	
Figure 4.37: distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....	69
Figure 4.38: distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....	70
Intensité I=6	
Figure 4.39: distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....	71
Figure 4.40: distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....	72
Intensité I=7	
Figure 4.41: distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....	73
Figure 4.42 : distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....	74

Intensité I=8

Figure 4.43 : distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....75

Figure 4.44: distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....76

Intensité I=9

Figure 4.45: distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....77

Figure 4.46: distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....78

Intensité I=10

Figure 4.47: distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....79

Figure4.48: distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....80

Intensité I=11

Figure 4.49: distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....81

Figure 4.50: distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....82

Intensité I=12

Figure 4.51 : distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie.....83

Figure 4.52 : distribution des dommages pour les mosquées en béton armé.....84

Figure 4.53 : Synthèse des scénarios des différents dommages globaux selon EMS 98 de différents intensités85

Liste des tableaux

Tableau 1 : Echelle des magnitudes Richter.....	7
Tableau 2 : Synthèse des éléments non parasismiques et des conséquences associées.....	21
Tableau 3 : Séisme et dégâts	22
Tableau 4 : Description des principes fondamentaux des règles parasismiques algérienne...24	
Tableau 5 : Les 22 facteurs retenus pour déterminer V2.....	33
Tableau 6 : Équivalence entre le niveau d'endommagement (ou degré de dégâts) et l'indice d'endommagement.....	40
Tableau 7 : Synthèse des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité.....	41
Tableau 8 : Détermination de l'indice VI* fonction de la typologie du bâtiment.....	46
Tableau 9: Détermination de l'indice V_m fonction de la typologie du bâtiment.....	47
Tableau 10: Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en béton armé.....	48
Tableau 11 : informations sur les mosquées consultées.....	54
Tableau 12: valeurs de la vulnérabilité pour les moquées en maçonnerie et en béton armé...90	
Tableau 13: Estimation des dommages moyens (μD) pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé.....	90
Tableau 14: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé.....	91
Tableau 15: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé.....	93
Tableau 16: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé.....	94
Tableau 17 : Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé.....	95
Tableau 19: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé.....	96
Tableau 20: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé.....	97

Tableau 21: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé.....98

Tableau 22: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé.....99

Résumé

L'activité sismique reste forte dans le nord de l'Algérie puisque pas moins de 30 séismes par mois sont enregistrés dans la région. L'analyse des dommages subis suite aux derniers tremblements de terre a mis en évidence la vulnérabilité du bâti existant. Le grand nombre de bâtiments construits avant l'introduction des normes parasismiques représente un risque sismique élevé.

Le présent travail a trait à l'étude de la vulnérabilité sismique du bâti existant (mosquées) dans la ville de Mostaganem, située au nord de l'Algérie. Pour faire cette évaluation, une base de données a été constituée suite à un inventaire du bâti basé sur un travail de recherche de dossiers techniques et de visites sur le terrain.

Cette étude consiste après un diagnostic, à essayer d'estimer la vulnérabilité sismique des mosquées existantes dans la ville de Mostaganem qui s'avère une région à sismicité moyenne, par la méthode de RISK-U et enfin, on peut déduire les niveaux des dommages de ce type de construction.

Mots clés :

Mosquée, Evaluation de la vulnérabilité, diagnostic, génie civil, estimation.

Summary:

Seismic activity remains strong in the north of Algeria since no less than 30 earthquakes per month are recorded in the region. The analysis of the damage suffered following the last earthquakes highlighted the vulnerability of the existing building. The large number of buildings constructed before the introduction of earthquake-resistant standards represents a high seismic risk.

The present work relates to the study of the seismic vulnerability of the existing building (mosques) in the city of Mostaganem, located in the north of Algeria. To make this assessment, a database was created following an inventory of the building based on research work on technical files and field visits.

This study is following a diagnosis, to try to estimate the seismic vulnerability of s mosques existing es in the city of Mostaganem that proves a medium seismicity region, by the method of RISK-U and finally, you can deduct damage levels of this type of construction.

Keywords :

Mosque, Vulnerability assessment, diagnosis, civil engineering, estimation.

ملخص

لا يزال النشاط الزلزالي قوياً في شمال الجزائر حيث يتم تسجيل ما لا يقل عن 30 زلزالاً في المنطقة، وعليه إنَّ معاينة
البنى المتضررة تحتاج إلى عنصر مساعد عملي وموثوق به في اختبار قدرتها على المقاومة. إن الفحص العيني، مهما
كان مدققاً بعناية، يبقى ذاتياً ويفقد معلومات واقعية دقيقة عما يمكن ان يأتي من الحالات

يتعلق العمل الحالي بدراسة الضعف الزلزالي لبعض مساجد مدينة مستغانم الواقعة شمال الجزائر لإجراء هذا التقييم قمنا
بزيارات ميدانية حاولنا التشخيص و التقدير ضعف الزلزالية صورة المساجد منطقة المتوسط الزلزالية و هذا من خلال
طريقة RISK-U وأخيراً يمكننا يمكنك خصم مستويات الضرر لهذا النوع من البناء

الكلمات الدالة :

المسجد ، تقييم الضعف ، التشخيص ، الهندسة المدنية ، التقدير.

Introduction générale



Introduction générale

Un tremblement de terre ou un séisme est la libération brusque d'énergie dans la croûte terrestre, lorsque le seuil de rupture mécanique des roches en profondeur est atteint. Le séisme génère à la surface du sol des vibrations pouvant atteindre des amplitudes centimétriques à décimétriques et des accélérations de quelques centièmes à plusieurs dixièmes de l'accélération de la pesanteur (g), sur des durées qui varient de quelques secondes à plusieurs minutes.

Le choc principal représente la secousse sismique dont la magnitude est la plus élevée sur une série d'enregistrement et les répliques sont de faibles secousses qui suivent généralement un choc principal. Elles peuvent durer quelques jours à quelques mois.

On peut définir le séisme par une série de secousses du sol, plus ou moins violentes, soudaines, imprévisibles et localisées. Les séismes mettent en évidence l'activité interne de la terre. Le mot séisme vient du grec « séismes » qui signifie secousse.

Les séismes sont inévitables, ils ont toujours été une sorte d'épreuve accablante du destin. Ils se sont produits dans le passé, ils s'en produiront à l'avenir de tout aussi violents. Faute de pouvoir les éviter, on doit s'efforcer de prévenir ou du moins de limiter les dommages qu'ils occasionnent, autrement dit, le risque sismique.

Le risque sismique peut être évalué pour une construction, pour une ville ou pour une région spécifique. Il est défini par la probabilité de pertes en biens, en activités productives et en vies humaines dans un laps de temps donné. Il augmente constamment avec la densité de la population et avec le potentiel économique du pays.

Le risque sismique dépend d'une part de la probabilité d'occurrence des séismes, donc de l'aléa sismique et, d'autre part, de la vulnérabilité des constructions menacées. La prévision d'un tremblement de terre permet de sauver des vies humaines. Une amélioration de la résistance aux séismes du patrimoine bâti réduit sa vulnérabilité et diminue aussi bien la probabilité de perte en vies humaines que celle de la destruction des biens matériels et du potentiel économique.

En effet, aucune partie du globe n'est complètement à l'abri des séismes. On estime la fréquence sismique à plus de 100.000 secousses par an - soit une moyenne de plus de 270 secousses telluriques par jour. Au cours du XXème siècle, la sismologie a recensé 80 séismes de magnitude égale ou supérieure à 8 (sur l'échelle de Richter), dont le dernier a frappé le Japon en Juin 2011 avec une magnitude de 8,9.

L'Algérie, comme d'autres pays au monde comme l'Italie, la Turquie, la Grèce, n'est pas épargné de ce phénomène destructif ; elle subit souvent des secousses d'importance modérée. Mais, d'après un rapport établi par le GRAAG (Centre De Recherche Appliquée En Astrophysique Et Géophysique), l'Algérie a subi des séismes d'une grande ampleur comme celui de Chlef (ex – El Asnam) qui a atteint une magnitude de 7.3 sur l'échelle de Richter et avait causé des dégâts humains et matériels très importants.

Dans ce projet, nous allons essayer d'estimer la vulnérabilité sismique de bâtis existants dans la ville de MOSTAGANEM qui s'avère une région à sismicité moyenne. En effet, selon les règles parasismiques algériennes, la ville de MOSTAGANEM est classée en zone IIa. Les structures étudiées sont des mosquées existantes dans cette ville. Les mosquées étudiées ont été choisies de telle façon à couvrir la majorité des critères de comportement sismique (forme des mosquées en plan et en élévation, l'aspect géotechnique, type de contreventement, rigidité poteaux-poutres, matériaux de constructions, etc.). Il s'agit donc d'une étude qui touche quelques bâtis de la ville.

L'objectif étant d'essayer de dégager les premières pistes et conclusions sur la vulnérabilité et les risques d'endommagement sismiques d'une partie du bâti de la ville de MOSTAGANEM

La méthodologie adoptée pour réaliser cette étude est basée sur les étapes suivantes :

- Une étude bibliographique qui nous a permis de mettre en évidence l'état actuel des connaissances dans le domaine traité. Nous avons repris les points forts de ce rapport et nous les avons exposés, avec quelques améliorations, dans le chapitre I de ce mémoire.
- La deuxième partie (chapitre II) a été consacrée à Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments.
- la troisième chapitre : Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité sismique par approche RisK_UE.

Problématique de la vulnérabilité sismique

La vulnérabilité sismique exprime et mesure le niveau de dommage et de conséquences prévisibles d'un séisme sur des infrastructures et peut se définir comme la capacité d'une structure à résister à une sollicitation sismique donnée. Cette mesure dépend ainsi des caractéristiques structurales et des déficiences qui leur sont associées.

Dans ce travail, l'attention a été portée sur l'aspect technique du problème : comment évaluer l'état des structures existantes et porter un avis technique basé sur l'observer et l'analysé qui utilisant des méthodes simples par exemple la méthode RISK-UE ?

Enfin, notre travail s'achèvera par une conclusion générale ou on a résumé les conclusions principales des résultats obtenus dans le cadre de cette étude.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE



I. Introduction :

Un tremblement de terre ou un séisme est la libération brusque d'énergie dans la croûte terrestre, lorsque le seuil de rupture mécanique des roches en profondeur est atteint. Le séisme génère à la surface du sol des vibrations pouvant atteindre des amplitudes centimétriques à décimétriques et des accélérations de quelques centièmes à plusieurs dixièmes de l'accélération de la pesanteur (g), sur des durées qui varient de quelques secondes à plusieurs minutes.

Le choc principal représente la secousse sismique dont la magnitude est la plus élevée sur une série d'enregistrement et les répliques sont de faibles secousses qui suivent généralement un choc principal. Elles peuvent durer quelques jours à quelques mois.

On peut définir le séisme par une série de secousses du sol, plus ou moins violentes, soudaines, imprévisibles et localisées. Les séismes mettent en évidence l'activité interne de la terre. Le mot séisme vient du grec «seismos» qui signifie secousse.

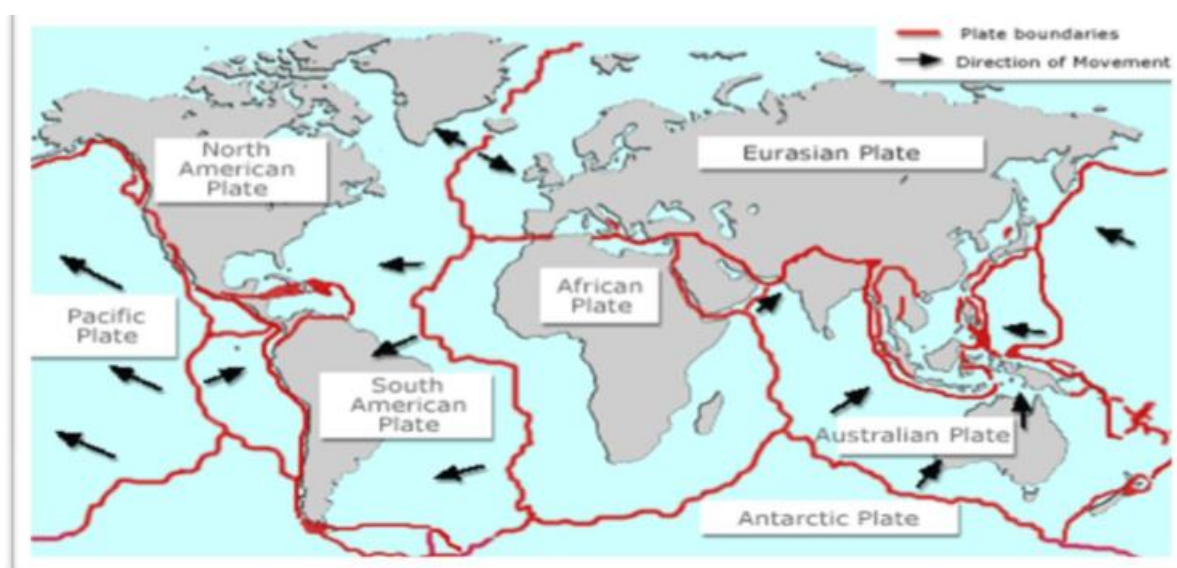


Figure I.1. Carte du monde montrant les principales plaques tectoniques

Pour les séismes importants, le mouvement relatif des bords de la faille peut être apparent en surface. Il existe différents types de mouvement relatif : coulissage horizontal, coulissage vertical. Ces déplacements relatifs permanents du sol s'observent près de l'épicentre du séisme, mais le choc du tremblement de terre entraîne aussi la création et la propagation d'ondes de compression et de cisaillement dans le sol à des distances très grandes ; en fait ces ondes font le tour de la terre en s'atténuant progressivement. A la surface du globe, l'effet de

ces ondes est un mouvement de déplacement vertical et horizontal du sol. Le déplacement horizontal différentiel entraîne des rotations.

I-1-les catégories de séismes :

Il existe quatre catégories de séismes :

- les séismes tectoniques.
- les séismes d'origine volcanique.
- les séismes d'origine polaire
- les séismes d'origine induite (ou artificielle)

La grande majorité des séismes se passent à la limite entre les plaques (inter plaque) de la terre, mais il peut y avoir au milieu de la plaque (intra plaque) plus rares sont les séismes dus à l'activité volcanique ou d'origine artificielle (explosions). [2],[3]

I-1-1-les séismes tectoniques :

Les séismes causés par une libération soudaine de l'énergie aux limites des plaques, au niveau de ces limites les roches sont soumises à des contraintes dues à des chocs, la rupture a lieu lorsque les roches ne résistent plus à ces contraintes. [4]

I-1-2-Les séismes d'origine volcanique :

Ils sont associés à l'activité volcanique et dus à des remontés de magma au-dessous du volcan, les ondes sont provoquées par des frottements des blocs ou de gaz contre les parois de la cheminée si la majorité de ces séismes ne cause pas des dégâts mais ils annoncent l'imminence d'une éruption volcanique.

I-1-3-Les séismes d'origine polaire :

Ils se passent dans les glaciers et sont de faible magnitude. Ils sont provoqués par des coulées de glace et sont bien plus fréquent en été.[2]

I-1-4-Les séismes d'origine induite :

Ils sont également de faible magnitude ils sont dus à des activités humaines, toutes modification du sous-sol par des actions humaines peuvent entrainer des séismes.[5]

I.2. Les caractéristiques générales d'un séisme : Le séisme est caractérisé par :

I.2.1. L'hypocentre ou foyer

C'est le point d'origine d'un séisme, il peut se trouver entre la surface et jusqu'à sept cent kilomètres de profondeur (limite du manteau supérieur) pour les événements les plus profonds

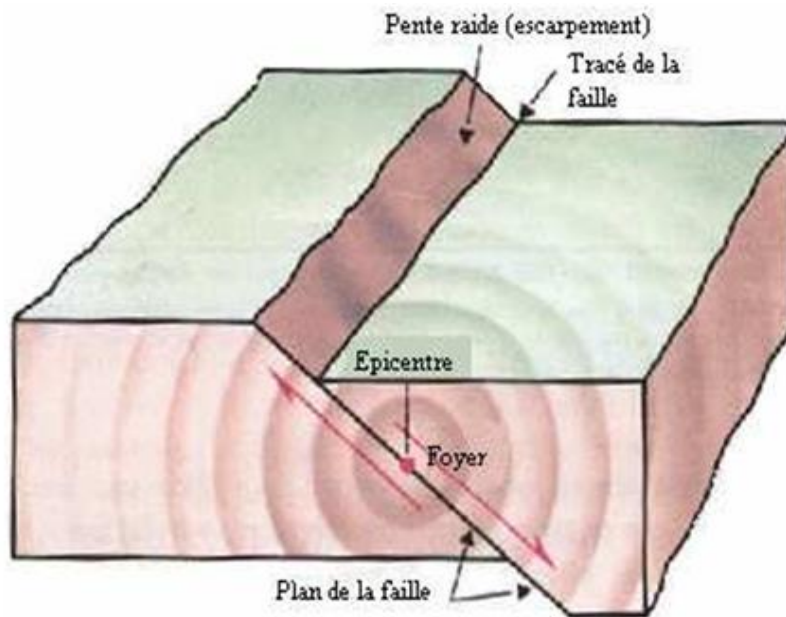


Figure. 1.2: Schéma de plan de faille.

I.2.2. L'épicentre

C'est le point situé, en surface, à la verticale du foyer. On distingue trois classes de séismes, en fonction de la profondeur du foyer :

- a) Les séismes superficiels : qui se produisent à une faible profondeur.
- b) Les séismes intermédiaires : qui se produisent entre quelques dizaines de kilomètres de profondeur (60 à 300km), et se concentrent uniquement au voisinage des limites convergentes.
- c) Les séismes profonds : qui se produisent à des profondeurs pouvant atteindre 700 km, soit en pratique la base de l'asthénosphère, ce sont des séismes de grande intensité, ils surviennent au niveau des zones de subduction et se sont les plus destructeurs.

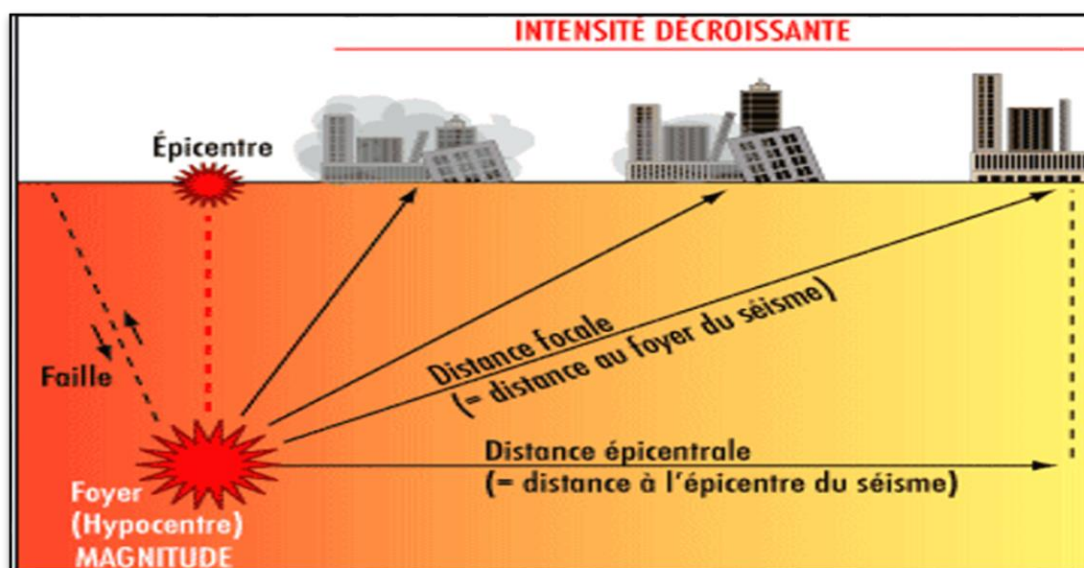


Figure I.3: Caractéristiques d'un séisme [6].

- **La magnitude M** (échelle de RICHTER) : est une évaluation de l'énergie libérée au foyer du tremblement de terre. Le foyer peut se trouver à plusieurs kilomètres sous la surface et à plusieurs centaines de kilomètres de la zone donnée.

Afin d'estimer la puissance des séismes, le sismologue Charles F. Richter à introduit la notion de magnitude, correspondant à l'énergie libérée au foyer du séisme et dépendant de la longueur de la faille activée et de l'importance du déplacement. La quantification de Richter [RICH_58], exprimée en degrés (Tableau II.1), est dite ouverte car elle n'a pas de valeur maximale. Le plus fort séisme enregistré à ce jour est de 9,5 degrés (Chili, 1960).

Magnitude	Effets du tremblement de terre
< 3,5	Le séisme est non ressenti, mais enregistré par les sismographes.
3,5 - 5,4	Il est souvent ressenti, mais sans dommages
5,4 – 6	Légers dommages aux bâtiments bien construits, mais peut causer des dommages majeurs à d'autres bâtisses.
6,1 - 6,9	Peut-être destructeur dans une zone de 100 km à la ronde.
7 - 7,9	Tremblement de terre majeur. Il peut causer de sérieux dommages sur une large surface.
> 8	C'est un très fort séisme pouvant causer de très grands dommages dans des zones de plusieurs centaines de kilomètres.

Tableau 1 : Echelle des magnitudes Richter

- **L'intensité I** (échelle de MERCALLI) est une caractérisation de l'importance des effets matériels observés en surface et de la perception par la population. Cette description vaut pour une zone géographique donnée, mais est assez qualitative.
- **L'accélération maximale a_g** ou accélération de pointe, PGA (Peak Ground Accélération) qui est un paramètre important pour l'évaluation des effets des séismes à un endroit donné du sol. L'amplitude de l'accélération maximale du sol permet de se faire une idée de la résultante de force F appliquée à la construction de masse m : $F = m a_g$.
- **Le déplacement maximal d_g** du sol qui donne une idée de l'ordre de grandeur du déplacement relatif du centre de gravité de la structure par rapport à la base de la structure.
- **Les accélérogrammes** enregistrés dans la zone géographique considérée (figure I.2) : c'est la caractérisation la plus explicite d'un tremblement de terre ; ils contiennent à la fois les aspects accélérations, durée et contenu fréquentiel. Les accélérogrammes constituent une donnée d'action directement utilisable par la dynamique des structures.

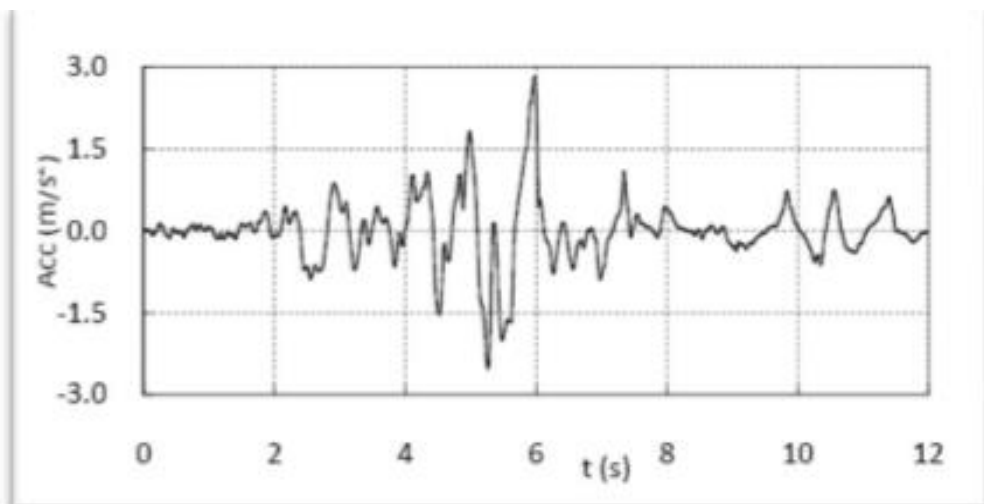


Figure I.4. Accélérogrammes du séisme de Loma Preita à la station Oakland

1.2.3 Classement des séismes

Ils sont classés selon la profondeur des foyers en trois classes :

- a) Les séismes superficiels (0-70 km) : Ils sont aussi dits normaux. Ils représentent près de

90% de l'ensemble des séismes [7].

b) Les séismes intermédiaires (70-300km) : Ils ne sont observés que dans les zones de subduction⁷ des plaques océaniques [7].

c) Les séismes profonds (300-700 km) : ceux sont les plus rares.

I.2.4. Types de séismes

On distingue deux grands types d'ondes émises par un séisme [8] : les ondes de volume, celles qui se propagent à l'intérieur de la terre et qui comprennent les ondes P et les ondes S, et les ondes de surface, celles qui se propagent en surface de la terre et qui comprennent les ondes de LOVE et les ondes de RAYLEIGH.

I.3. Les ondes sismiques Les ondes sismiques sont des ondes élastiques qui traversent un milieu sans pour autant modifier durablement ce milieu. L'impulsion de départ va pousser des particules élémentaires, qui vont pousser d'autres particules et reprendre leur place. Ces nouvelles particules vont pousser les particules suivantes et reprendre leur place et ainsi de suite. Les vibrations engendrées par un séisme se propagent dans toutes les directions.

Selon leur nature, on distingue deux grands types d'ondes émises par un tremblement de terre :

- Les ondes de fond 'S' et 'P'. Elles se propagent à l'intérieur de la terre
- Les ondes de surface, qui comprennent les ondes de Love et de Rayleigh.

I.3.1. Les ondes P

Les ondes "P" ou ondes primaires appelées aussi ondes de compression ou ondes longitudinales. Elles se matérialisent par un mouvement préférentiel d'une particule parallèlement à la direction de propagation. Le déplacement du sol qui accompagne leur passage se fait par dilatation et compression successives, parallèlement à la direction de propagation de l'onde.

Ce sont les plus rapides (6 km. s⁻¹ près de la surface) et sont enregistrées en premier sur un sismogramme. Elles sont responsables du grondement sourd que l'on peut entendre au début d'un tremblement de terre.

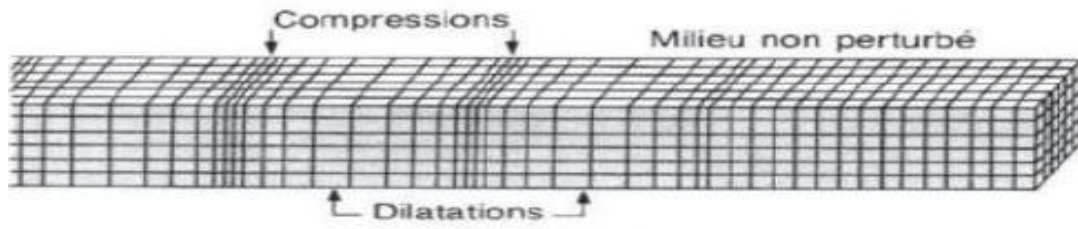


Figure I.5. Les ondes P [9].

La vitesse de propagation des ondes P est donnée par l'équation suivante

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

Où :

K = module d'incompressibilité, exprimé en (Pa).

ρ = masse volumique, exprimée en (kg/m³).

μ = module de cisaillement, exprimé en (Pa).

I.3.2. Les ondes S

Les ondes S ou ondes secondaires appelées aussi ondes de cisaillement ou ondes transversales, ne peuvent se propager que dans les solides. Les particules oscillent dans un plan vertical, à angle droit par rapport à la direction de propagation de l'onde. A 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 de la Terre. Leur vitesse est plus lente que celle des ondes P, elles apparaissent en second sur les sismogrammes.

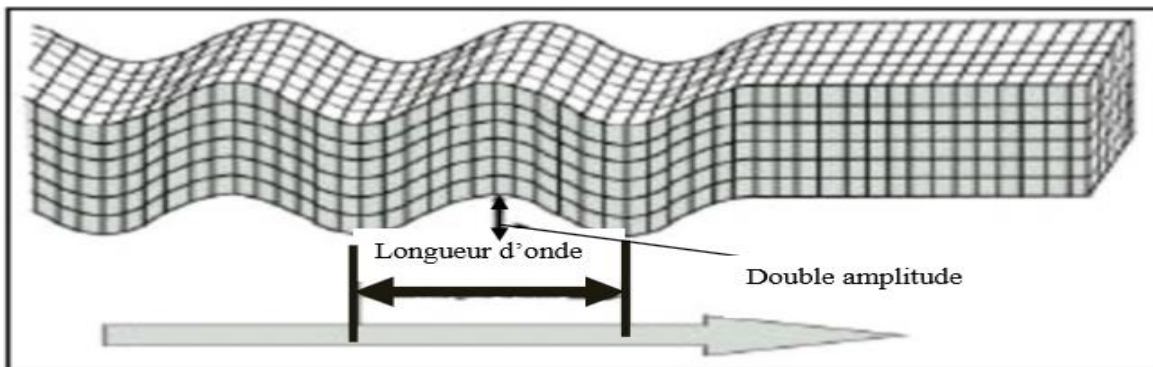


Figure I.6. Propagation des ondes S [10].

La vitesse de propagation des ondes S est donnée par l'équation : suivante :

$$V_P = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

ρ = masse volumique, exprimée en (kg/m³).

μ = module de cisaillement, exprimé en (Pa).

I.3.3. Les ondes de surface

Ce sont des ondes guidées par la surface de la Terre. Leur effet est comparable à celui des rides qui se forment à la surface d'un plan d'eau. Leur vitesse de propagation est inférieure à celle des ondes de volume, mais leur amplitude est généralement plus forte.

Deux types d'ondes de surfaces sont à définir : Les ondes dites de Love et les ondes de Rayleigh.

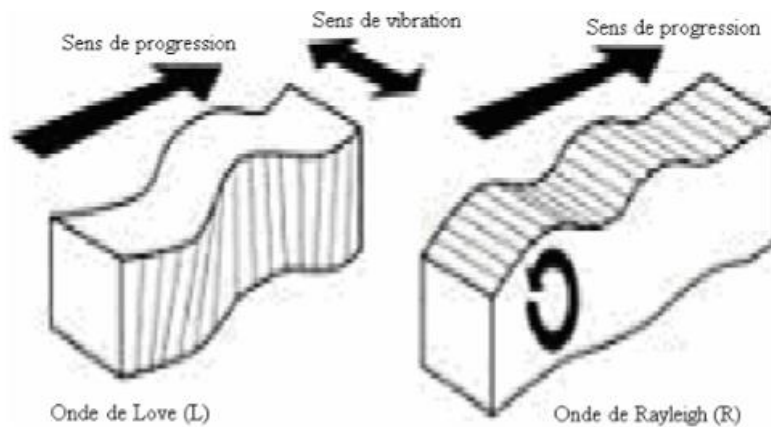


Figure. 1.7. Propagation des ondes de surface [11].

a) Les ondes de Love (L ou LQ)

Elles sont particulières aux milieux stratifiés et anisotropes. Elles sont transversales et ne peuvent pas donc traverser les milieux liquides ou gazeux. Le cisaillement du sol résultant de ces ondes dans des plans parallèles à la surface peut causer l'ébranlement des constructions horizontalement. Leur vitesse est sensiblement la même que celle des ondes S [11].

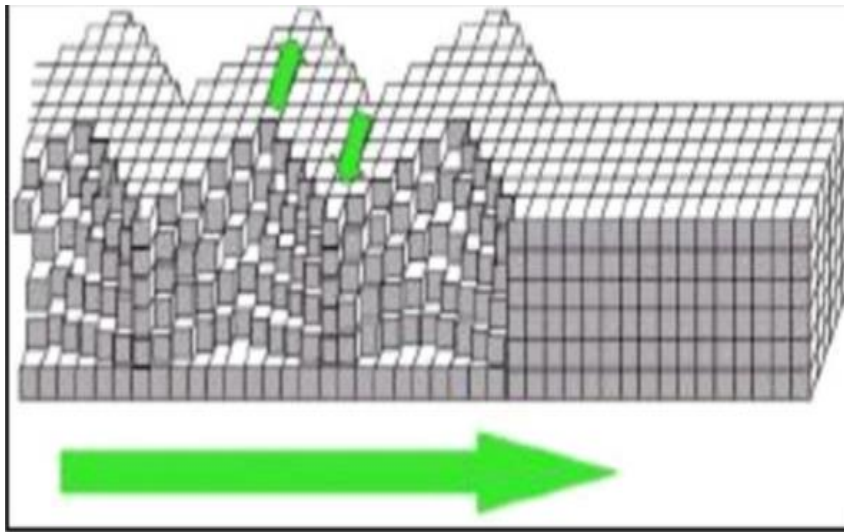


Figure I.8. Propagation des Ondes de Love [12].

L'énergie transportée par les ondes sismiques est progressivement dispersée (atténuée par radiation) et amortie (dissipée en chaleur) [12]. Les ondes à haute fréquence sont amorties plus vite que les ondes à basse fréquence. Les bâtiments élevés ayant une période propre longue et même si sont loin de l'épicentre du séisme, ils sont les plus touchés par la présence de ces mouvements de longues périodes (entrée en résonance avec le sol).

Résultant d'interférences constructives entre les ondes P et S horizontales, les ondes de Love ont un déplacement similaire à celui des ondes S sans mouvement vertical. Les particules du sol sont déplacées d'un côté à l'autre dans un plan horizontal perpendiculairement à sa direction de propagation engendrant ainsi un ébranlement horizontal qui est la cause de nombreux dégâts aux fondations des édifices. La vitesse moyenne de propagation des ondes de Love $V_L \approx 4 \text{ km/s}$.

b) Les ondes de Rayleigh (LR)

Résultant d'interférences constructives entre les ondes P et S verticales, les ondes de Rayleigh ont un déplacement complexe, assez semblable à celui d'une poussière portée par une vague, un mouvement elliptique à la fois horizontal et vertical, rétrograde à faible profondeur R et prograde pour une profondeur supérieure au cinquième de la longueur d'onde (λ). Les vibrations engendrées par cette onde durent plusieurs minutes.

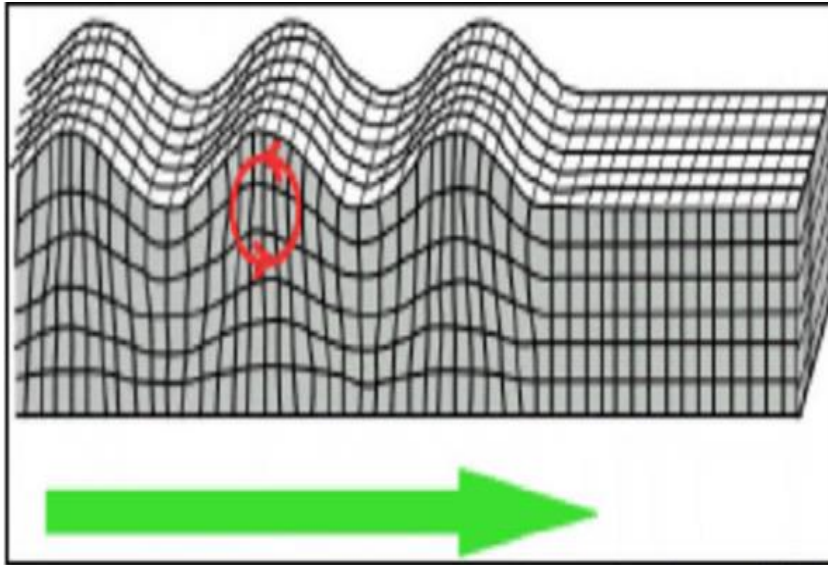


Figure I.9. Propagation des Ondes de Rayleigh [13].

I.3.4. Le séisme et les bâtiments

Lorsqu'un matériau rigide est soumis à des contraintes de cisaillement, il va d'abord se déformer de manière élastique, puis, lorsqu'il aura atteint sa limite d'élasticité, il se plastifie et il cède, en dégageant de façon instantanée toute l'énergie qu'il a accumulé durant la déformation élastique. Dans l'état actuel des choses, il est question de prévoir les modes de déformation des constructions sous l'effet des secousses, et de maîtriser l'importance de ces déformations et contraintes sur l'ensemble de la structure porteuse. Pour des raisons de bon fonctionnement et de stabilité générale de la construction, on ne peut pas laisser un bâtiment se déformer comme un roseau. On doit contrôler son endommagement en empêchant la rupture brutale et l'effondrement, tout en assurant un comportement ductile pour la structure.

Un autre facteur de ruine qu'il faut prévoir, c'est la mise en résonance. Lorsque la période d'oscillation d'un sol donné correspond à la période propre d'oscillation d'un bâtiment, celui-ci s'emballe et amplifie le mouvement. [14]

I.3.4.a. Les constructions parasismiques

Le risque sismique est lié à l'aléa sismique et à la vulnérabilité de la construction. C'est la raison pour laquelle une démarche globale de conception parasismique dans la construction devrait être mise en place. Elle doit s'appuyer sur trois points [15]:

- Respect de la réglementation parasismique. L'application des règles parasismiques concerne le calcul des charges sismiques et les dispositions constructives. La philosophie des règles consiste à préserver les vies humaines ; avant tout, l'objectif est de prévenir les risques d'effondrement des planchers et des murs.
- Conception architecturale parasismique. La conception architecturale parasismique n'est pas obligatoire mais son rôle est fondamental dans la résistance des constructions aux séismes.

Elle comprend trois aspects :

- 1- L'aspect architectural : formes et dimensions des espaces (cellules) de la structure
 - 2- l'aspect constructif : dimensions et caractéristiques comportementales des éléments structuraux de résistance.
 - 3- l'aspect contreventement : type et nombre d'éléments de contreventement.
- Mise en œuvre soignée de la construction. Enfin sans une mise en œuvre de qualité de la part de l'entrepreneur, la construction peut s'effondrer comme cela a été encore le cas récemment dans des immeubles en Turquie en 1999, en Inde en 2001 et en Algérie en 2003.

I.3.4.b. Exemples de mauvaises conceptions parasismiques :

Les bâtiments ne réagissent pas de la même manière aux séismes. Il existe une grande variété de modes de ruine pour un même type apparent de construction. Par exemple les deux ailes d'un bâtiment en L n'oscillent pas librement, ce qui génère des dommages à leur extrémité qui n'est pas libre. Comme le montre la figure I.7, on remarque des destructions diverses par accumulation de contraintes à la jonction de deux ailes de bâtiment n'oscillant pas en phase.

Il faut veiller à ce que la distribution des espaces et le choix de leurs enveloppes ne créent pas de noyaux rigides excentrés (cage d'escalier). Sous l'effet des secousses, le bâtiment peut subir une torsion autour de ce noyau rigide peu déformable (figure I.9)

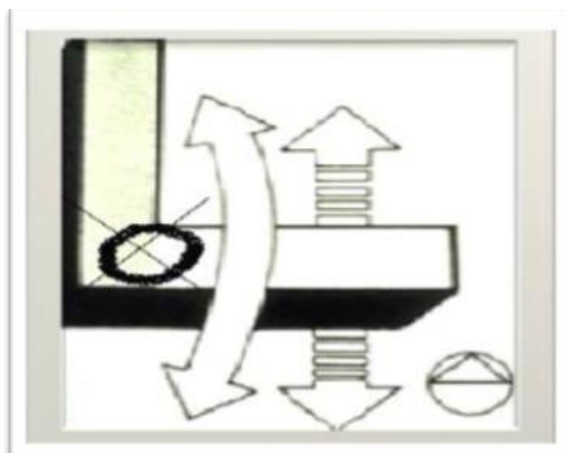


Figure I.10. Accumulation des contraintes dans la zone d'angle

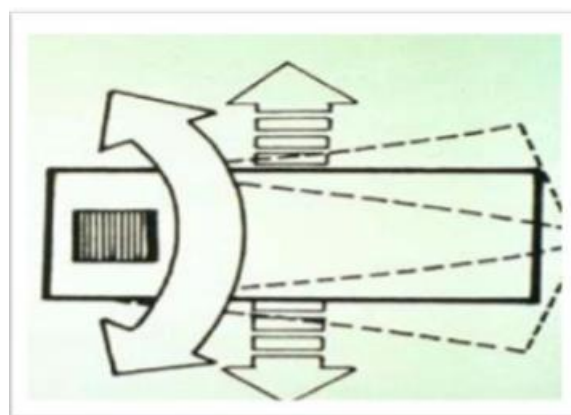


Figure I.11. Moment de torsion autour d'un noyau rigide.

Un autre principe consiste à dimensionner plus généreusement les éléments indispensables à la stabilité d'ensemble. C'est-à-dire, on adoptera le principe « poteau fort – poutre faible » pour les structures : les dommages ne doivent pas se former dans les éléments porteurs, ni dans les nœuds (figure I.10).



Figure I.12. Les poutres sont dimensionnées plus largement que les poteaux



Figure I.13. Joint parasismique insuffisant

Un joint parasismique est un espace vide de tout matériau. Il est adopté généralement sur toute la hauteur de la superstructure des bâtiments ou parties de bâtiments. Ce joint a pour but d'éviter tout entrechoquement entre les corps des bâtiments qu'il sépare (figure I.12).

I.3.4.c. Effets des séismes sur les bâtiments :

Les photos et les figures suivantes vont nous permettre de prendre conscience des zones sensibles vis-à-vis des séismes. Il faut arriver à l'interprétation de ces dommages pour pouvoir les éviter à l'avenir.

❖ Les éléments porteurs

La figure I.12 montre que les extrémités des poutres sont les zones touchées. Le séisme a provoqué la fissuration de ces parties et par la suite la rotation de celles-ci, provoquant ainsi une rotation du plancher. Ce cas présente aussi le problème de l'espacement du joint parasismique, qui est jugée insuffisante ou inexistante. Ce qui a provoqué des désordres dans le bâtiment voisin (à droite de la photo).

Sur la figure I.13, la zone de rupture a eu lieu au niveau de la base des poteaux. Il y a eu éclatement en pied de poteau ce qui a provoqué ces dégradations. Cet éclatement vient du fait que les crochets des étriers ne soient pas conformes à la réglementation, ils doivent être coudés à 135° . [16].



Figure I.14. Endommagement et rotation des poutres



Figure I.15. Éclatement du béton et flambement des armatures à la base

L'adaptation des constructions au site conduit parfois à opter des planchers décalés, par exemple d'un demi-niveau (figure I.13). Si ces planchers sont portés par une ossature à poteaux, on peut craindre un cisaillement de ces derniers sous l'effet d'un séisme. En effet, du fait de leur bridage à mi-hauteur, ils sont plus rigides que les poteaux courants et attirent ainsi des charges beaucoup plus élevées. En même temps, leur capacité à absorber l'énergie cinétique des oscillations en se déformant est sensiblement réduite. Leur rupture est due au cisaillement qui est une rupture fragile [17].

Certaines structures présentent une carence d'éléments porteurs verticaux (poteaux, voiles, murs de refend), dans ce cas l'effondrement total de la structure est quasiment inévitable (figure I.14). Ces structures présentent une très forte vulnérabilité.

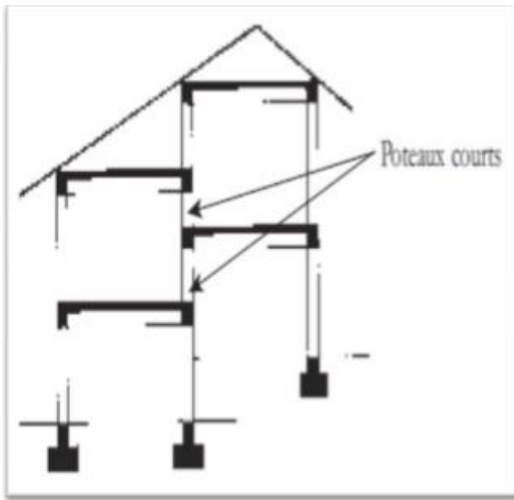


Figure I.16 : Poteaux courts



Figure I.17 : Effondrement total du musqué

❖ Les éléments non porteurs

Les ouvertures dans une façade constituent de nombreux points de vulnérabilité en cas de séisme. Ces zones sont très souvent sujettes à des fissures importantes mettant en jeu la solidité de la structure. Ces fissurations sont de type X et ont lieu entre deux ouvertures par exemple (figure I.16).



Figure I.18: Fissure en X de la maçonnerie



Figure I.19: Effondrement de la maçonnerie



Figure I.20. Effondrement de la maçonnerie

Lorsqu'un mur de maçonnerie est soumis aux poussées horizontales violentes d'un séisme, les lits de mortier n'arrivent pas à assurer une cohésion satisfaisante entre les blocs à maçonner qui se disloquent, même pour des déformations modérées du mur (figures 16 à 18). Ainsi la dislocation partielle ou totale de la construction peut survenir pour des intensités locales du séisme assez faibles si on ne prend pas la précaution de confiner (encadrer) par des chaînages appropriés chacun des panneaux de maçonnerie et chacune des ouvertures pour limiter les déformations (figure I.19).

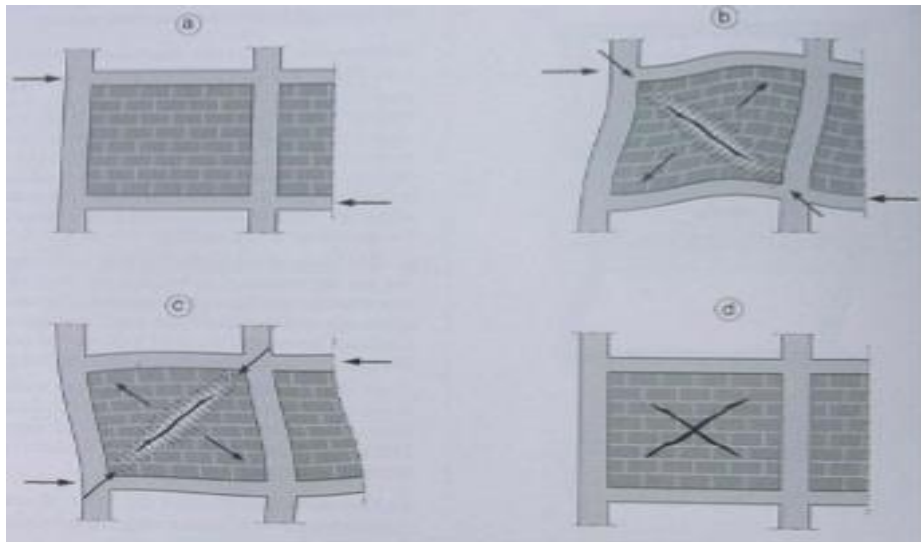


Figure I.21. Interaction mur-portique

❖ **Présence des niveaux souples**

De nombreux bâtiments comportent un ou plusieurs niveaux dont la rigidité horizontale est sensiblement inférieure à celle des autres étages.

C'est le cas des bâtiments sur " pilotis " (figure I.18), de même que de ceux qui présentent de grandes portes, vitrines ou fenêtres concentrées sur certains niveaux (commerces, garages, hôtels, bâtiments administratifs, etc.). Ces étages sont plus vulnérables et subissent des déformations plus importantes.



Figure I.22 : Cisaillement de l'étage souple.

❖ **Le problème de liquéfaction des sols**

La liquéfaction des terrains résultant d'un tremblement de terre entraîne des désordres au niveau de la composition du sol où reposent les fondations. Ceci provoque l'affaissement de la couche non liquéfiée sur la couche liquéfiée, et a pour conséquence le mouvement ou la giration de la structure.

Le tableau I.1 reprend les différents « défauts » de conception parasismique à éviter ou à contrôler.



Figure I.23 : Tassement du bâtiment

Conception non parasismique	Aspect	Conséquences possibles – Risques
Forme en L	Architectural	Accumulation de contraintes dans la zone d'angle
Présence de noyau rigide excentré (cage d'escalier, etc.)	Architectural	Torsion du bâtiment autour du noyau rigide peu déformable
Non-respect du principe « poteau fort – Poutre faible »	Constructif	Endommagement des éléments porteurs (poteaux et des nœuds)
Insuffisance ou absence de joint (s) parasismique (s)	Constructif	Entrechoquement entre bâtiments non séparés
Armatures transversales mal disposées au niveau des nœuds (poteaux notamment)	Constructif	Eclatement du béton au niveau des nœuds (dans la zone considérée)
Décalage en planchers d'une construction	Architectural	Poteaux courts (plus rigides que les poteaux courants) vulnérables aux forces de cisaillement : - subissent des charges de cisaillement plus élevées - leur capacité à absorber l'énergie

		cinétique sensiblement réduite
Présence d'une carence en éléments porteurs verticaux (poteaux, voiles, ...)	Architectural	- Risque d'effondrement total de la structure - Structure fortement vulnérable
Présence d'ouvertures « non chaînées » dans les façades	Architectural	Risque de fissurations en X entre les ouvertures pour de faibles secousses sismiques
Présence de niveaux (étages) souples	Architectural	- Vulnérabilité aux déformations accentuée - Risque de désordres importants voir de rupture des éléments structuraux au droit de ces niveaux.
Sol de fondation « liquéfiable » sous séisme	Géotechnique	- Risque de désordres dans le sol (effondrement de la couche non liquéfiée sur la couche liquéfiée) - Affaissement des fondations (mouvement ou giration de la structure)
Contreventement absent ou insuffisant	Constructif	- Faible rigidité de la structure - Déplacements et périodes d'oscillation importants de la structure en cas de séisme
Absence ou manque de ductilité des éléments structuraux	Constructif	- Risque de rupture non ductile

Tableau 2. Synthèse des éléments non parasismiques et des conséquences associées

I.3.5. La sismicité en Algérie :

La sismicité du Nord de l'Algérie est connue depuis 1365, date de séisme qui a frappé la ville d'Alger. Les nombreux travaux qui se sont intéressés à l'historique de la sismicité ont permis la réalisation de plusieurs catalogues, donné par le CRAAG [18]. Ces derniers montrent que la sismicité est concentrée dans la région nord du pays ; c'est à dire dans la bande comprise entre la région littorale et la région de la flexure sud atlasique, et des frontières marocaines jusqu'aux

frontières tunisiennes. D'autre part, ces catalogues indiquent que plusieurs séismes importants se sont produits au cours de l'histoire : Alger (1716), Oran (1790), Blida (1825), Ténès (1890)... Le Tableau 1 en page 25 de notre rapport de recherche bibliographique [19] résume tous les séismes qui se sont produits en Algérie depuis 1365.

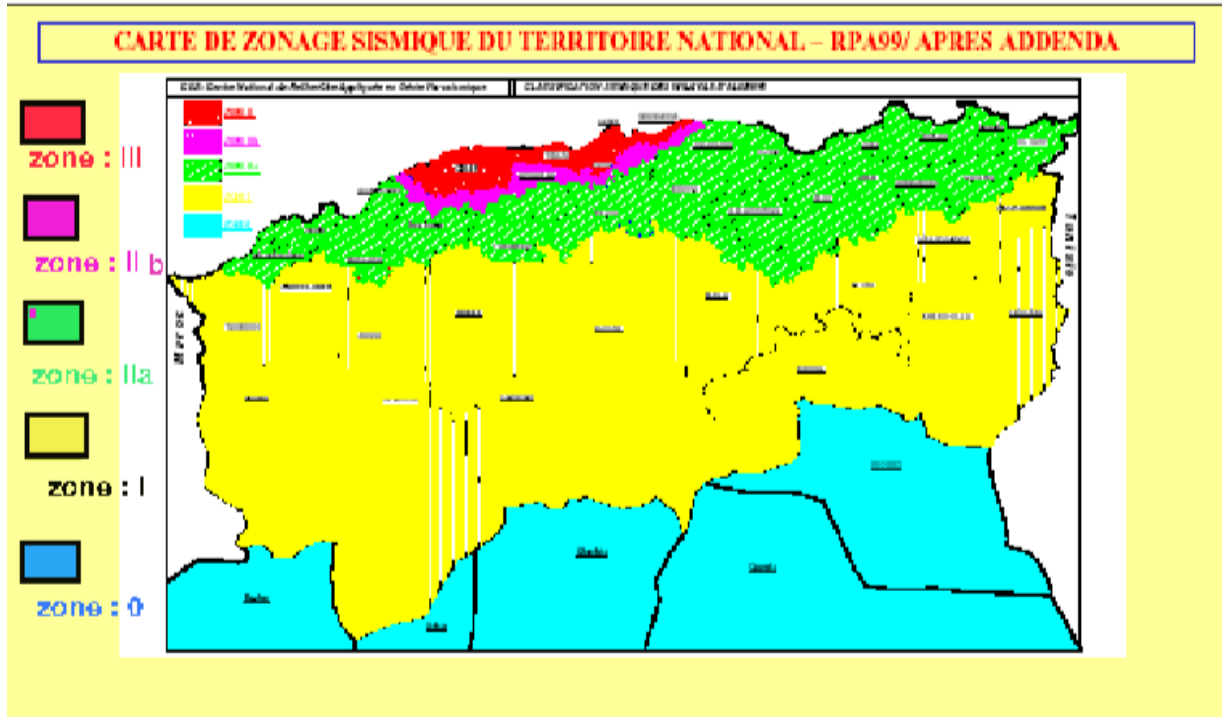


Figure 1.24.la nouvelle carte de zonage sismique de l'Algérie (RPA 99/ v 2003)

• les séismes en l'Algérie :

Lieu	Année	Magnitude	Morts	Bâtisses détruites
Boumerdes	2003	6.8	2200	–
Ain temouchent	1999	5.5	25	600
Mascara	1994	5.6	171	751
Tipaza	1989	6.1	35	4116
Chlef	1980	7.3	2733	20000
Chlef	1954	6.7	1243	20000

Tableau 3 : Séisme et dégâts [20]

I.3.5.a. Le risque et l'aléa sismique en Algérie :

L'Algérie, comme les autres pays méditerranéens, est sujette à une activité sismique importante. Situé sur la bordure de la plaque africaine laquelle est en mouvement continue de collision avec la plaque eurasiennne. Ce mouvement est responsable des séismes destructeurs qui se sont produits en Algérie et ont causé d'énormes pertes en vies humaines et en matériel.

L'aléa sismique est la probabilité en un lieu donné qu'au cours d'une période de référence, une secousse sismique atteigne ou dépasse une certaine valeur.

*** Aléa sismique régional**

Définition du mouvement sismique correspondant à des probabilités d'occurrence et détermination de l'intensité sismique pouvant être atteinte ou dépassée dans une période de temps donnée [21].

*** Aléa sismique local**

Détermination de l'aléa à partir d'une étude de micro zonage visant à identifier les zones affectées par la manifestation d'un effet de site ou de phénomènes induits (liquéfaction, glissement de terrain) [21].

Les règlements parasismiques définissent suivant la zone de sismicité :

- Dispositions et principes de conception.
- Règles de calcul.
- Dimensionnement des éléments structuraux.

I.3.5.b. Les règles parasismiques algériennes

Le document technique « DTR BC 2-48 » portant sur les « REGLES PARASISMIQUES ALGERIENNES RPA 99, version 2003 » qui a été approuvé par la commission technique permanente pour le contrôle technique de la construction (CTC) lors de sa réunion du 4 Décembre 1999 se situe dans la continuité des documents précédents « RPA 81 , version 1983 » et « RPA 88 » dont il garde la philosophie originelle .

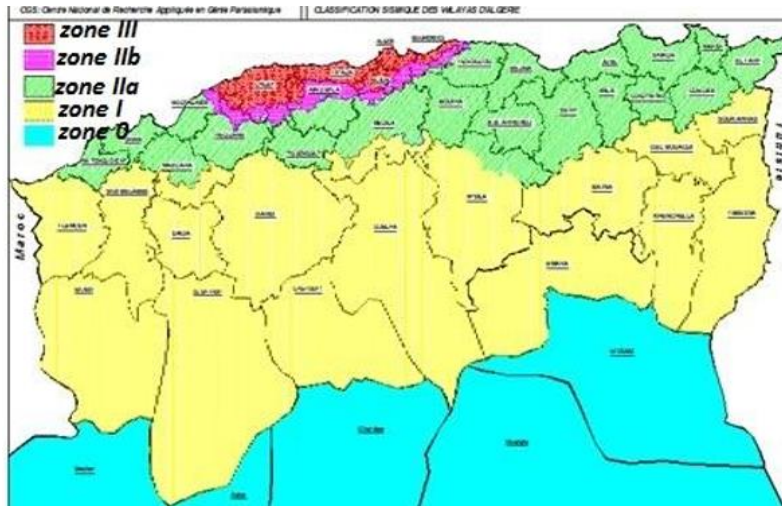
Il constitue en fait une actualisation qui s'avère nécessaire après près de deux décennies de pratique riche et diversifiée de la part des scientifiques et techniciens nationaux des bureaux d'études et de contrôle, des entreprises et des institutions de formation supérieure.

Principes	Description
Les fondations	- Elles doivent former un ensemble résistant et rigide sur un minimum de profondeur et hors d'eau de préférence. - Elles doivent être capables de reprendre les charges horizontales en plus des charges verticales et de limiter les tassements différentiels. - Les fondations sur remblais ou sols reconstitués ne sont pas admises. - Le système de fondation doit être homogène avec un seul mode de fondation par bloc de construction
La régularité	- Les ouvrages doivent de préférence avoir des formes simples. - Ils doivent assurer une distribution aussi régulière que possible des masses et des rigidités tant en plan qu'en élévation.
Les joints parasismiques	- Ils doivent assurer l'indépendance complète des blocs qu'ils délimitent et empêcher leur entrechoquement.
Les systèmes structurels	- Les ouvrages doivent en général comporter des contreventements dans au moins les deux directions horizontales. - Les éléments de contreventement devraient présenter une configuration régulière et former un système continu et cohérent aussi monolithique que possible.
La ductilité	- Les éléments de la structure doivent avoir une ductilité suffisante pour pouvoir dissiper une grande part de l'énergie induite par le mouvement sismique. - Le développement des rotules plastiques devrait se faire, en dehors des nœuds, de préférence dans les éléments horizontaux.
Les éléments non-structuraux	- Il faut tenir compte de la présence d'éléments non-structuraux qui peuvent modifier considérablement le comportement de la structure et donner lieu à des désordres importants.
Modélisation et méthodes de calcul	- Le choix des méthodes de calcul et la modélisation de la structure doivent avoir pour objectif de reproduire au mieux le comportement réel de l'ouvrage. - Il est admis que les structures soumises à une action sismique puissent subir des déformations dans le domaine post élastique.

Tableau I.4. Description des principes fondamentaux des règles parasismiques algérienne.

I.3.5.c. Zonage sismique de l'Algérie

Le territoire national est divisé en quatre (04) zones de séismicité croissante [22], définies sur la carte des zones de séismicité et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune, soit [22]:



Zone O : sismicité négligeable
 Zone I : sismicité faible
 Zone II : sismicité moyenne
 Zone III : sismicité élevée

Figure I.25. Carte de zonage sismique de l’Algérie

La figure I.25 présente la carte des zones sismiques de l’Algérie et le zonage global des différentes wilayas.

2. Sismologie de la ville de Mostaganem :

La zone sismique du territoire algérien montre que la zone tellienne fait partie de la wilaya de Mostaganem, notamment sa frange littorale est soumise au degré d’aléas sismique le plus élevé. La carte proposée par le CRAAG la classe au niveau 03 dont l’intensité maximale attendue est comprise entre 9 et 10.

La synthèse des résultats des études géotechniques effectuées par les différents laboratoires dans plusieurs zones du groupement confirme l’hétérogénéité et la recommandation de recourir généralement au radier général, comme type de fondation dans toute la zone de l’étroite plaine littorale.

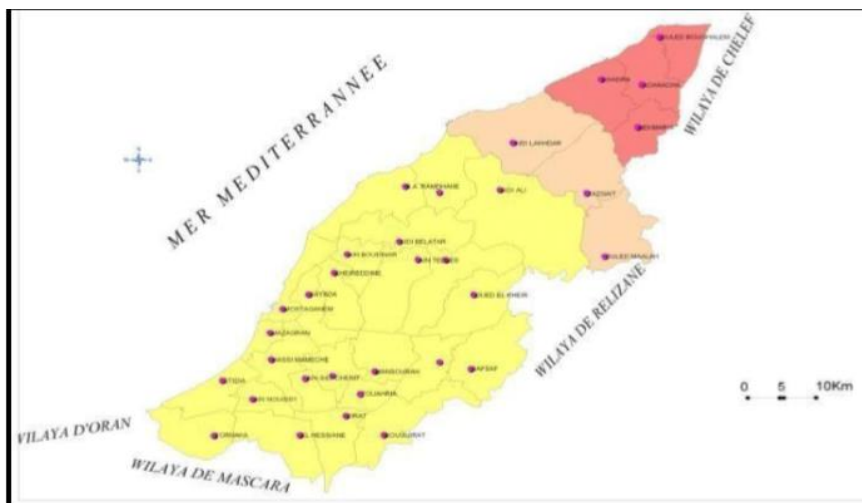


Figure 1.26: Carte du zonage sismique de la wilaya de Mostaganem (prise à partir de la direction de la protection civile de la wilaya de Mostaganem)

3. RECOMMANDATIONS

La gestion des risques naturels consiste en fait à réduire les effets dommageables des phénomènes naturels dangereux. Plusieurs moyens sont en général mis en œuvre, souvent conjointement, pour arriver à cette fin. Il s'agit :

- De la prévision et de la prédiction.
- De l'information préventive.
- De la planification adaptée de l'aménagement du territoire.
- Des règles de construction.
- De l'élaboration de plans de secours et de gestion de crise.

METHODES D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE SISMIQUE



1. Introduction :

L'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments est une des activités les plus appropriées dans l'ingénierie antisismiques ; ceci peut être fait à différents niveaux, s'étendant d'évaluation de la vulnérabilité d'un bâtiment simple à la caractérisation rapprochée du comportement des classes des bâtiments pour des analyses de risque urbaines ou régionales. Chercheurs, ingénieurs, décideurs et d'autres figures impliquées dans la prévision et la gestion de risque savent très bien que la vulnérabilité de construction est la partie du risque sismique selon des actions humaines et par conséquent elle est l'aspect principal quand les hommes peuvent intervenir, afin de réduire le risque. Le seul l'autre alternative, quand il n'est pas possible de changer l'exposition de bâtiment (comme dans le cas des bâtiments existants) serait une relocalisation des fonctions publiques par la suite accueillies dans les bâtiments, afin d'atténuer le risque sismique pour des personnes.

2. Vulnérabilité sismique

L'estimation des pertes spécifiques résultant d'un séisme, exige que pour chaque classe de bâtiments, la relation entre intensité du mouvement sismique et le degré de dommage doit être connue ou développée. L'endommagement sismique potentiel des structures a été l'objectif de plusieurs études effectuées. Différentes approches ont été développées afin de prédire et d'estimer les pertes spécifiques en termes d'endommagement et en termes de victimes.

3. Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

L'intérêt de se prémunir contre les effets destructeurs des séismes est croissant ces des bâtiments deux dernières décennies et en particulier vis-à-vis des constructions existantes. Une multitude de programmes et d'approches ont vu le jour depuis, en vue d'une mitigation du risque sismique, et en l'occurrence le programme RiskUE (2003) [10], VULNERALP (2005) [12], CETE Méditerranée (1990) et Méthode FEMA-154 [11]

3.1. Méthode du projet européen RISK-UE (2003)

❖ PRINCIPE

Cette méthodologie a été développée par les institutions partenaires du projet RISK-UE dans le cadre du Work Package 4 relatif à l'évaluation de la vulnérabilité du bâti courant. Ce projet avait pour but d'analyser le risque sismique à l'échelle d'une ville, et d'aboutir à la création d'une méthodologie permettant l'évaluation des risques.

Deux méthodes ont été établies pour évaluer la vulnérabilité des bâtiments :

- une méthode macrosismique, le niveau 1, reposant sur l'affectation aux bâtiments d'un indice de vulnérabilité, définissant des courbes de vulnérabilité et de fragilité,
- une méthode mécanique, le niveau 2, basée sur des analyses analytiques de la structure basée sur des modélisations dynamiques ou des modélisations simplifiées.

On ne s'intéressera pas au niveau 2 puisqu'il s'agit d'une méthode quantitative.

La méthode macrosismique (niveau 1) repose sur l'évaluation d'un indice de vulnérabilité pour un bâtiment donné, indice qui est fonction de la typologie constructive du bâtiment ainsi que de différents facteurs susceptibles de modifier son comportement. A partir de cet indice, il est possible de définir, en fonction de l'intensité macrosismique de l'EMS-98, des courbes de vulnérabilité, qui permettent d'évaluer la répartition des probabilités de dommages sur le bâtiment.

L'indice de vulnérabilité du bâtiment (VI) est compris entre 0 et 1. Les valeurs proches de 1 correspondent aux bâtiments les plus vulnérables. Il s'obtient en faisant la somme de 4 termes :

- VI^* fonction de la typologie du bâtiment,
- ΔV_m représentant l'influence des différents facteurs pouvant modifier le comportement,
- ΔV_r prenant en compte le jugement de l'expert concernant les particularités régionales de la vulnérabilité pressentie lors de l'observation,
- ΔV_f prenant en compte l'incertitude du relevé de la typologie et des facteurs de vulnérabilité.

Le terme VI^* est donné par une matrice dans laquelle un indice de vulnérabilité est affecté à chaque type de bâtiment. 23 typologies de bâtiments sont caractérisées dans cette matrice.

Le terme ΔV_m est évalué en sommant les coefficients associés à chaque facteur de vulnérabilité observé sur le bâtiment. Les facteurs de vulnérabilité sont recensés suivant une fiche de relevé. Deux fiches de relevé existent, l'une pour les bâtiments en béton armé, acier et bois et l'autre pour les bâtiments en maçonnerie (voir Annexe). Ce recensement nécessite un simple examen visuel extérieur.

Le terme ΔV_r est laissé à l'appréciation de l'enquêteur.

Le terme ΔV_f peut prendre deux valeurs suivant que les facteurs de vulnérabilité ont été relevés ou non.

Cet indice de vulnérabilité peut être établi pour un bâtiment ou pour un ensemble de bâtiment. A cet indice de vulnérabilité est associée une incertitude. En effet la matrice de typologie de bâtiment propose pour chaque typologie spécifique le terme VI^* (indice de vulnérabilité le plus probable) et les termes $[VI^- ; VI^+]$ (limites de l'intervalle plausible de VI) et $[VI_{min} ; VI_{max}]$ (limites inférieure et supérieure des valeurs possibles de VI). En sommant ces valeurs limites de VI^* aux autres termes ($\Delta V_m ; \Delta V_r ; \Delta V_f$), il est possible d'obtenir une marge d'erreur de l'indice global de vulnérabilité.

A partir de cet indice a lieu l'évaluation de la répartition des probabilités de dommages sur le bâtiment en établissant des courbes de vulnérabilité puis des courbes de fragilité. Les courbes de vulnérabilité exprimant le taux de dommage moyen, sont établies en fonction de l'intensité macrosismique I de l'EMS 98 et de l'indice VI . L'utilisation par la suite d'une loi de distribution de dommages permet de passer du taux de dommage aux degrés de dommage EMS 98 nécessaire pour établir les courbes de fragilité. Les courbes de fragilité sont définies pour un degré de dommage EMS-98 D_k donné. Elles fournissent, en fonction de l'intensité macrosismique, la probabilité d'atteindre ou de dépasser ce degré D_k .

➤ **Champ d'application**

Cette méthode s'applique aussi bien à un bâtiment pris isolément qu'à un groupe de bâtiment. Pour un groupe de bâtiment, le terme $VI^* = \sum t_i q_i VI_i^*$ où q_i est le pourcentage de bâtiment appartenant à une catégorie spécifique. On obtient de la même manière les termes $\Delta V_m, \Delta V_r$.

Elle est utilisable pour tous les types de bâtiment : maçonnerie, béton armé, structure métallique, structure bois.

➤ Données et compétences nécessaires

• Données nécessaires :

Les fiches de relevé des facteurs de vulnérabilité étant très sommaires, un simple examen visuel extérieur suffit.

➤ Ses avantages

Cette méthode fournit 2 types de résultats :

- un indice de vulnérabilité permettant de hiérarchiser la vulnérabilité de bâtiments dans le cas de l'analyse d'un groupe de bâtiments (étude à l'échelle d'une ville ou d'un quartier),
- une répartition des probabilités de dommages sur le bâtiment en cas de séisme. Celle-ci fonction de l'intensité sismique considérée (échelle EMS 98) .

Cette méthode a donc l'avantage de donner à la fois des critères d'aide à la décision sur les priorités d'études approfondies ou de renforcement du bâti existant (par la hiérarchisation obtenue) et une idée du comportement de chaque bâtiment en cas de séisme.

Elle a également l'avantage d'associer une incertitude à l'indice de vulnérabilité obtenu.

Cette marge d'erreur permet de nuancer les résultats obtenus.

◆ Facteurs de vulnérabilité observés

Cette méthode est très complète du point de vue des facteurs de vulnérabilité observés. Elle ne se base pas seulement sur les caractéristiques physiques du bâtiment, elle s'intéresse également au contreventement, aux fondations, à la nature du sol, à l'état d'entretien, à la transparence et à la proximité d'ouvrages non parasismiques.

◆ Les fondements de la méthode

Elle a été développée par l'université de Gènes (UNIGE) à partir du modèle de vulnérabilité présenté dans l'EMS 98 et des guides GNDT (Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti).

Cette méthode repose sur le travail essentiel d'identification des particularités européennes qui a eu lieu dans le cadre du Work Package 1. Il s'agissait, entre autres, d'identifier les types de bâtiments les plus représentatifs de l'ensemble des pays européens et méditerranéens. Ce sont ainsi 23

typologies de bâtiments qui ont été caractérisées, et regroupées au sein de la Matrice de Typologie des Bâtiments.

Le choix des facteurs de vulnérabilité du bâtiment à observer s'est appuyé sur le modèle de la méthode américaine ATC 21 et de la méthode GNDT niveau 2.

Les courbes de vulnérabilité (expression du taux de dommages) sont essentiellement issues de l'analyse statistique des dommages constatés lors de séismes italiens.

De plus la loi de distribution de dommages qui a été choisie pour établir les courbes de fragilité, est une loi Bêta plutôt que la loi de distribution binomiale classiquement utilisée. Leur choix se fonde sur des comparaisons établies entre les répartitions de dommages observées dans la réalité, lors des séismes récents en Italie et en Grèce, et celles obtenues par différentes lois de distribution.

L'ensemble des étapes de la méthode possède une justification pertinente, ce qui permet de préjuger de la qualité de la méthode. Enfin cette méthode a l'avantage, contrairement à de nombreuses autres, de pouvoir être appliquée aux bâtis des centres historiques par simple ajout de la prise en compte des bâtiments accolés. Cette modification relève de l'analyse des monuments historiques et centres anciens effectuée dans le cadre du Work Package 5 du projet RISK-UE.

➤ **Ses inconvénients**

Cette méthode prend en compte la plupart des facteurs de vulnérabilité (état de conservation, éléments de contreventement, transparence, nature du sol...) à l'exception des éléments non structuraux, des défauts d'organisation. La vulnérabilité des réseaux et les risques présentés par les équipements intérieurs ne sont pas abordés non plus. Ces éléments ont pourtant une influence forte sur la vulnérabilité aux séismes des bâtiments notamment lorsque l'on s'intéresse aux établissements recevant du public et aux bâtiments stratégiques.

3.2. Méthode du CETE Méditerranée (fin des années 1990)

➤ **Principe :**

La méthode sommaire d'analyse de la vulnérabilité développée par le CETE Méditerranée à la fin des années 90 ne constitue pas une étude de vulnérabilité à proprement parler mais plutôt une approche pour la détermination de la présomption de vulnérabilité. Il s'agit surtout de recenser les indices de vulnérabilité de bâtiments et de fournir une indication a priori sur le comportement plus ou moins favorable des constructions sous sollicitation sismique.

Cette méthode reste empirique dans la mesure où l'on ne procède à aucun calcul de structure pour étudier la réponse de la construction à une sollicitation sismique donnée. Elle ne prend en considération que les données recueillies sur le site, la plupart du temps sans accès à l'intérieur des locaux.

A partir d'un examen visuel extérieur des bâtiments, l'approche consiste à identifier et à pondérer les paramètres structuraux ou non pouvant modifier le comportement des constructions existantes en cas de séisme et consister en des facteurs aggravant de vulnérabilité. Ces facteurs sont identifiés à l'aide d'une fiche de relevé des caractéristiques des bâtiments et les pondérations correspondent à des valeurs pré-établies par les experts ayant développé cette méthode.

A partir de la fiche de relevé présentée en annexe, un indice de vulnérabilité V est calculé selon l'expression suivante $V = V1+V2$ où :

- $V1$ est un indice de base cumulant l'influence des caractéristiques d'ensemble du bâtiment, selon trois critères de base, l'âge de la construction (V_A), le matériau structural (V_M) et l'état d'entretien (V_E) ($V1 = V_A + V_M + V_E$), sachant que $V1$ varie de 0 à 0,50 ;

- $V2$ représente des facteurs de vulnérabilité découlant de l'observation de dommages post-sismiques et issus des travaux de l'Association Française de Génie Parasismique, travaux compilés dans son bulletin technique n°24 de mars 2002 .

Les 22 facteurs retenus pour déterminer $V2$ appellent une réponse binaire, selon l'existence du facteur ou pas (1=oui/0=non).

Un poids est attribué (selon l'estimation du degré de dommage) pour chacun d'eux. Cette somme pondérée des 22 facteurs est normée à 0,50. L'indice global de vulnérabilité correspond à une valeur comprise entre 0 à 1. La valeur 1 correspond au niveau de vulnérabilité le plus important.

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	oui	non	poids	Vi
A	Pente générale duterrain ($p > 30\%$)			25	
B	Proximité de changement depente ($d < 2 h$)			50	
C	Soutènement outalus ($d < 2 h$)			40	
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4cm$)			15	
F	Dissymétrie en plan			25	
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)			10	
H	Parties saillantes ou rentrantes			15	
I	Étages de hauteur différente			10	
J	Retraits en façades			15	
K	Transparence complète			90	
L	Demi – transparence			60	
M	Angle affaibli			20	
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs			25	
O	Présence de poteaux court			25	
P	Présence de poteaux élancés			10	
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse			10	
R	Porte à faux $> 2 m$			5	
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et dangereuses			5	
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses			5	
U	Antenne hertzienne en toiture			5	
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)			10	
				500	

Tableau 5 : Les 22 facteurs retenus pour déterminer V2

• **Données nécessaires :**

N'impliquant pas un haut niveau de connaissance de la structure, des matériaux utilisés et des dispositions constructives, cette méthode ne nécessite pas de disposer des plans de la construction. Aucun relevé précis de la structure n'est nécessaire. Il n'est pas nécessaire de pénétrer dans le bâtiment.

La connaissance de l'année de construction de l'ouvrage et un examen visuel extérieur suffisent. Il est cependant utile de noter qu'il est parfois difficile de déterminer certains paramètres sans pouvoir accéder à l'intérieur du bâtiment (critère de continuité verticale des éléments porteurs ou de présence de percements dans la structure porteuse par exemple).

➤ **Ses avantages**

◆ **Sa simplicité**

Elle présente l'avantage d'être simple et rapide.

Cette méthode peut être mise en œuvre par des personnes non expérimentées dans le domaine du bâtiment.

Les données préalables concernant les caractéristiques du bâtiment sont peu exigeantes puisque aucun plan de la construction n'est nécessaire en première approche.

La fiche de relevé présente l'avantage d'être synthétique et de se concentrer sur des paramètres fondamentaux en termes de vulnérabilité des bâtiments tels que la pente du terrain, la dissymétrie du bâtiment, ...

Elle permet une première appréciation de la vulnérabilité d'un bâtiment.

◆ **Fondement de la méthode**

Les auteurs de la méthode indiquent s'être appuyés sur les retours d'expériences post-sismiques et notamment sur les observations de dommages. Ils se réfèrent également à un cahier technique de l'AFPS pour la sélection des facteurs de vulnérabilité, document ayant fait l'objet d'une validation par différents experts en risque sismique. Ces fondements permettent de préjuger de la pertinence des éléments constitutifs de la méthode.

◆ **Paramètres observés**

Contrairement à d'autres méthodes du même type, l'approche proposée considère l'état d'entretien comme une caractéristique de base de la construction à prendre en compte. En effet, ce paramètre est d'autant plus important dans les centres anciens où les constructions vieillissantes témoignent parfois d'un défaut d'entretien. Le manque d'entretien est un facteur aggravant de la vulnérabilité des bâtiments au séisme et plus généralement, à tous les types de risques naturels quels qu'ils soient.

➤ **Ses inconvénients**

◆ **Sa pédagogie**

Compte tenu de sa simplicité, cette méthode a vocation à être utilisée par des personnes ne possédant pas de formation dans le domaine du bâtiment. Certains termes, tels que « soutènement, transparence

et modénatures en façade » par exemple, sont très spécifiques et peu clairs pour un technicien généraliste. Ils nécessiteraient une définition et des schémas explicatifs.

◆ Paramètres observés

La liste des facteurs de vulnérabilité examinés est relativement restreinte et ne considère pas certains paramètres fondamentaux en termes de comportement des bâtiments sous sollicitation sismique tels que le contreventement, le type de fondation et la nature du sol. Aucune justification de la non sélection de ces facteurs de vulnérabilité n'est apportée.

D'autre part, les défauts d'organisation, la vulnérabilité des réseaux et les risques présentés par les équipements intérieurs en cas de séisme ne sont pas abordés. Ces éléments ont pourtant une influence forte sur la vulnérabilité au séisme des bâtiments notamment lorsque l'on s'intéresse aux établissements recevant du public et aux bâtiments stratégiques.

3.3. Méthode VULNERALP (2005)

➤ Principe

Cette méthode qualitative a été élaborée par le LCPC/LGIT (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées/ Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique de l'université Joseph Fourier-Observatoire de Grenoble) dans le cadre du projet VULNERALP et par l'AFPS dans le cadre du groupe de travail « Vulnérabilité du bâti existant : approche d'ensemble ».

Sur la base de l'identification, via des fiches de relevés, de critères architecturaux et constructifs, cette approche permet d'attribuer un indice de vulnérabilité global à la construction étudiée. Les pondérations de facteurs de vulnérabilité employée se basent essentiellement sur les travaux développés par le GNDT (Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti) italien. L'objectif de la méthode est de définir des priorités d'analyse ou d'actions parmi un ensemble de bâtiment à l'échelle d'un quartier ou d'une ville. Elle est à ce titre qualifiée par les auteurs de « premier dégrossissage statistique ». Elle ne vise pas à définir les actions de réhabilitation proprement dites.

Il s'agit d'une méthode « à étages » ou « gigogne » permettant de mettre en œuvre différents niveaux d'analyse de plus en plus précis et impliquant une mobilisation progressive des moyens. A l'heure actuelle, 4 niveaux d'analyse, tous compatibles entre eux, ont été développés :

- Le premier niveau, le plus rudimentaire, appelé 0, se base uniquement sur la typologie des bâtiments rencontrés en référence à la typologie EMS 98. Il permet un rapide screening des niveaux

probables de dommages pour une typologie présente dans la ville. Ce niveau mobilise des données issues de la bibliographie, des photos aériennes ou de base de données relatives au bâti (INSEE par exemple).

- Le second niveau, assez sommaire, appelé 1.0, est un questionnaire assorti d'un guide informatif qui peut être renseigné par les gestionnaires de parc eux-mêmes. Sur cette base est alors estimé un indice de vulnérabilité, assorti d'une grande marge d'incertitude. Les informations nécessaires sont d'ordre qualitatif et géométrique : matériau de construction, âge, terrain d'implantation, nombre d'étages, régularité géométrique, toiture.
- Le troisième niveau, plus précis et appelé 1.1, met en œuvre des fiches un peu plus détaillées renseignées par un technicien dûment formé après inspection visuelle extérieure. Les informations complémentaires ainsi obtenues permettent d'affiner l'estimation de l'indice de vulnérabilité : réduction de la marge d'incertitude.
- Le quatrième niveau, appelé 2.0, nécessite l'intervention d'un ingénieur spécialiste en bâtiment pour acquérir des informations sur la structure elle-même par inspection extérieure et intérieure et consultation des plans de construction. La fiche est plus détaillée que la précédente. Elle permet notamment d'identifier le système de contreventement structural mobilisable pour la résistance aux séismes, les contributions des éléments non structuraux extérieurs et intérieurs et surtout d'identifier d'éventuels défauts structuraux visibles.

L'indice de vulnérabilité global de l'ouvrage est obtenu pour chaque niveau d'analyse en agrégeant les indices de vulnérabilité partiels des facteurs de vulnérabilité étudiés, pondérés par leurs coefficients. A cet indice de vulnérabilité global variant entre 0 et 100 est associé une marge d'erreur appelée « intervalle ». En fonction des indices de vulnérabilité globaux obtenus au niveau inférieur, il est décidé de la nécessité ou non d'appliquer, sur certains secteurs ou ensemble de bâtiments, le niveau supérieur d'analyse de la méthode Vulnéralp.

A partir de l'indice de vulnérabilité global obtenu, un niveau de dommages attendu peut être déterminé. La correspondance a été définie par le GNDT. Le niveau d'endommagement se calcule par croisement de la vulnérabilité du bâtiment et des intensités sismiques par la formule de Giovinazi et Lagomarsino :

$$\text{Endommagement} = [0,5 + 0,45 \cdot \arctan (0,55 (I - 10,2 + 0,05 \cdot IV))]$$

Où : I est l'intensité macrosismique et IV l'indice de vulnérabilité

Le résultat obtenu (l'endommagement) s'exprime en degrés (échelle des dommages EMS 98), selon la correspondance suivante :

Degré 1 (dégât léger) Endommagement de 0 à 0,2 ; Degré 2 (dégât modéré) Endommagement de 0,21 à 0,4 ; Degré 3 (dégât important) Endommagement de 0,41 à 0,6 ; Degré 4 (dégât très important) Endommagement de 0,61 à 0,8 ; Degré 5 (dégât destruction) Endommagement de 0,81 à 1 ;

Les principes de cette méthode ont été appliqués au sein du projet Vulnéralp à Grenoble, du programme européen RISK-UE et du projet GEMGEP à Nice.

Cette méthode a été établie pour être mise en œuvre soit à l'échelle d'une ville soit à l'échelle d'un groupe de bâtiment (quartier ou bâtiments de classe C d'une ville par exemple). L'application de cette méthode nécessite des données comme (Typologie de l'unité, environnement : sol, pente ; Époque de construction, Toiture et Régularité en élévation et en plan).

➤ **Ses avantages**

◆ **Sa simplicité**

Concernant les niveaux 1.0 et 1.1, la méthode Vulnéralp présente l'avantage d'être simple et rapide. Elle ne requiert pas un niveau de compétence très élevé : un technicien spécialisé en bâtiment suffit. De plus les données nécessaires sont peu exigeantes : un simple examen extérieur est nécessaire pour le niveau 1.1.

Elle permet une première appréciation de la vulnérabilité d'un bâtiment.

Le niveau 2.0 est plus complexe puisqu'il nécessite un ingénieur spécialisé en bâtiment, un examen intérieur et la consultation des plans.

◆ **Sa pédagogie**

La fiche de relevé est très claire et facile d'utilisation. Des schémas explicatifs des facteurs de vulnérabilité sont donnés pour aider à leur identification. Un guide informatif annexe est associé au niveau 1.0. Ce guide est très utile puisqu'il permet d'apporter aux techniciens une première approche de l'influence de chaque facteur sur le comportement des constructions en cas de séisme.

Elle constitue un premier pas vers une sensibilisation directe au risque sismique et une responsabilisation des acteurs locaux face à la gestion de ce risque.

◆ Une méthode à « étages »

Cette méthode en proposant 4 niveaux d'analyse de précision progressive permet d'affiner l'évaluation au fur et à mesure en fonction des résultats obtenus (zones ou types de bâtiments prioritaires identifiés par exemple) et des moyens pouvant être mobilisés progressivement.

Le coût raisonnable des niveaux 1.0 et 1.1 permet d'initier facilement une première estimation de la vulnérabilité sur un territoire exposé.

➤ Ses inconvénients

◆ De fortes marges d'erreurs

La marge d'erreur relative à l'indice global de vulnérabilité est souvent importante. Par exemple un bâtiment avec un indice moyen de 48 suite à l'application de la méthode de niveau 1.1, a une marge d'erreur comprise entre 31 et 64 soit un degré 1 de dommage pour un séisme d'intensité VI dans le premier cas (dégâts légers) et un degré 3 dans le second (dégâts importants).

◆ Paramètres pris en compte dans l'estimation de la vulnérabilité

Si on considère les facteurs de vulnérabilité pris en compte dans les trois niveaux d'analyse supérieurs, on remarque qu'un certain nombre de facteurs déterminant sont pris en compte, à l'exception :

- Du contreventement vertical et horizontal
- Des planchers (niveaux 1.0 et 1.1)
- Des fondations

3.4. Méthodologie HAZUS (Hazard US)

Cette méthode, proposée par la U.S. Federal Emergency Management Agency (FEMA) et connue également sous le nom d'ATC-21, est décrite dans les documents FEMA 154 et FEMA 155 révisés pour la dernière fois en 2002 (BSSC, 2002a ; BSSC, 2002b). Une note de base associée au risque structurel (BSH : Basic Structural Hazard) est attribuée au bâtiment selon son principe constructif, identifié parmi 15 types de structures courantes aux États-Unis, et selon la sismicité de la région (voir l'annexe 1). Cette note varie de 1,6 pour les ossatures en béton armé avec remplissage en maçonnerie situées en zone de forte sismicité, à 7,4 pour les structures en bois de charpente en zone de faible sismicité. La note structurale de base est ensuite modifiée par l'ajout ou la soustraction de

facteurs de modification de performance SM établis selon les déficiences observées pour les différentes classes de bâtiment. Les caractéristiques structurales considérées par les facteurs de modification SM sont la hauteur du bâtiment, les irrégularités géométriques et structurales en plan et en élévation, l'année de conception qui présuppose l'application d'un certain code de construction, le type de sol. Une grille standardisée, contenant les valeurs des coefficients à appliquer, est fournie pour faciliter le pointage de ces éléments [18]. La note finale varie théoriquement entre 0 et 7 et correspond à la probabilité d'effondrement d'un bâtiment pour un séisme égal ou dépassant le séisme maximum considéré (MCE, correspondant à 2% de probabilité de dépassement en 50 ans) selon la relation :

$$S = - \log_{10} (\text{probabilité d'effondrement})$$

Les courbes de fragilité définissent la probabilité d'atteindre ou de dépasser un certain niveau de dommages, structurels ou non structurels, pour une valeur donnée du déplacement correspondant au point de demande. Dans le cas du programme HAZUS, ces courbes ont été mises au point à partir d'extrapolations des données liées aux dommages observés, sur avis d'experts [19].

Ces courbes ont été calibrées ensuite, avec des données consécutives aux séismes de LomaPrietta (1989) et de Northridge (1994). C'est l'une des raisons que les courbes ne peuvent pas être directement exploitées pour tous les pays et en l'occurrence pour un pays à sismicité modérée. L'endommagement est modélisé par une distribution normale cumulée du logarithme (distribution log-normale) du déplacement spectral S_d donné. Ainsi pour un niveau de dégâts d_s provoqué par un déplacement spectral S_d donné, la probabilité d'endommagement, $P(d_s/S_d)$, s'exprime à travers la formule suivante :

$$P[d_s/S_d] = \Phi(\beta_{d_s}, S_d, d_s)$$

Avec : $P[d_s/S_d]$ est la probabilité d'obtenir un niveau de dégât donné d_s pour un déplacement spectral S_d , Φ est la distribution normale cumulée, S_d, d_s le logarithme de la valeur moyenne de déplacement d pour le niveau d'endommagement fixé à d_s , β_{d_s} est le logarithme de l'écart-type du déplacement d pour le niveau d'endommagement ou degré de dégât d_s . Dans cette étude on va utiliser les courbes d'endommagement fournies par le programme HAZUS qui définit 4 niveaux ou degrés de dégâts : faibles, modérés, importants et très importants. On se basera sur les degrés de dommages structurels.

Degrés de dégât, DG	Définition	Indice d'endommagement
0	Aucun dégât	<0.10
1	Faible endommagement	0.10-0.25
2	Endommagement modéré	0.25-0.40
3	Dégâts importants	0.40-1.00
4	Effondrement	1.00

Tableau 6 : Équivalence entre le niveau d'endommagement (ou degré de dégâts) et l'indice d'endommagement. [18]

La FEMA 154 est une méthode rapide d'évaluation de la vulnérabilité destinée à sélectionner les bâtiments présentant a priori un risque inacceptable. Il est généralement recommandé de procéder au diagnostic détaillé (par exemple suivant la procédure FEMA 310) des bâtiments dont la note est inférieure à 2, c'est-à-dire des bâtiments dont la probabilité d'effondrement est supérieure à 1 %. La méthode est calibrée pour les 15 types de constructions les plus courants et les différentes zones sismiques des États-Unis. Données nécessaires Les données nécessaires pour établir le diagnostic sont réunies à l'aide d'une fiche de relevé normalisée remplie par simple examen visuel, extérieur et éventuellement intérieur, du bâtiment. L'analyse des plans de structure n'est pas indispensable mais peut aider à conclure sur le principe constructif, la régularité du contreventement ou encore la date de construction.

La classe de sol (types A à F) peut en revanche difficilement être identifiée sur place : il est nécessaire de se référer aux cartes géologiques, géotechniques ou aux sondages existants sur la zone d'étude.

Méthode	Principe	Formulation	Observations
RiskUE	<p>Evaluer un indice de vulnérabilité pour 1 bâti courant $VI \in [0,1]$</p> <p>Ainsi que l'endommagement (μ_D)</p>	$V_I = V_I^* + \Delta V_m + \Delta V_R$ $\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25 V_I - 13.1}{2.3} \right) \right]$	<p>Elle est utilisable pour tous les types de bâtiment : maçonnerie, béton armé, structure métallique, structure bois</p>
VULNERALP (2005)	<p>Cette approche permet d'attribuer un indice de vulnérabilité global à la construction étudiée ainsi que leur degré d'endommagement</p>	<p>Endommagement = [0,5 + 0,45. Arctan (0,55 (I - 10,2 + 0,05. VI)]</p>	<p>Cette méthode a été établie pour être mise en œuvre soit à l'échelle d'une ville soit à l'échelle d'un groupe de bâtiment</p>
CETE Méditerranée (1990)	<p>Recenser les indices de vulnérabilité et donner une indication sur le comportement des constructions plus au moins favorable sous les sollicitations sismiques</p>	$V = V_1 + V_2$ <p>Telque :</p> $V_1 = V_A + V_M + V_E$	<p>Concernant le V2 on le calcul à partir du tableau I.2</p>
HAZUS (FEMA 154)	<p>Attribuer au bâtiment selon son système constructif une note associée au risque structurel, elle varie entre 1.6 et 7.4. Elle correspond à la probabilité d'effondrement d'un bâtiment</p>	$S = - \log_{10} (\text{probabilité d'effondrement})$ <p>$P[ds/Sd]=\Phi(\beta ds, Sd, ds)$: fonction de la courbe de vulnérabilité et d'endommagement.</p>	<p>C'est une méthode rapide d'évaluation de la vulnérabilité sismique. Il est recommandé de procéder au diagnostic détaillé du bâtiment avant l'évaluation de sa vulnérabilité.</p>

Tableau 7 : Synthèse des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

4.Conclusion :

Dans ce chapitre, on a pu évaluer la vulnérabilité et le risque d'endommagement sismiques de quelques bâtis de la ville de MOSTAGNEM. Cette étude nous a permis de d'avoir une idée sur le type de construction à bon comportement sismique, ainsi que sur les facteurs qui affecte la vulnérabilité sismique des bâtiments. On a constaté que les paramètres qui affecte le plus la vulnérabilité des bâtiments sont : la typologie du bâtiment, le type de fondation adopté, la topographie du sol, la hauteur du bâtiment et la forme du bâtiment.

Pour faire ce travail on a choisi la méthode RISK_UE .

METHODOLOGIE D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE



1. Approche du projet européen RISK-UE(2003)

Cette méthodologie a été développée par les institutions partenaires du projet RISK-UE dans le cadre du Works Package 4 relatif à l'évaluation de la vulnérabilité du bâti courant. Ce projet avait pour but d'analyser le risque sismique à l'échelle d'une ville, et d'aboutir à la création d'une méthodologie permettant l'évaluation des risques [10].

L'indice de vulnérabilité du bâtiment (VI) est compris entre 0 et 1. Les valeurs proches de 1 correspondent aux bâtiments les plus vulnérables. Il s'obtient en faisant la somme de 3 termes :

Où VI^* : fonction de la typologie du bâtiment.

ΔV_m : représentant l'influence des différents facteurs pouvant modifier le comportement,

ΔV_R : prenant en compte le jugement de l'expert concernant les particularités régionales de la vulnérabilité pressentie lors de l'observation

Le terme VI^* est donné par une matrice dans laquelle un indice de vulnérabilité est affecté à chaque type de bâtiment. Le terme ΔV_m est évalué en sommant les coefficients associés à chaque facteur de vulnérabilité observé sur le bâtiment. Le terme ΔV_R est laissé à l'appréciation de l'enquêteur.

1.1. Procédure de la méthode

VI^* est donné par une matrice regroupant 23 typologies de bâtiment, la matrice propose un VI^* probable et les termes $[VI-, VI+]$ (limite de l'intervalle plausible de VI), et $[VI_{min}, VI_{max}]$ (limites inférieur et supérieur de VI).

En sommant VI^* aux ΔV_m et ΔV_r , on obtient une marge d'erreur sur l'indice global (VI).

A partir de cet indice VI on peut évaluer la répartition des probabilités de dommage sur le bâtiment en établissant des courbes de vulnérabilité puis des courbes de fragilité.

Pour un groupe de n bâtiments : $VI^* = \sum t \cdot qt \cdot VI^*$

qt : le pourcentage de bâtiments appartenant à une catégorie spécifique.

Données nécessaires

- Typologie des bâtiments : 23 types
- L'état d'entretien (bon ou mauvais).
- Nombre d'étages : 1 à 2 : peu élevé.
3, 4,5 : moyennement élevé.
6 et plus : élevé.
- Système structural : Épaisseur et distance entre les murs.
Connexion entre les éléments horizontaux et verticaux
- . - Étages souples.
- Irrégularité en plan et en élévation et éléments résistants superposés.
- Contreventement
- . - Interaction entre bâtiments : position dans l'ilot.
- Interaction entre bâtiments : élévation.
- Fondation : niveaux différents
- . - Morphologie du sol : pente et escarpement.

1.2. Données et compétences nécessaires

- **Données nécessaires**

Les fiches de relevé des facteurs de vulnérabilité étant très sommaires, un simple **examen visuel extérieur suffit.**

- **Compétences à mobiliser**

Pour établir la fiche de relevé, peu de connaissances en bâtiment sont nécessaires. Une des difficultés est de déterminer la typologie du bâtiment et de connaître la signification de certains termes spécifiques. (« Poteaux courts » ; « transparence »). Certains critères restent cependant d'accès problématique comme par exemple l'efficacité de la connexion entre éléments horizontaux et verticaux pour des bâtiments en maçonnerie. Cette partie de la méthode pourrait donc être mise en œuvre par un technicien généraliste après une formation.

Un autre problème consiste à établir le terme ΔV_r , dont la valeur sert à ajuster l'indice de vulnérabilité obtenu, en fonction de l'appréciation de l'enquêteur. Celui-ci doit donc avoir

des compétences dans le domaine de la conception parasismique. Cette partie de la méthode devra finalement être mise en œuvre par un technicien spécialisé en génie parasismique.

L'évaluation de la répartition des probabilités de dommage sur le bâtiment est une partie rapide et facile puisque l'ensemble des courbes de vulnérabilité et de fragilité possibles peut être programmé sur un outil de type tableur. Cette étape de la méthode est donc réalisable par un technicien généraliste

1.3. Évaluation qualitative de la présomption de vulnérabilité

La méthode RISK-UE de niveau 1 peut se décomposer en trois étapes :

✓ **Étape 1 : Estimation de l'indice de vulnérabilité VI**

1- Déterminer l'indice VI* fonction de la typologie du bâtiment

		Description	Valeurs de VI représentatives				
			VI _n ^{mi}	VI ⁻	VI [*]	VI ⁺	VI ^{max}
Structure en maçonnerie	M1	Murs porteurs en maçonnerie de pierres					
	M1.1	Moellons	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M1.2	Pierre sappareillées	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M1.3	Pierres de taille	0.30	0.49	0.616	0.793	0.86
	M2	Adobe	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
	M3	Murs porteurs en maçonnerie non armé					
	M3	Planchers bois	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M3.1						
	M3.2	Voûtes en maçonnerie	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
	M3.3	Planchers avec poutrelles métalliques et Maçonnerie	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
	M3.4	Planchers en béton armé	0.30	0.49	0.616	0.793	0.86
	M4	Murs porteurs en maçonnerie armée ou Confine	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
	M5	Maçonnerie globalement renforcée	0.30	0.49	0.694	0.953	1.02

Structure en béton armé	RC1	Structures poteaux-poutres en béton armé	-0.02	0.047	0.442	0.80	1.02
	RC2	Murs porteurs en béton armé	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
	RC3.1	Système poteaux/poutres avec mure de remplissage En maçonnerie non armé					
	RC3.1	Murs de remplissage en maçonnerie,	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98

		structure régulière					
	RC3.2	Structures poteaux-poutres irrégulières	0.06	0.127	0.522	0.88	1.02
	RC4	Structures mixtes en béton armé (portiques et murs)	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
	RC5	Murs préfabriqués en béton armé (tilt-up walls)	0.14	0.207	0.384	0.51	0.70
	RC6	Structures préfabriquées en béton armé	0.30	0.367	0.544	0.67	0.86
	Structure En acier	S1	Ossatures métalliques e nportique	-0.02	0.467	0.363	0.64
S2		Ossatures métalliques avec triangulation	-0.02	0.467	0.287	0.48	0.70
S3		Portiques + remplissage en maçonnerie non Armée	0.14	0.33	0.484	0.64	0.54
S4		Portiques + murs en béton armé coulés en Place	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54
S5		Structure mixte béton-acier	-0.02	0.257	0.402	0.72	1.02
Bois	W	Structures en bois	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

Tableau 8 : Détermination de l'indice VI* fonction de la typologie du bâtiment

La matrice donne également les termes V^- et V^+ limites de l'intervalle plausible des valeurs de V ainsi que les valeurs de V_I^{\min} et V_I^{\max} limites inférieure et supérieure des valeurs possibles de V_I .

1.1 Déterminer le facteur ΔV_m représentant l'influence de paramètres autres que la typologie sur la réponse de la structure aux sollicitations sismiques.

Le facteur ΔV_m est calculé comme la somme de facteurs de vulnérabilité

$$\Delta V_m = \sum V_m$$

V_m correspondant aux différents paramètres identifiés.

La méthode Risk-UE de niveau 1 comme présentée dans le Work Package 4 donne des valeurs de V_m seulement pour les structures en maçonnerie (M) et celle en béton armé (RC). Les structures métalliques (S) et en bois (W) ne sont pas traitées.

➤ Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en maçonnerie

Facteurs de vulnérabilité	Paramètres	Valeurs de V_m
État d'entretien	Bon	-0.04
	Mauvais	+0.04
Nombre d'étages	Construction peu élevée (1 ou 2)	-0.02
	Moyennement élevée (3, 4 ou 5)	+0.02
	Élevée (6 étages ou plus)	+0.06
Système structural	Épaisseur des murs Distance entre les murs Connections entre les murs (tirants, cornières d'assemblage) Connections entre éléments horizontaux et verticaux (diaphragmes)	-0.04 à +0.04
Étage souple	Transparence, démolition	+0.04
Irrégularité en plan		+0.04
Irrégularité en élévation		+0.02
Éléments résistants superposés		+0.04
Toiture	Poids de la toiture + poussée sur les murs Connections de la toiture	+0.04
Interventions de confortement		-0.08 à +0.08
Éléments asismiques	Barbacanes, contreforts, arcs	
Interaction entre bâtiments :	Au centre	-0.04
	En coin	+0.04

position dans l'îlot	En tête d'îlot	+0.06
Interaction entre bâtiments : Elevation	Planchers décalés	+0.02
	Bâtiments de hauteurs différentes	-0.04 à +0.04
Fondations	Fondations à des niveaux différents	+0.04
Morphologie du sol	Pente	+0.02
	Escarpement	+0.02

Tableau 9: Détermination de l'indice V_m fonction de la typologie du bâtiment

➤ Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en béton armé

Facteurs de vulnérabilité		Niveau de la réglementation		
		Pas de code PS ou niveau bas de protection PS	Niveau de protection PS moyen	Haut niveau de protection PS
Niveau de code		+0.16	0	-0.016
Mauvais entretien		+0.04	+0.02	-0.04
Nombre d'étages	Faible (1 ou 2)	-0.04	-0.04	-0.04
	Moyen (3, 4, ou 5)	0	0	0
	Élevé (6 ou plus)	+0.08	+0.06	+0.04

Irrégularité en plan	Forme	+0.04	+0.02	0
	Torsion	+0.02	+0.01	0
Irrégularité en elevation		+0.04	+0.02	0
Poteaux courts		+0.02	+0.01	0
Fenêtre arquée (bow window)		+0.04	+0.02	0
Joint parasismique insuffisant		+0.04	0	0
Fondations	Semelles filantes	-0.04	0	0
	Semelles filantes avec	0	0	0

	longrines			
	Semelle sisolées	+0.0 4	0	0
Morphologie du sol	Pente	+0.0 2	+0.02	+0.02
	Escarpe- ment	+0.0 4	+0.02	+0.04

Tableau 10: Valeurs des facteurs V_m pour les bâtiments en béton armé

1.2 Évaluer le facteur V_R de vulnérabilité régionale

Ce facteur permet de prendre en compte les propriétés de typologies spécifiques à un niveau régional. Son évaluation se fait sur la base d'un jugement d'expert ou sur l'interprétation de données de vulnérabilité existantes (retour post-sismique par exemple).

1.3 Calculer l'indice de vulnérabilité VI .

L'indice de vulnérabilité VI est la somme de l'indice typologique V_I^* , du facteur ΔV_m et du facteur ΔV_R de vulnérabilité régionale.

$$VI = V_I^* + \Delta V_m + \Delta V_R$$

Etape 2 : Estimation du dommage moyen μ_D

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25 V_I - 13.1}{2.3} \right) \right]$$

Cette équation a été établie selon les graphes suivants :

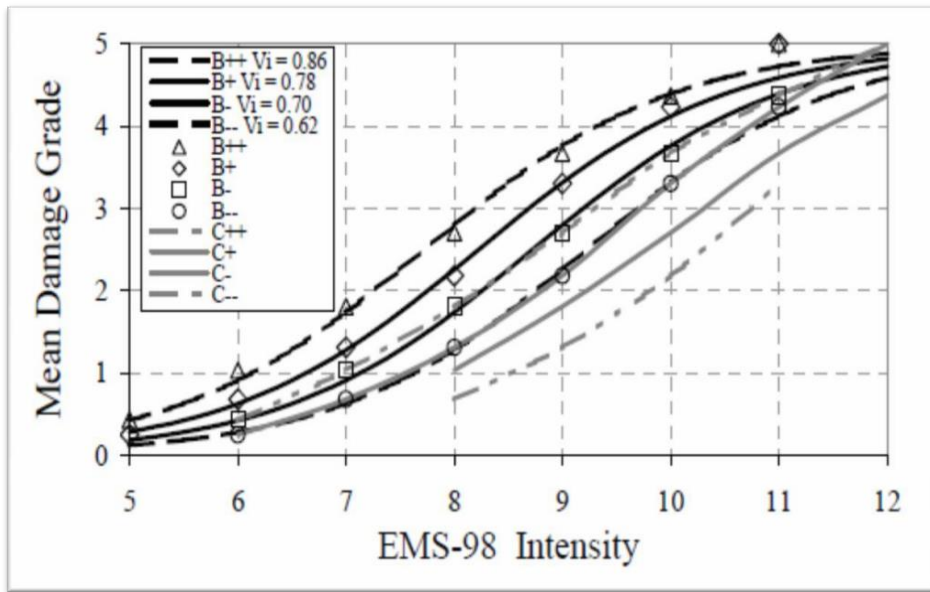


Figure 3.1 : Répartition des dommages moyens en fonction des intensités

L'intensité macrosismique I et l'échelle des degrés de dommage à laquelle se rapporte **Md** sont celles développées dans l'EMS98.

Etape 3 : Estimation de la distribution de dommages : (Matrice de probabilité de dommages et courbe de fragilité)

La distribution des dommages est calculée en utilisant une distribution bêta.

Densité de probabilité

$$P_{\beta}(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r) \Gamma(t-r)} \frac{(x-a)^{r-1} (b-x)^{t-r-1}}{(b-a)^{t-1}}$$

Fonction de distribution cumulée :

$$P_{\beta}(x) = \int_a^x p_{\beta}(\varepsilon) d\varepsilon$$

Avec les paramètres :

$$\begin{aligned} a &= 0 & t &= 8 \\ b &= 6 & r &= t (0.007 \mu_D^3 - 0.052 \mu_D^2 + 0.2875 \mu_D) \end{aligned}$$

Probabilités discrètes :

La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k s'écrit sous la forme :

$$p_k = P_{\beta}(k+1) - P_{\beta}(k)$$

$$P(D \geq D_k) = 1 - P_{\beta}(k)$$

Courbe de fragilité :

La courbe de fragilité définissant la probabilité d'atteindre ou de dépasser un niveau de dommage k est obtenue directement de la fonction de distribution cumulée.

DIAGNOSTIC DES MOSQUEES EXISTANTES DANS LA VILLE DE MOSTAGANEM



1. Introduction

La problématique du bâti existant vulnérable en zone sismique suscite de plus en plus la préoccupation vis-à-vis du danger qu'il représente lors d'un séisme. La prévention et le maintien d'un risque acceptable ne peut être envisagé que par la réhabilitation parasismique du bâti existant.

Notre pays connaît des secousses d'importance modérée. Cependant, il n'est pas à l'abri d'un grand tremblement de terre. La ville de MOSTAGANEM n'est pas épargnée par le phénomène sismique. Selon les Règles Parasismiques Algériennes RPA99/2003, la région est classée en zone « IIa ». Des exemples plus récents montrent la vulnérabilité importante des villes algériennes vis-à-vis du risque sismique. En effet, des dégâts importants ont été constatés lors des tremblements de terre d'El-Asnam (Chlef actuellement) en 1980, Constantine en 1985, Ain Timouchent en 1999 et celui de Zemmouri en 2003. De nombreuses constructions effondrées ou fissurées et beaucoup de vies humaines perdues.

Il est par conséquent primordial de se préoccuper de la problématique du risque et de la vulnérabilité sismique à MOSTAGANEM.

Ce chapitre se déroule en deux phases : une première phase de travail sur le terrain durant laquelle les informations les plus pertinentes concernant les mosquées composantes la ville de MOSTAGANEM ont été récoltées, puis une deuxième phase durant laquelle la méthode de calcul est implémentée et utilisée (méthode RESK-U) afin d'estimer la vulnérabilité sismique de ces constructions et leur comportement prévisible lors d'un séisme.

L'organigramme de la figure II.1 montre la méthodologie utilisée pour réaliser cette étape de l'étude.

1.1 Enquêtes et recueil d'informations

Pour réaliser cette étude, nous avons dû contacter et rendre visite à plusieurs institutions et acteurs concernés par le bâti existant à MOSTAGANEM. Ces enquêtes et visites nous ont permis de collecter plusieurs informations et données.

La méthodologie de recherche d'informations est basée sur les points suivants :

- Recherche et examen de documents disponibles (plans, coupes, croquis, données géotechniques, données géométriques, etc.).
- Entretiens auprès de personnes et acteurs ayant participé à la construction ou connaissant la typologie de la construction en question.
- Relevés de facteurs affectant la vulnérabilité : la typologie, la date de construction, la régularité en plan et en élévation, le type de sol, les défauts de conception, etc.

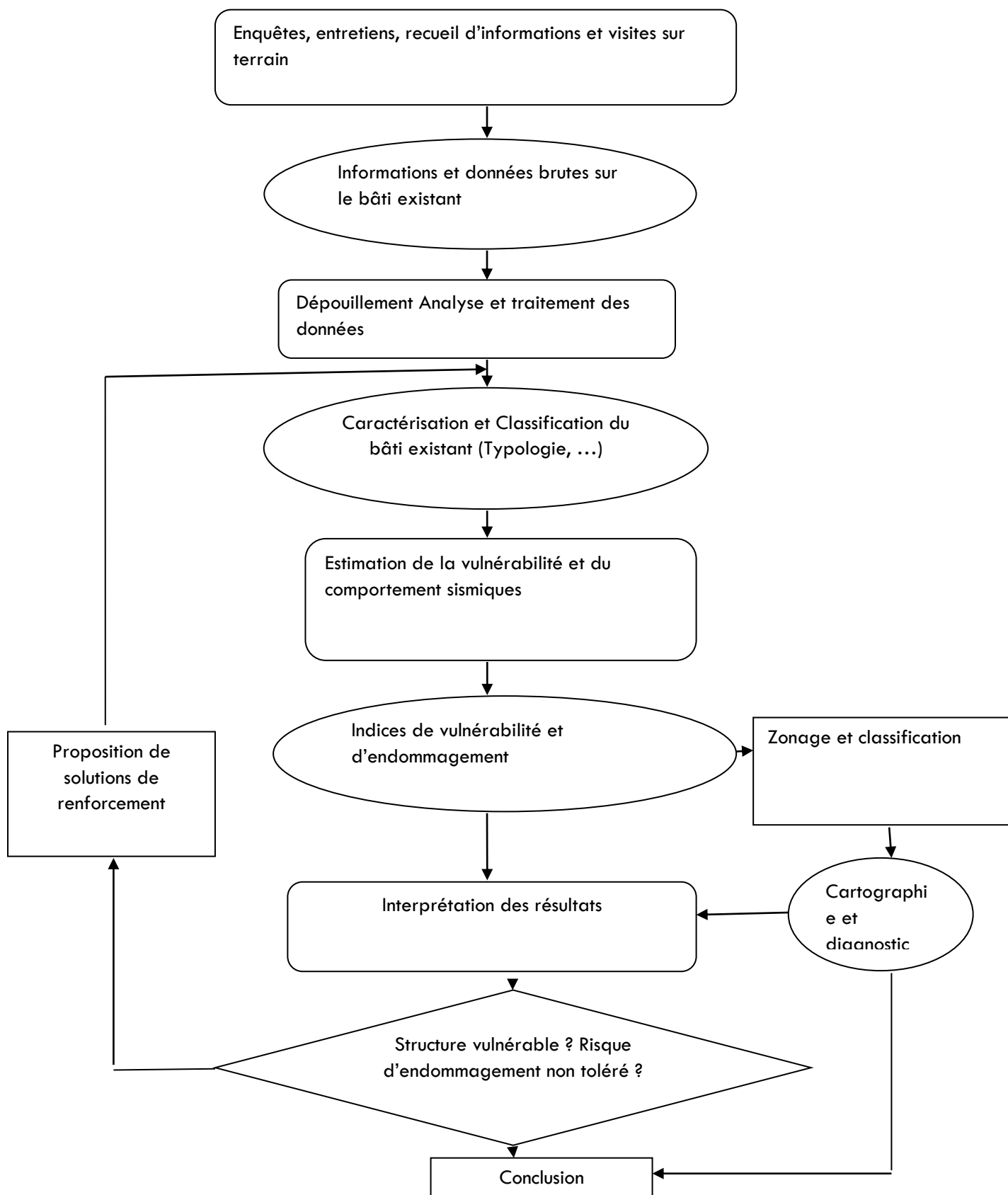


Figure 4.1.. Organigramme méthodologique.

1.2. Localisation des projets étudiés :

Les dossiers consultés couvrent quatre zones de construction à Mostaganem :

- Zone 1 : Mostaganem ville ; 24 mosquées
- Zone 2 : Salamandre ; 02 mosquées
- Zone 3 : Stidea ; 01 mosquées
- Zone 4 : Mezegran ; 02 mosquées
- zone 5 : Kheir Eddine ; 01 mosquées

Il s'agit donc de 30 mosquées consultées. Lorsqu'on est confronté à un manque d'informations, on fait des visites sur le site. Dans ce cas, les données manquantes sont complétées sur la base d'observations visuelles.

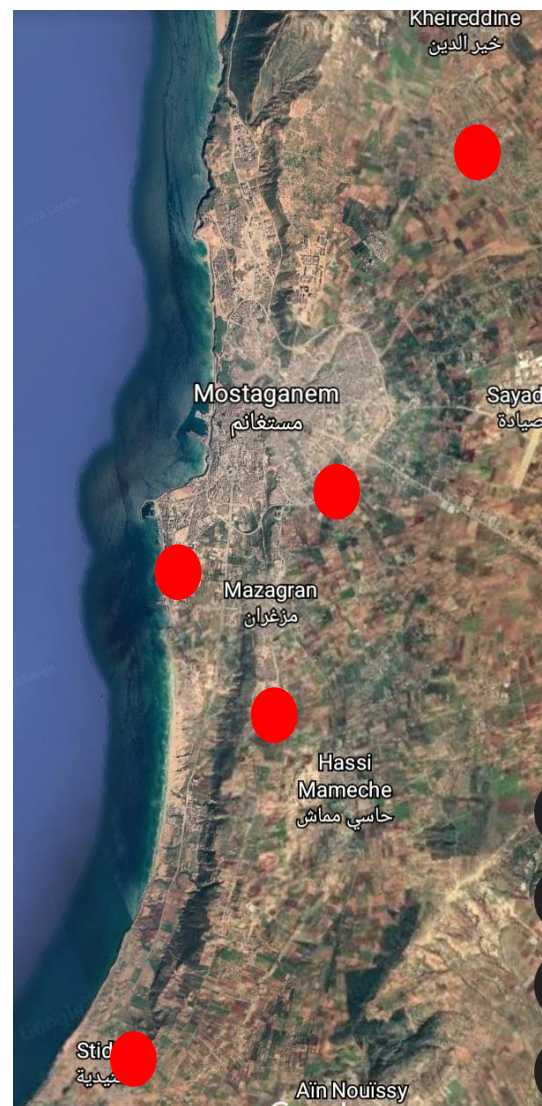


Figure 4.2. Localisation des projets étudiées

DIAGNOSTIC DES MOSQUEES EXISTANTES DANS LA VILLE DE MOSTAGANEM

Les mosquées consultées sont présentées dans le tableau suivant :

N°	Mosquées	Surfaces (m ²)	Date De Construction
01	Mosquée Tobana	1540	742/1540•
02	Mosquée Qobae	5003	1996/08/09
03	Mosquée Salah EddineAl Ayoubi	250	1968
04	Mosquée Badre	794	/
05	Mosquée Sidi Yahya	80	العهد العثماني
06	Mosquée Outmane IbnAffan	559	07/1990
07	Mosquée El Islah	714	09/2002
08	Mosquée Sidi Allal Emhamed	161	1964
09	Mosquée Elhosine Ibn Ali	167	24/10/2003
10	Mosquée Aiha Om Mouminin	768	1896
11	Mosquée Khadidja Om Moumin	705	1870
12	Mosquée Immam Al Ghazzali	1737	27/02/2009
13	Mosquée Zaouiyat Sidi Adda	600	2007
14	Mosquée Hamza Ibn Abde Al Moutalib	1706	/
15	Mosquée Abdrahman Ibn Awf	1203	12/01 2007
16	Mosquée Chikh Moustafa Rammassi	4538	07/1962
17	Mosquée Atawbba	1090	04/ 1947
18	Mosquée Al Rahma Stidea	935	04/07/2002
19	Mosquée Immam Alboukhari	500	02/04/1981
20	Mosquée Okba Ibn Naffie	1107	11/1981
21	Mosquée Annasre	931.3	18/07/1985
22	Mosquée Abou Horayra	2856	05/1984
23	Mosquée Al Rahma Hay Assalam	1510	26/07/2013
24	Mosquée Al Nour	420	11/2005
25	Mosquée Al Qods	5608	09/08/2013
26	Mosquée Ibn Sinna	126	13/11/2009
27	Mosquée Al Hadith	310	1964
28	Mosquée Salmane Al Farissi	250	18/04/2008
29	Mosquée Moussa Ibn Anassir	1117	1998
30	Mosquée Al Horria	2856	08/09/2005

Tableau 11 : informations sur les mosquées consultées.

1.3. Missions d'enquête sur le terrain d'étude

Les Missions d'enquête ont été menées par inspection visuelle pour identifier les sources générales de la vulnérabilité sismique des 30 mosquées existants. Pour chaque mosquée expertisée, une fiche d'enquête a été établie (Voir l'annexe) dans laquelle sont consignés les informations sur la conception technique, les conditions topographiques, le type de construction, l'âge du bâtiment, le nombre d'étages, l'histoire de la construction, les dommages et réparations ainsi que travaux d'extension.

1.4. Typologies des mosquées expertisées

Type des mosquées expertisées	Nombres des constructions	%
Mosquée en maçonnerie	07	23.33%
Mosquée en béton armé	23	76.67%
Total	30	100%



Figure 4.3 :Type des mosquées expertisées

L'échelle de la carte étant très grande, Les mosquées étudiés sont difficilement repérables. Pour remédier à ce problème, nous avons ajouté le détail correspondant à chaque mosquée :



Figure 4.4 : Mosquée Imâm Alboukhari . Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.5 : Mosquée Okba Ibn Nafie . Localisation de la zone d'étude (Google earth).

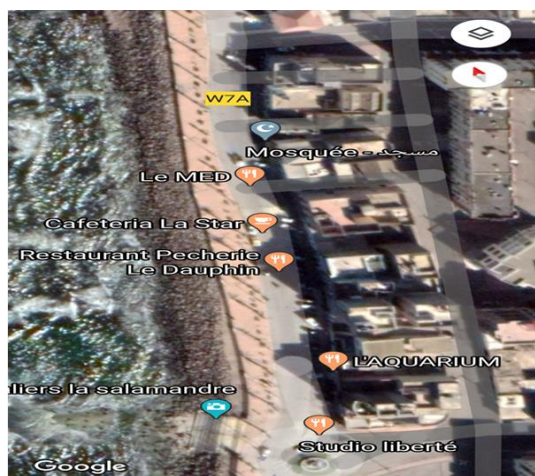


Figure 4.6: Mosquée Anasre

Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.7 : Mosquée AL Qods



Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.8 : Mosquée Abou Horayra



Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.9 : Mosquée Al Rahma (Stidea).



Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.10 :Mosquée Al Nour .

Localisation de la zone d'étude (Google earth).

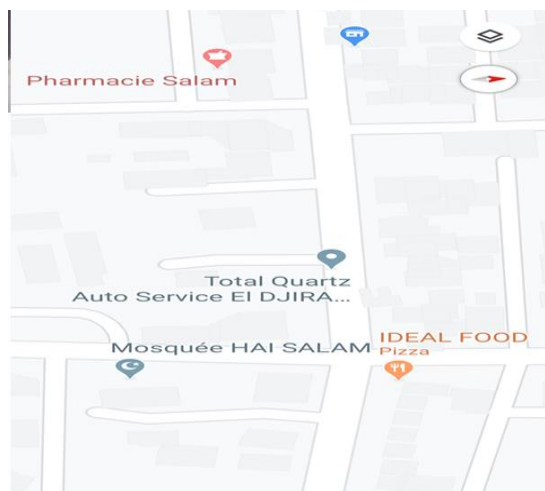


Figure4.11: Mosquée Imâm Al Ghazali .

Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.12 : Mosquée Al Rahma (Hay Asalam). Localisation de la zone d'étude (Google earth).

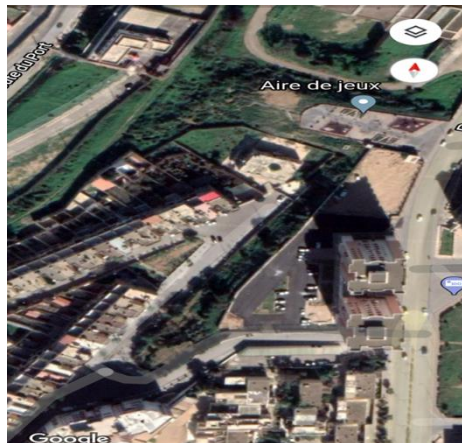


Figure 4.13 :Mosquée Ibn Sinna

Localisation de la zone d'étude (Google earth).

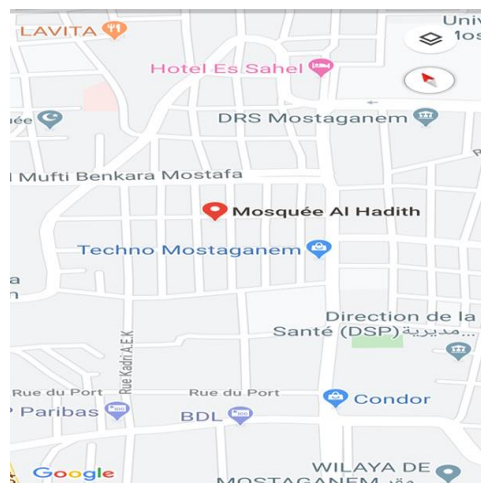


Figure 4.14 : Mosquée Al Hadith

Localisation de la zone d'étude (Google earth).

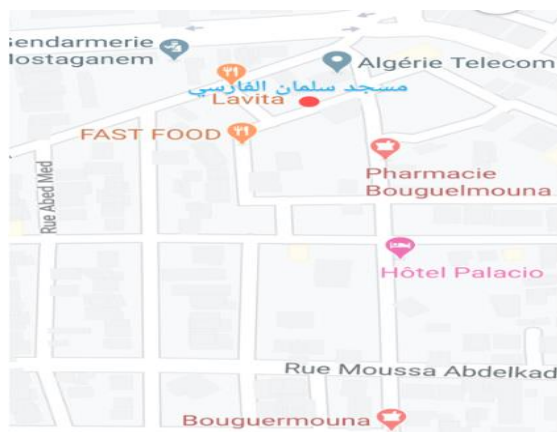


Figure 4.15 : Mosquée Salmane Al Farissi

Localisation de la zone d'étude (Google earth).

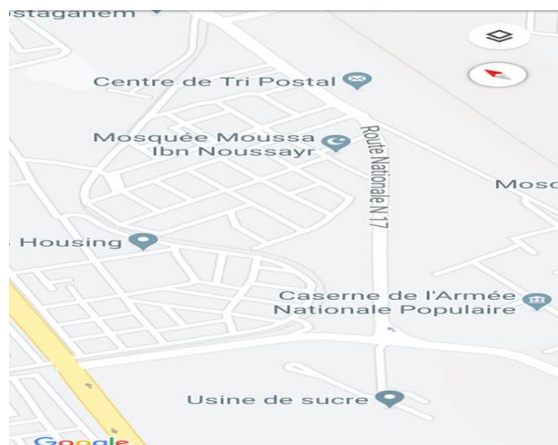


Figure 4.16 : Mosquée Ibn Noussayr .

Localisation de la zone d'étude (Google earth).

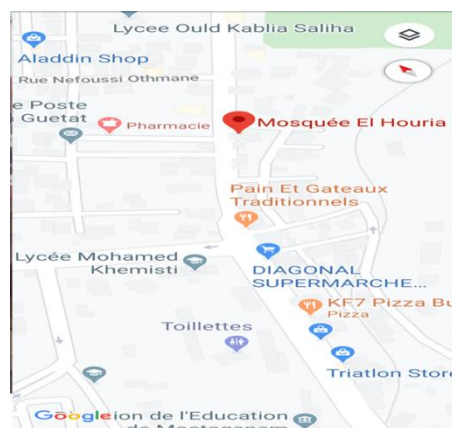


Figure 4.17 : Mosquée Al Houria

Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.18 : Mosquée Sidi Yahia

Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.19 : Mosquée Quba

Localisation de la zone d'étude (Google earth).

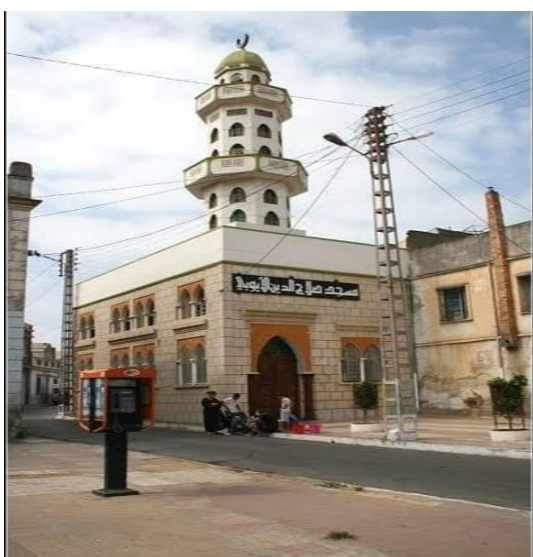


Figure 4.20 : Mosquée Salah Eddinne

Localisation de la zone d'étude (Google earth).

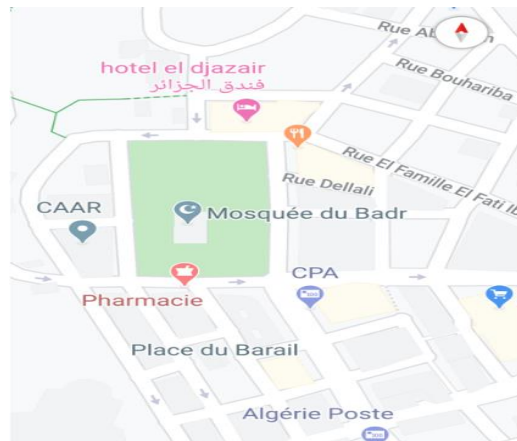


Figure 4.21 : Mosquée Badr

Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.22 : Mosquée Othmane Ben Affan Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.23 : Mosquée Al Islah Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.24: Mosquée de Tobana Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.25 : Mosquée Sidi Allal Emhamed Localisation de la zone d'étude (Google earth).

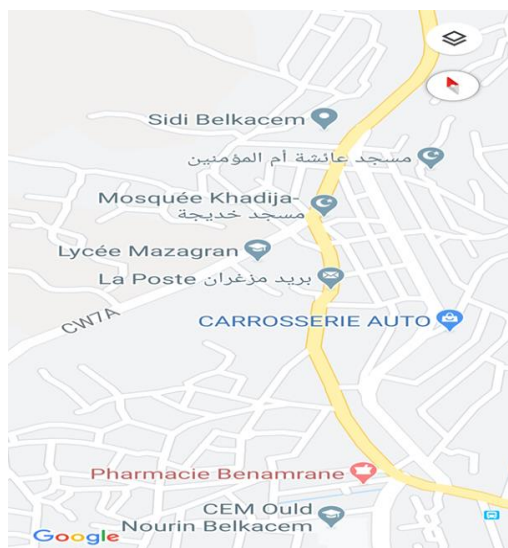


Figure 4.26 : Mosquée Khadidja Om Moumine Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.27 : Mosquée Aicha Om Mounine Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.28 : Mosquée Elhocine Ibn Ali Localisation de la zone d'étude (Google earth).

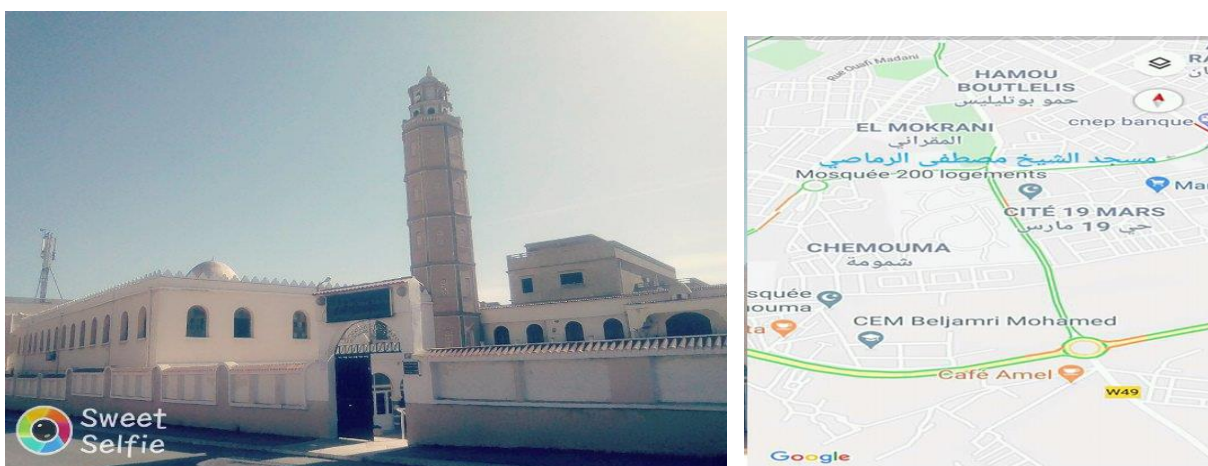


Figure 4.29 : Mosquée Chikh Moustafa Rammassi Localisation de la zone d'étude (Google earth).

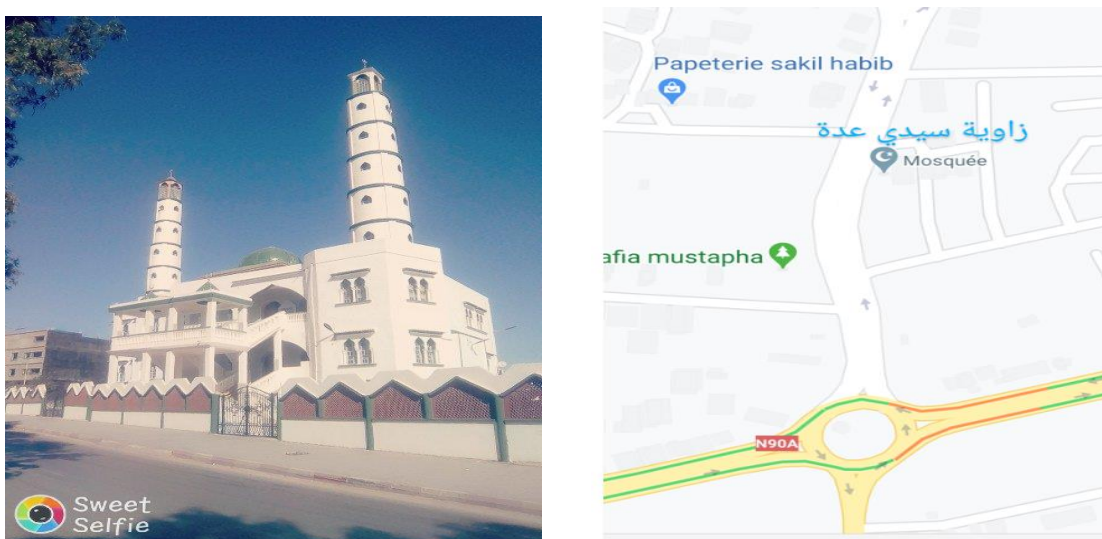


Figure 4.30 : Mosquée (Zaouiyat) Sidi Ada Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.31 : Mosquée Abd Rahman In Aouf Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.32 : Mosquée Tawbba Localisation de la zone d'étude (Google earth).



Figure 4.33 : Mosquée Hamza Ibn Abde Motalib Localisation de la zone d'étude (Google earth).

1.5. Procédure de calcul

Nous allons présenter les principaux résultats des indices de vulnérabilité que nous avons déterminés à l'aide de la méthode RISK-UE pour les différentes mosquées.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau (voir l'annexe)

1.6. Estimation de l'indice de vulnérabilité pour les mosquées étudiées :

Les résultats des valeurs de l'indice de vulnérabilité obtenus pour les mosquées sont présentés Dans le tableau suivant :

Les indices de vulnérabilité	Nombre des mosquées	%
0 0,30	0	0
0,30 à 0,60	2	6,67
0,60 à 0,80	15	50
0,80 à 1,00	13	43,33
Total	30	100

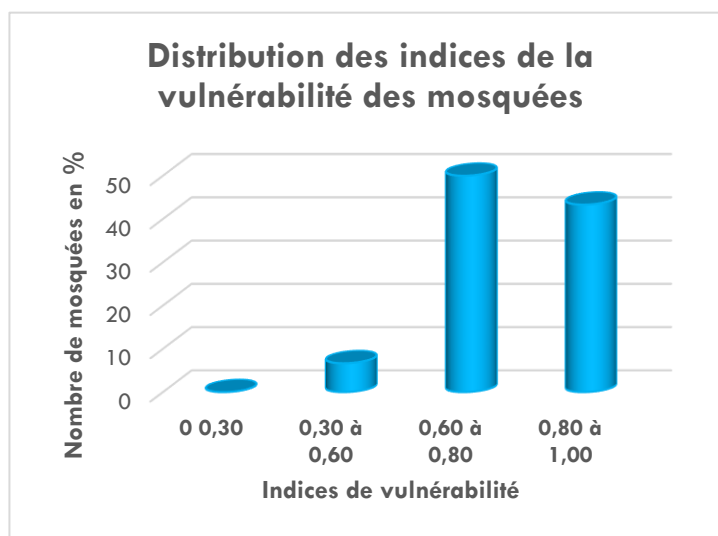


Figure 4.34: Distribution des indices de la vulnérabilité des mosquées étudiées.

D'après le tableau ci-dessus, on constate que la plupart des mosquées étudiées ont une vulnérabilité élevée (couleur jaune), et ce, grâce à leurs caractéristiques de comportement sismique relativement défavorables. C'est dû à plusieurs facteurs : d'abord leur caractère auto stable, puis leurs hauteurs importantes.

On peut aussi citer d'autres facteurs comme leurs caractéristiques de forme (irrégularités en plan et en élévation).

Les variations de l'indice de vulnérabilité pour une même typologie de bâtiments sont dues aux effets négatifs des irrégularités en plan et en élévation, à la présence d'étage souple, à la hauteur relativement importante des bâtiments (nombre d'étages), à la position défavorable dans l'ilot, au type de fondations et à la topographie du site d'implantation (présence de pente).

2 Estimation de degrés des dommages moyens et présentation des courbes de vulnérabilité

On calcule l'indice d'endommagement pour un séisme modéré d'une intensité macrosismique $I=5$, $I=6$, $I=7$... $I=12$. Les résultats obtenus sont représentés dans les graphes et tableaux suivants :

2.1 Estimation degrés des dommages moyens pour les mosquées en maçonnerie

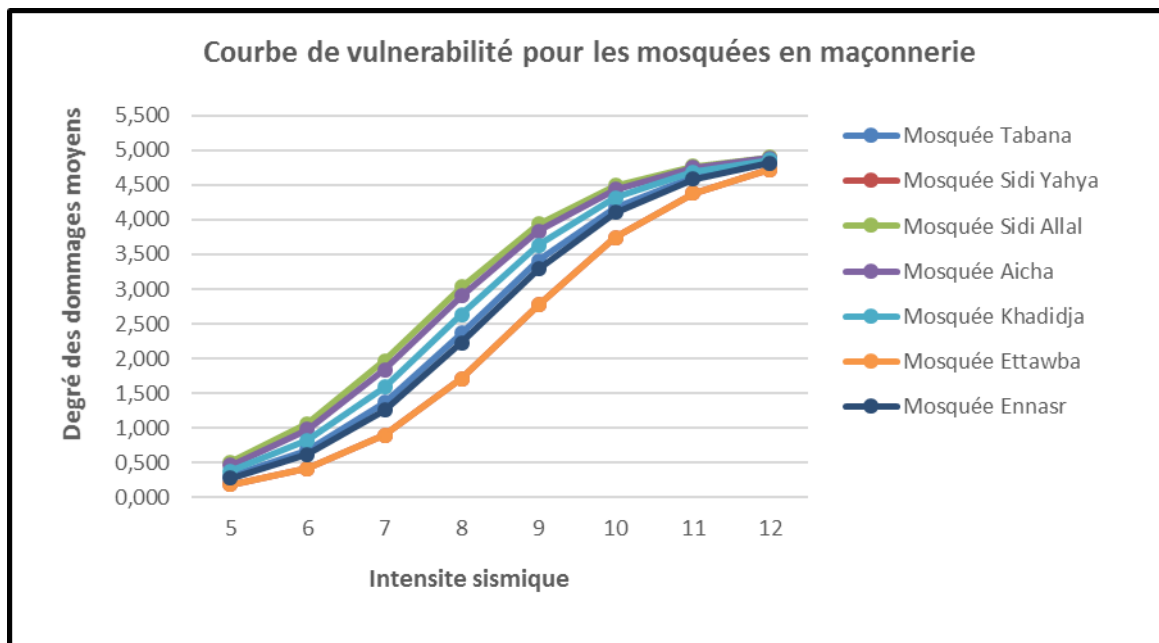


Figure 4.35 : Estimation des dommages moyens pour les mosquées en maçonnerie

2.2 Estimation de degrés des dommages moyens pour les mosquées en béton armé

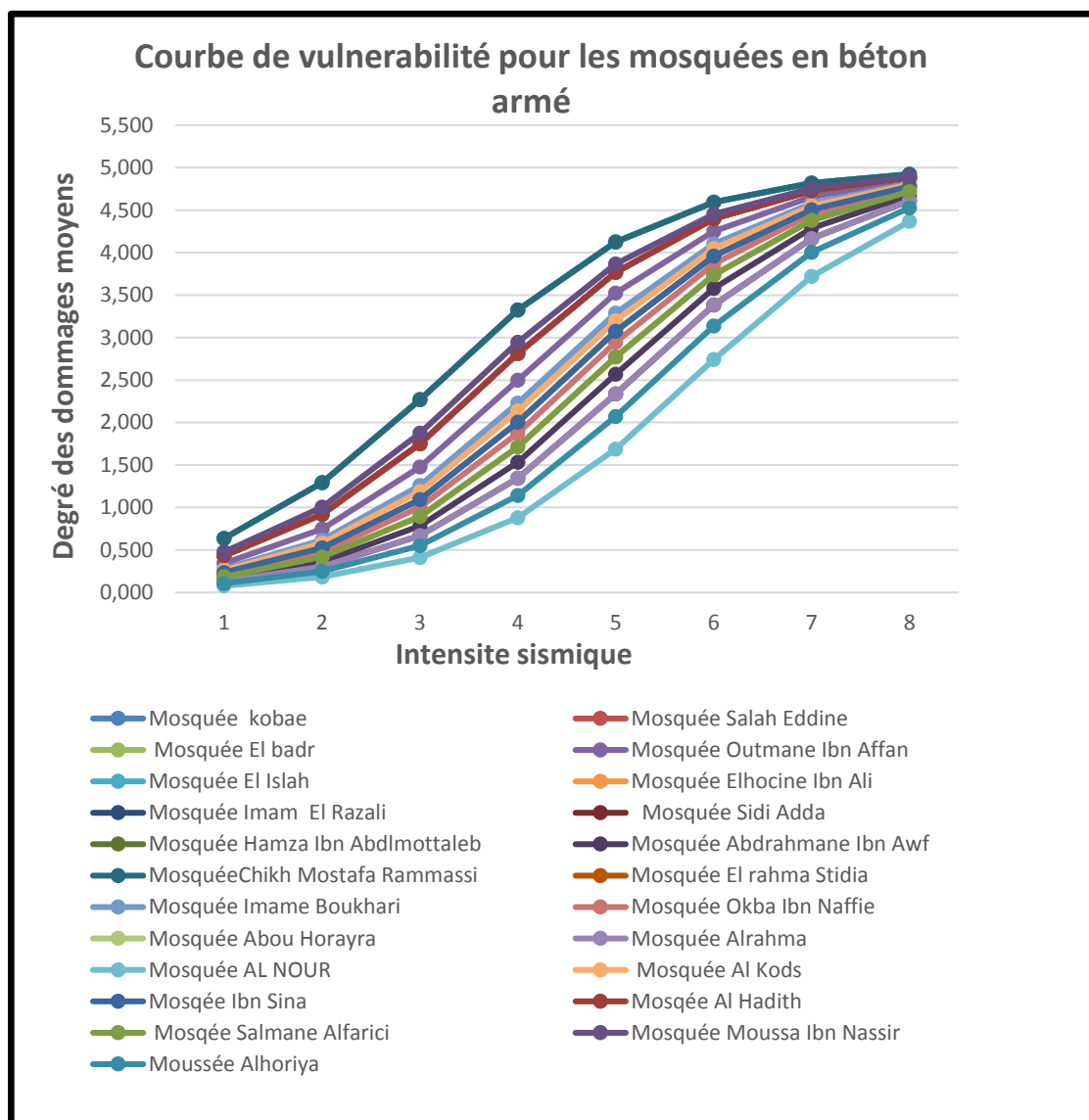


Figure 4.36 : Estimation des dommages moyens pour les mosquées en béton armé

3 Distribution des dommages et scénarios sismique de déférent intensités

3.1 Scénario sismique pour Intensité I=5

3.1.1 Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

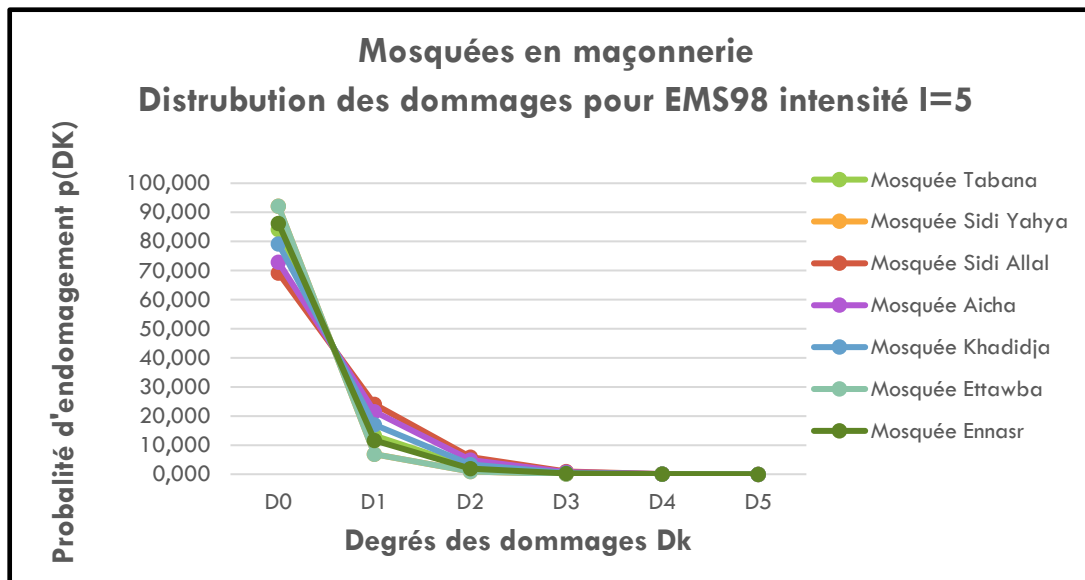


Figure 4.37: distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

3.1.2 Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

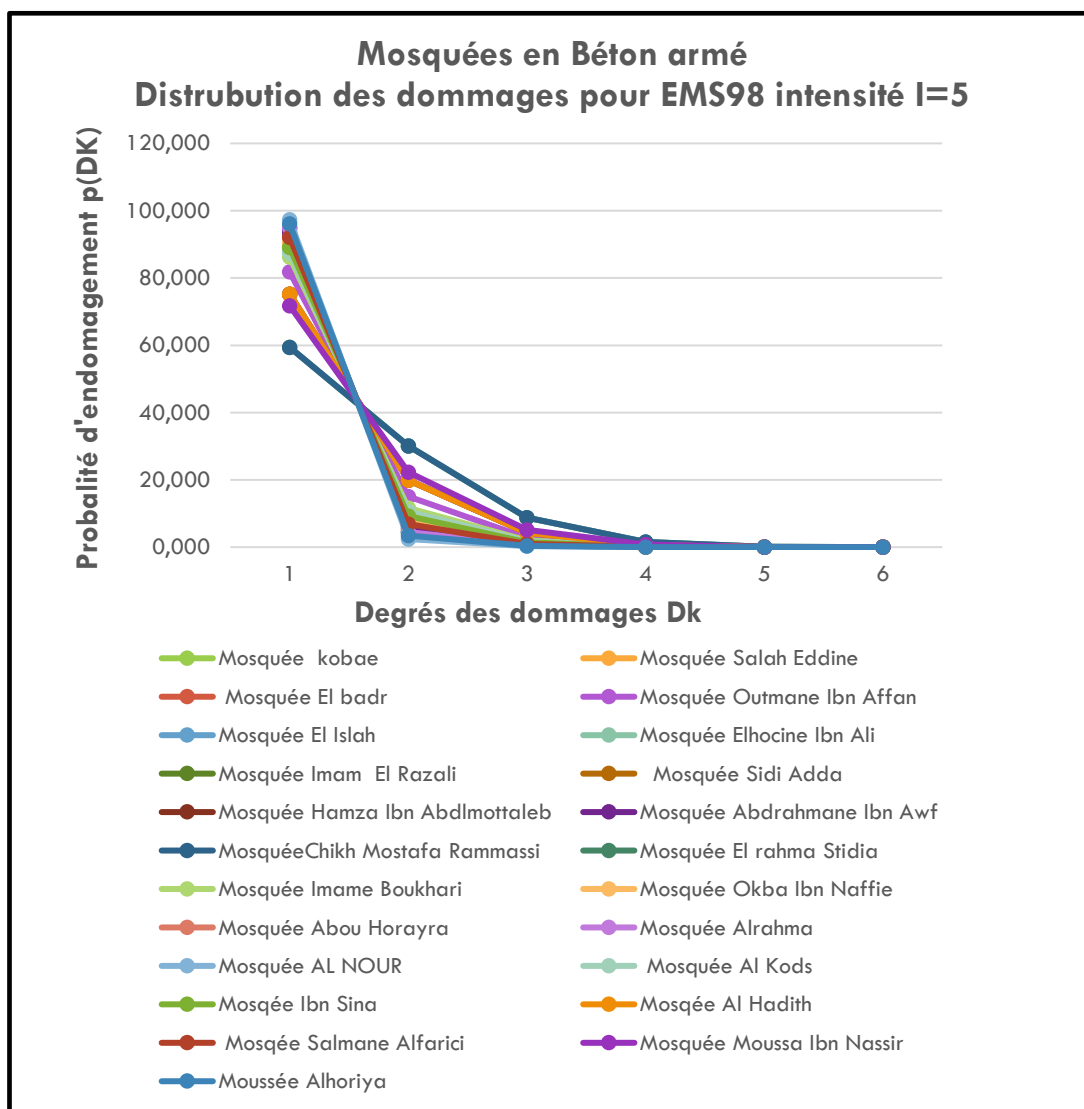








Figure 4.38: distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

3.1.3 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=5

Type des mosquées	D0	D1	D2	D3	D4	D5
						
Mosquées en Maçonnerie	07	--	--	--	--	--
Mosquées en béton armé	23	--	--	--	--	--
Totale	30	--	0	0	0	0
%	100	0	0	0	0	0

3.2 Scénario sismique pour Intensité I=6

3.2.1 Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

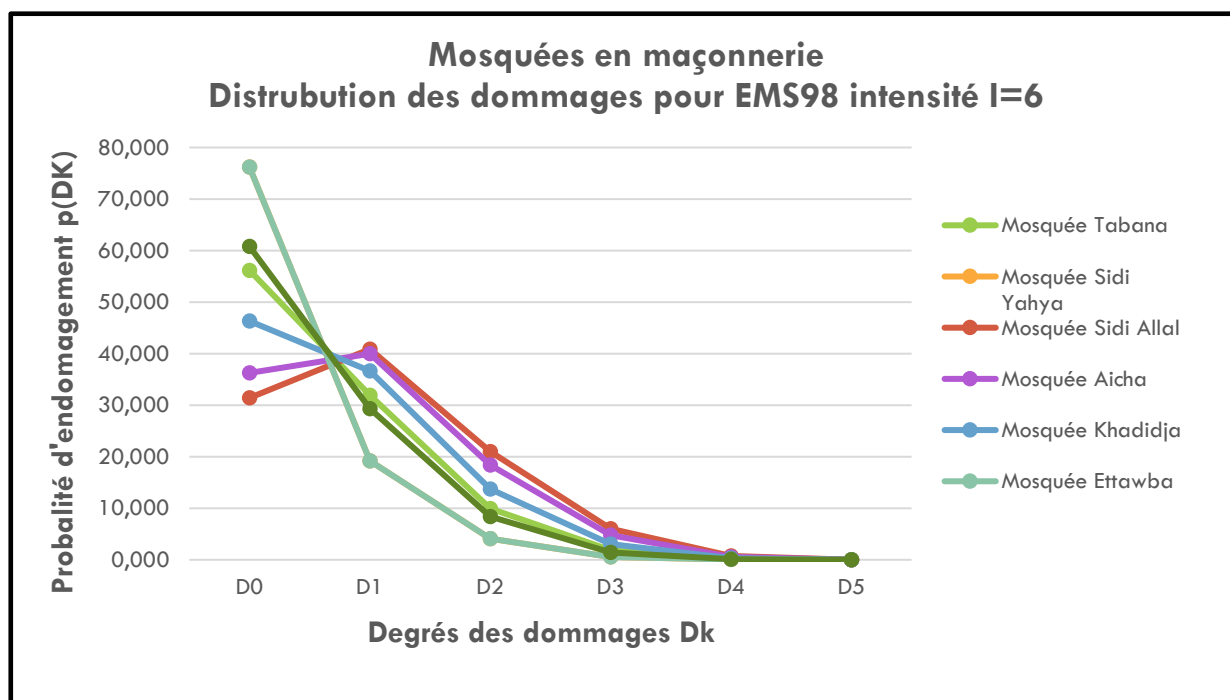


Figure 4.39: distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

3.2.2 Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

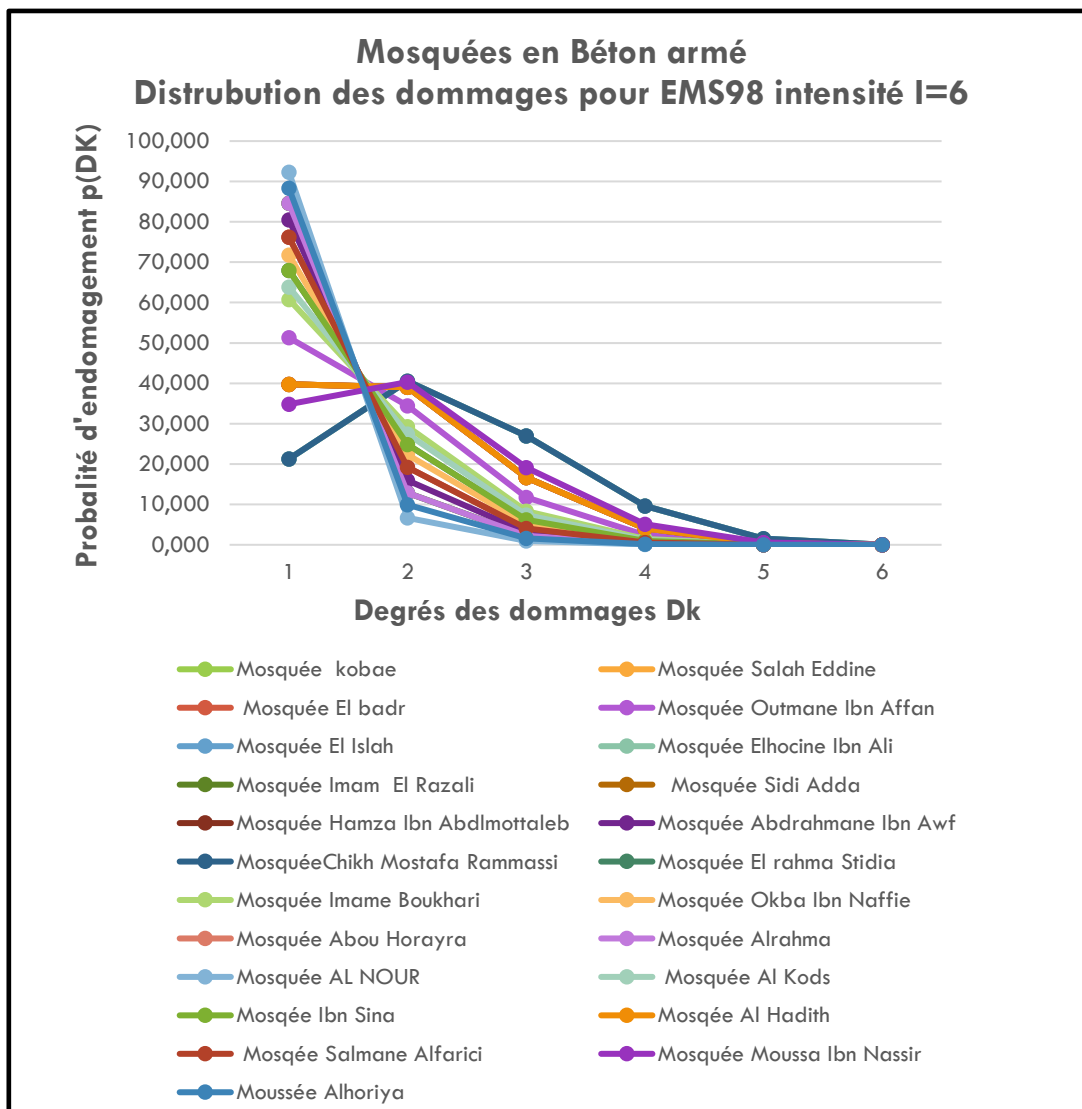


Figure 4.40 : distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

3.2.3 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=6

Type des Mosquées	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquées en Maçonnerie	05	02	--	--	--	--
Mosquées en béton armé	18	05	--	--	--	--
Totale	23	07	0	0	0	0
%	76.7	23.3	00	0	0	0

3.3 Scénario sismique pour Intensité I=7

3.3.1 Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

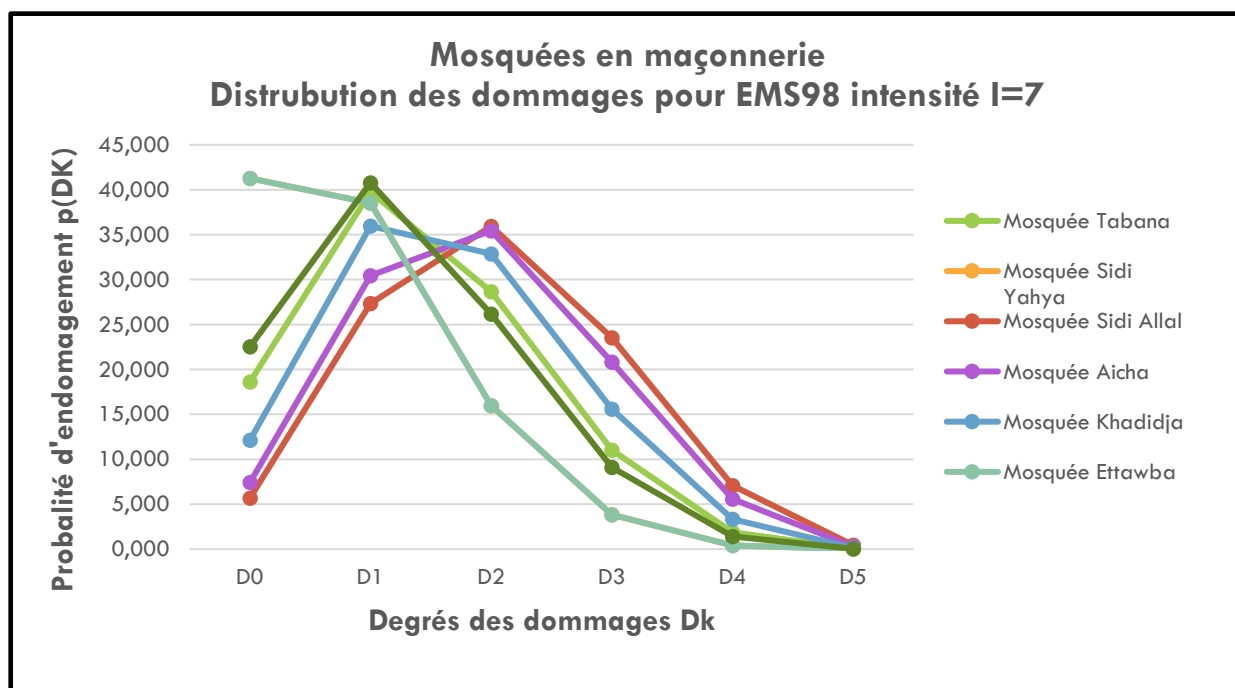


Figure 4.41: distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

3.3.2 Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

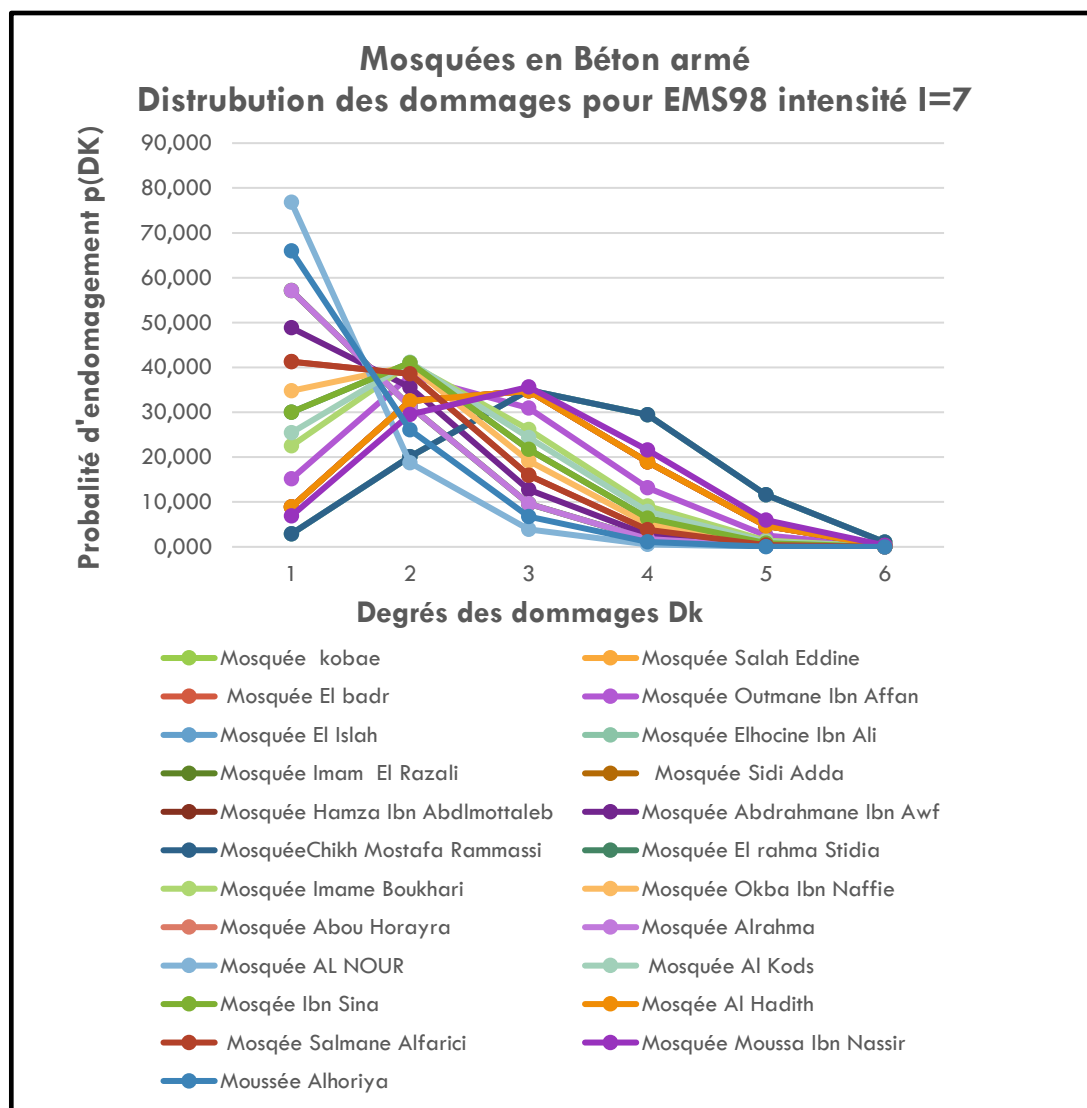


Figure 4.42 : distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

3.3.3 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=7

Type des mosquées	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquées en maçonnerie	02	03	02	--	--	--
Mosquées en béton armé	08	06	09	--	--	--
Totale	10	09	11	0	0	0
%	33.3	30	36.7	0	0	0

3.4 Scénario sismique pour intensité I=8

3.4.1 Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

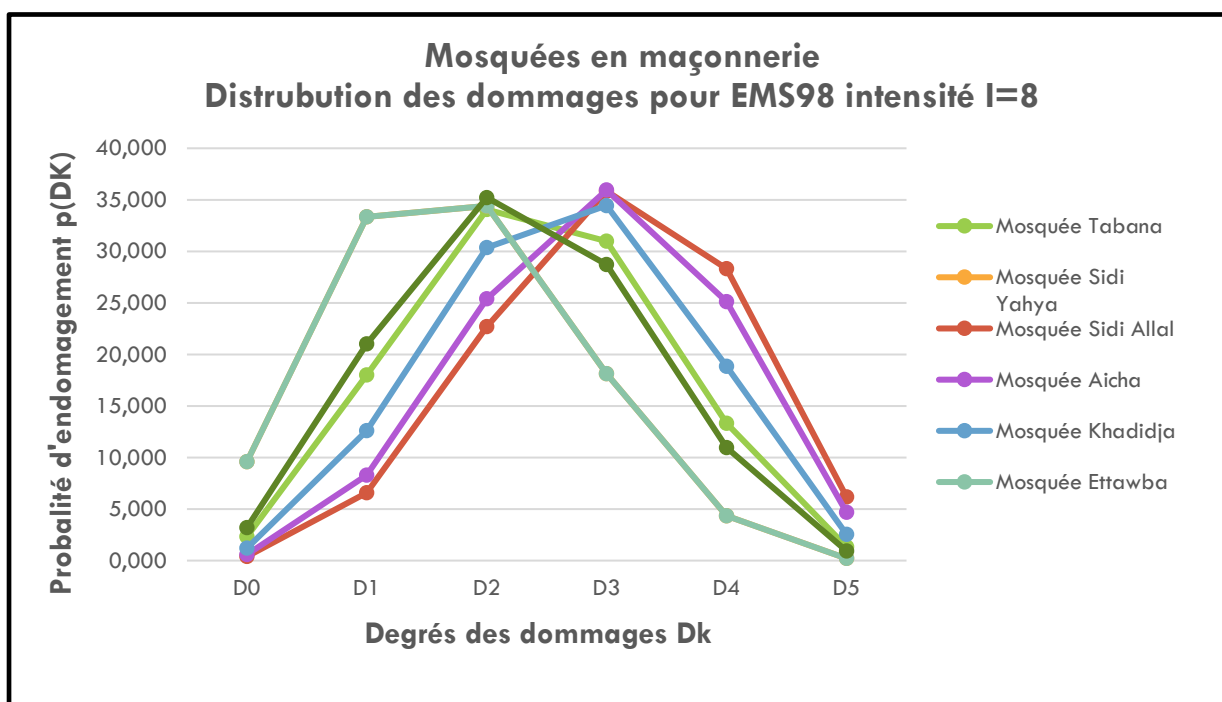


Figure 4.43 : distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

3.4.2 Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

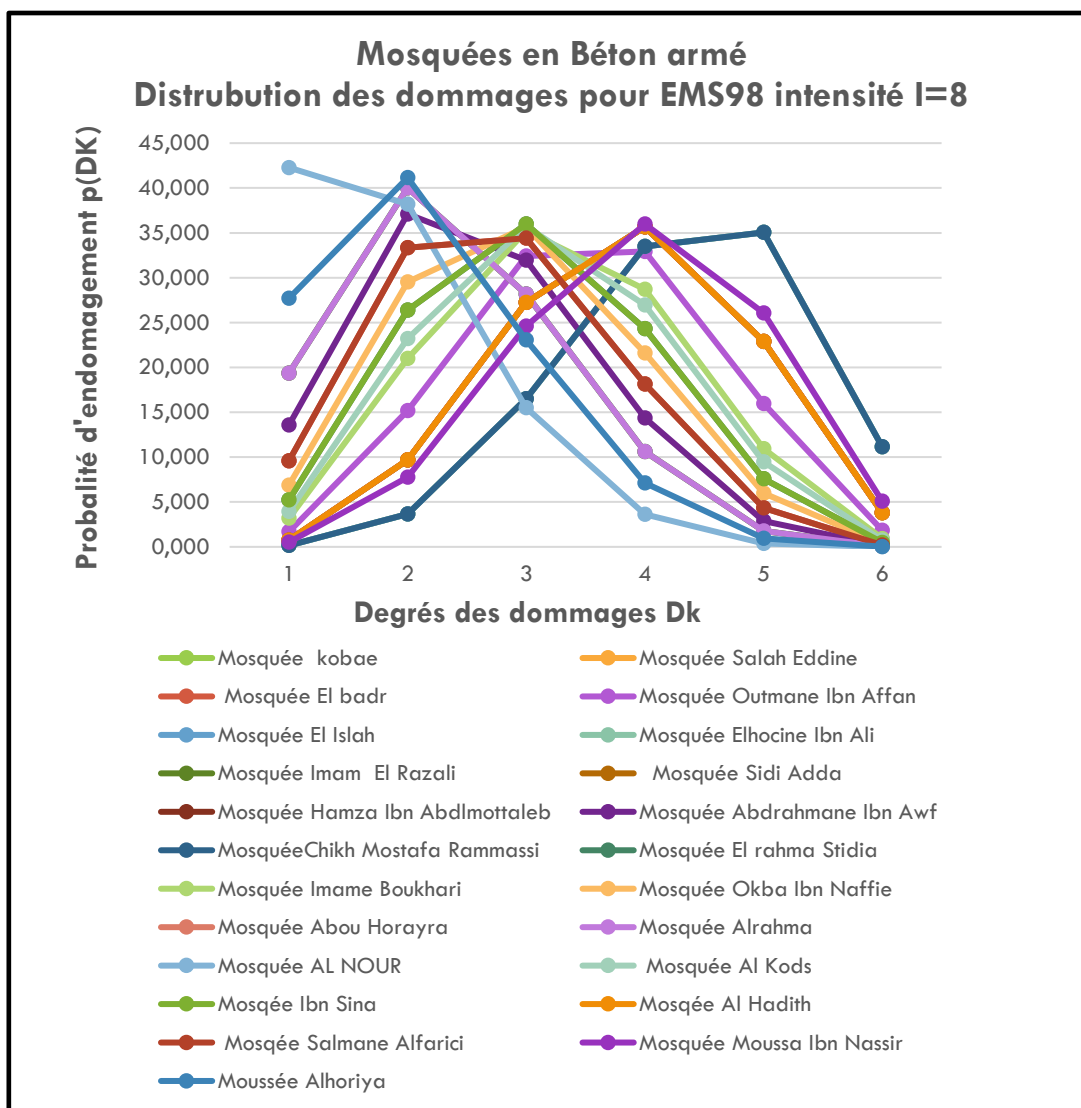


Figure 4.44: distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

3.4.3 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=8

Type des mosquées	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquées en maçonnerie	--	--	04	03	--	--
Mosquées en béton armé	--	06	07	07	03	--
Totale	0	06	11	10	03	0
%	0	20	36.7	33.3	10	0

3.5 Scénario sismique pour intensité I=9

3.5.1 Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

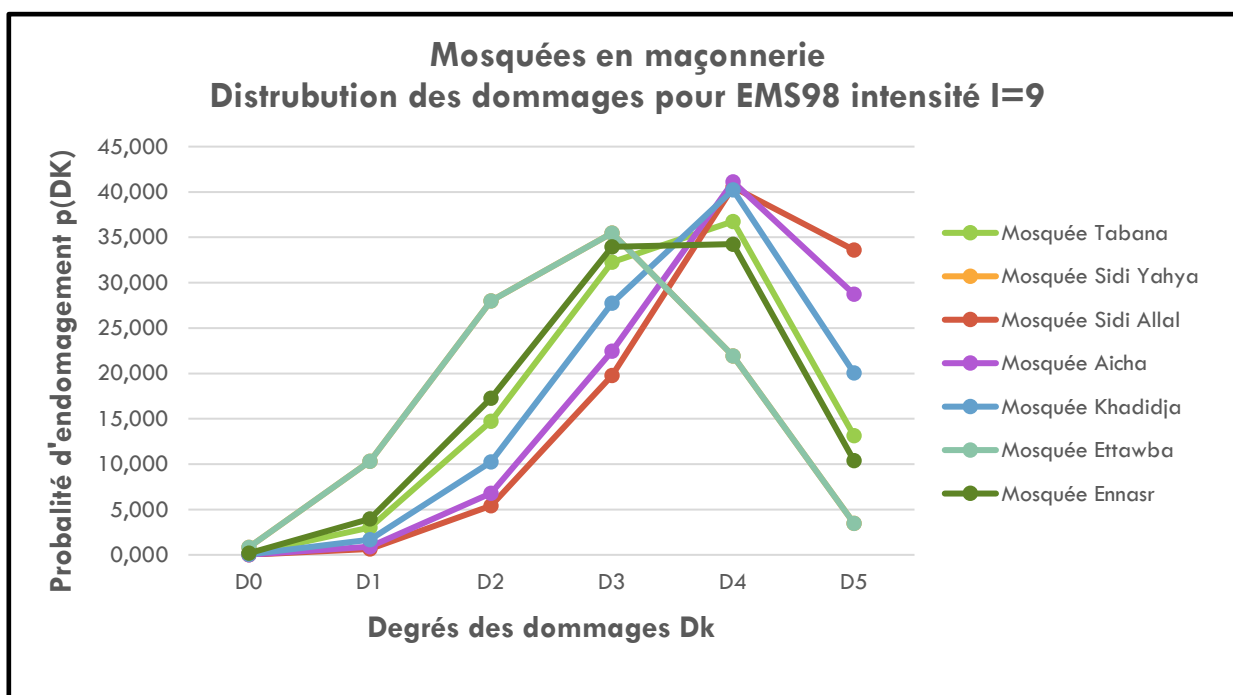


Figure 4.45: distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

3.5.2 Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

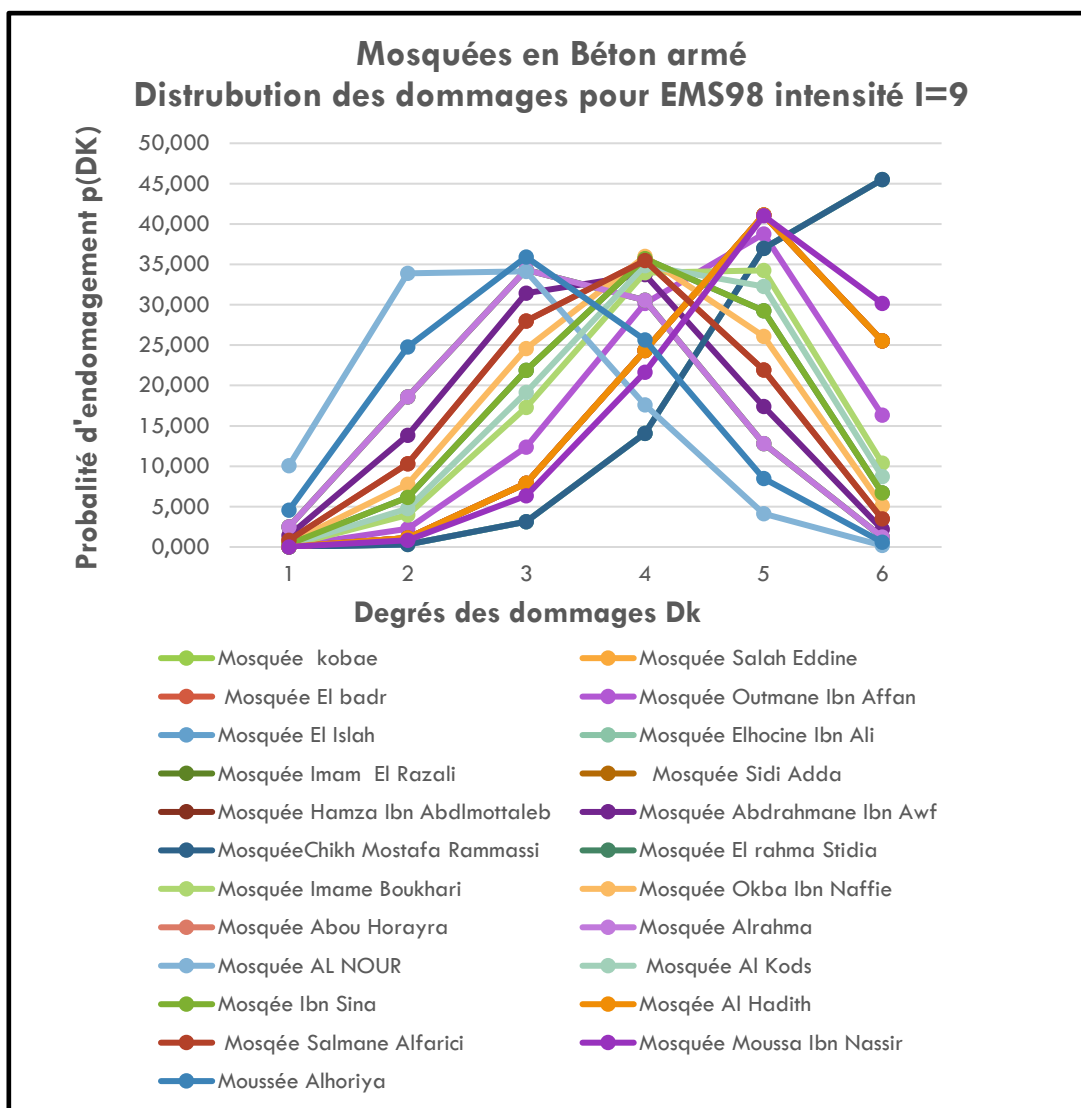


Figure 4.46 :distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

3.5.3 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=9

Type des mosquées	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquées en maçonnerie	--	--	--	02	05	00
Mosquées en béton armé	--	--	05	07	08	03
Totale	0	0	05	09	13	03
%	0	0	16.7	30	43.3	10

3.6 Scénario sismique pour intensité I=10

3.6.1 Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

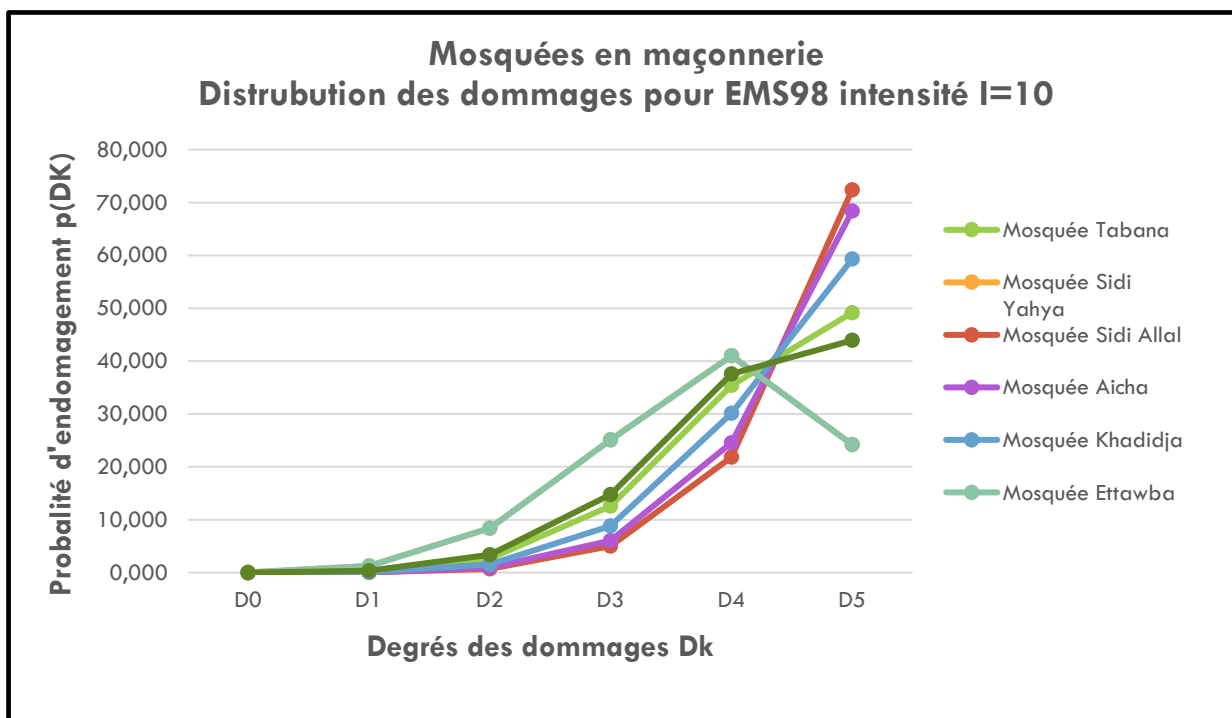


Figure 4.47: distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

3.6.2 Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

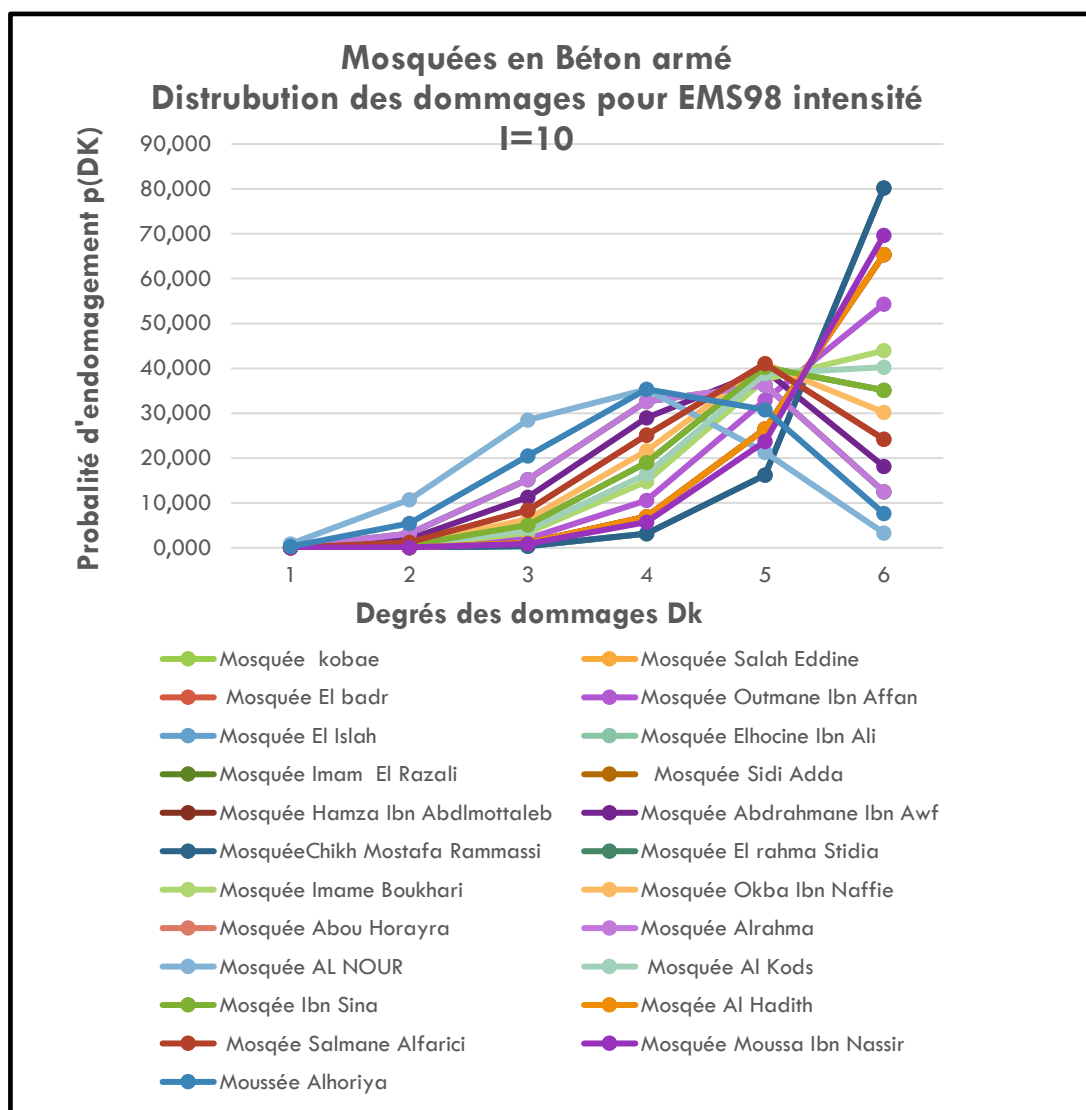


Figure 4.48: distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

3.6.3 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=10

Type des mosquées	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquées en maçonnerie	--	--	--	--	02	05
Mosquées en béton armé	--	--	--	02	09	12
Totale	0	0	00	02	11	17
%	0	0	0	6.7	36.7	56.6

3.7 Scénario sismique pour intensité I=11

3.7.1 Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

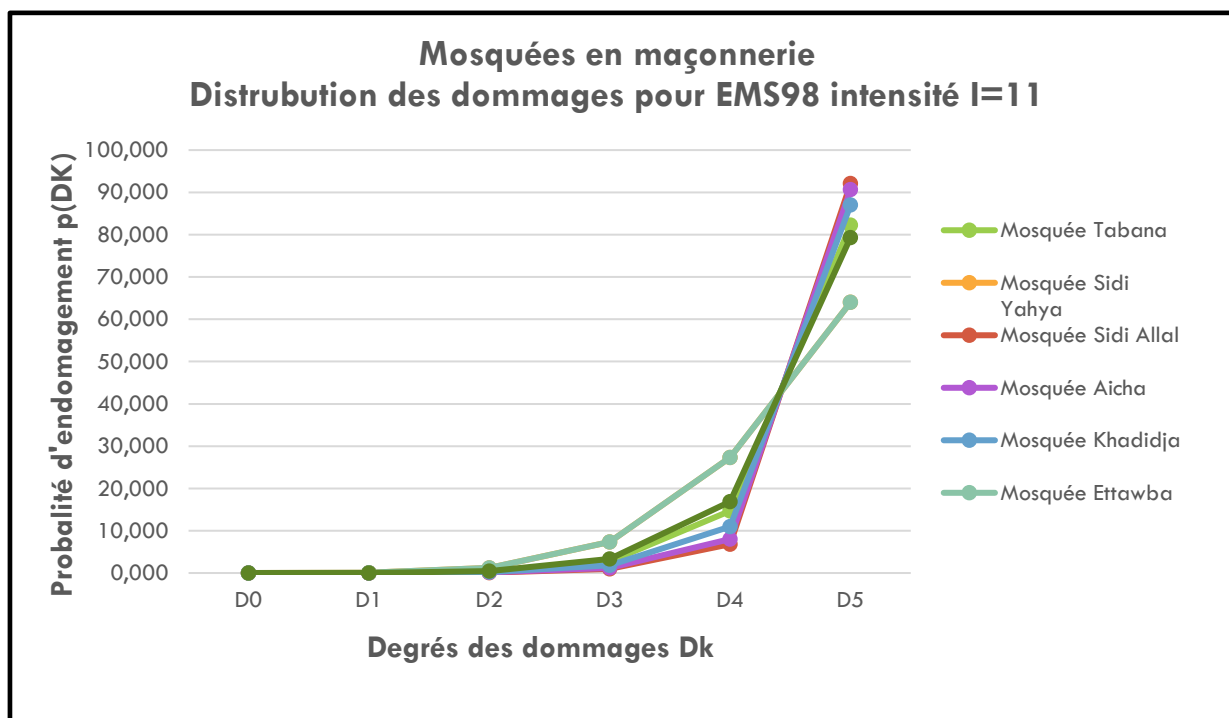


Figure 4.49: distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

3.7.2 Distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

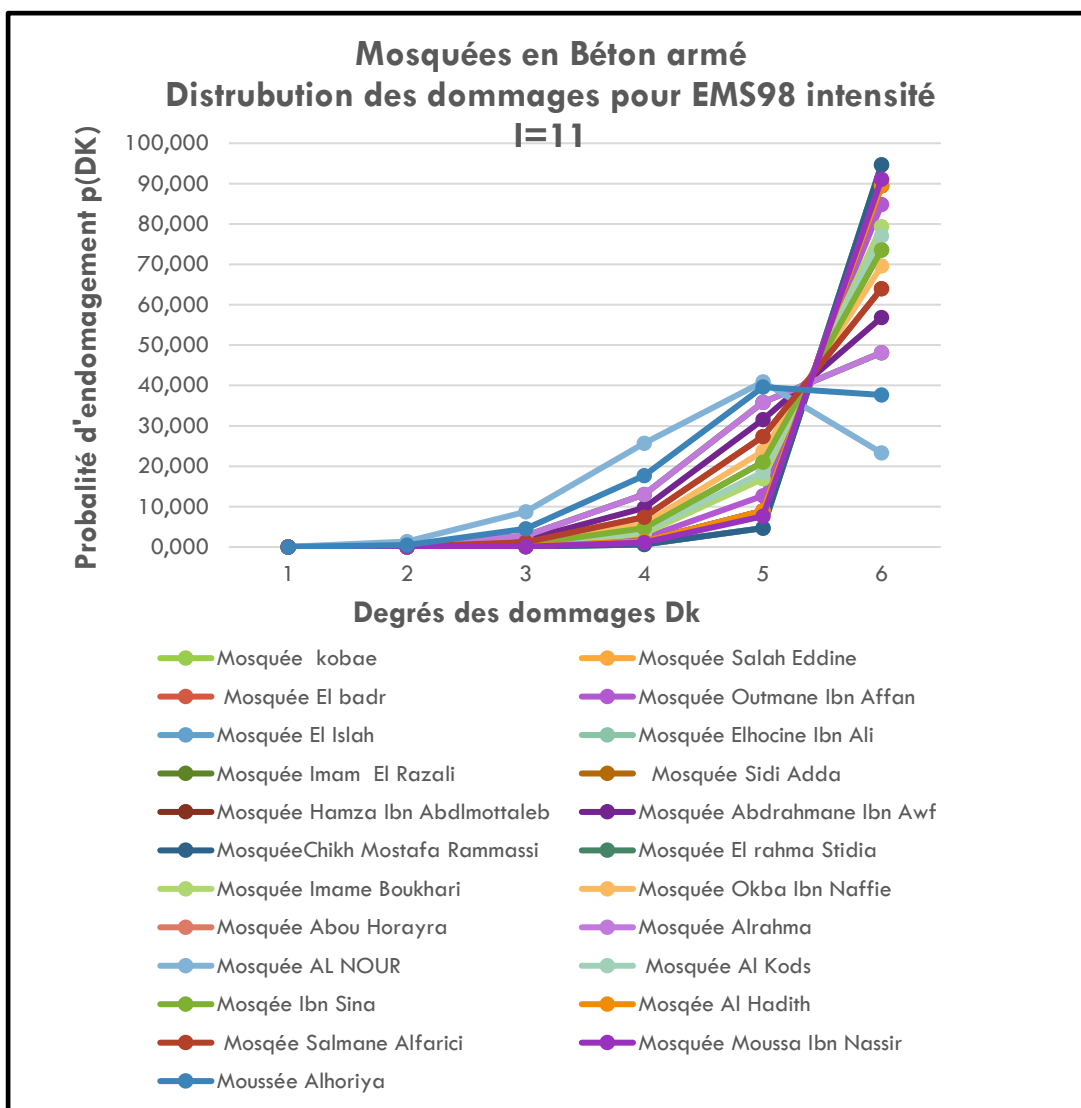


Figure 4.50: distribution des dommages pour les mosquées en béton armé

3.7.3 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=11

Type des mosquées	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquées en maçonnerie	--	--	--	--	--	07
Mosquées en béton armé	--	--	--	--	02	21
Totale	0	0	0	0	02	28
%	0	0	0	0	6.7	93.3

3.8 Scénario sismique pour intensité I=12

3.8.1 Distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

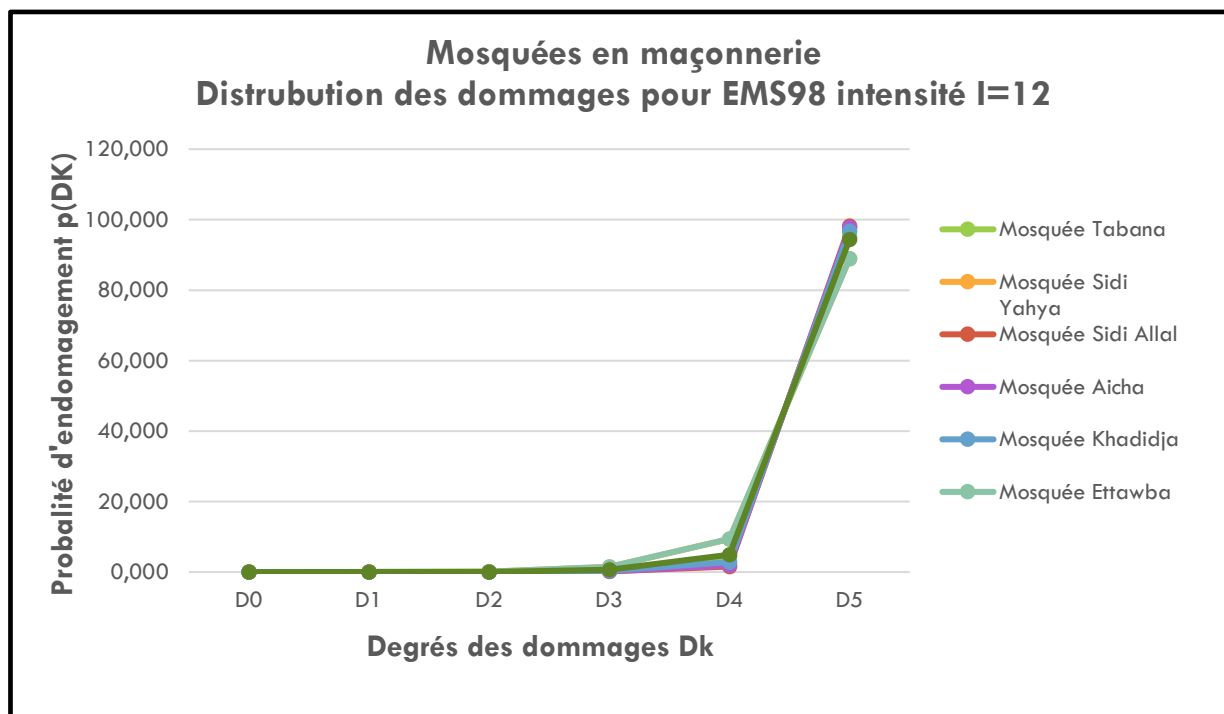


Figure 4.51: distribution des dommages pour les mosquées en maçonnerie

3.8.3 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=12

Type des mosquées	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquées en maçonnerie	--	--	--	--	--	07
Mosquées en béton armé	--	--	--	--	--	23
Totale	0	0	0	0	0	30
%	0	0	0	0	0	100

4. Distribution des dommages pour les mosquées étudiées :

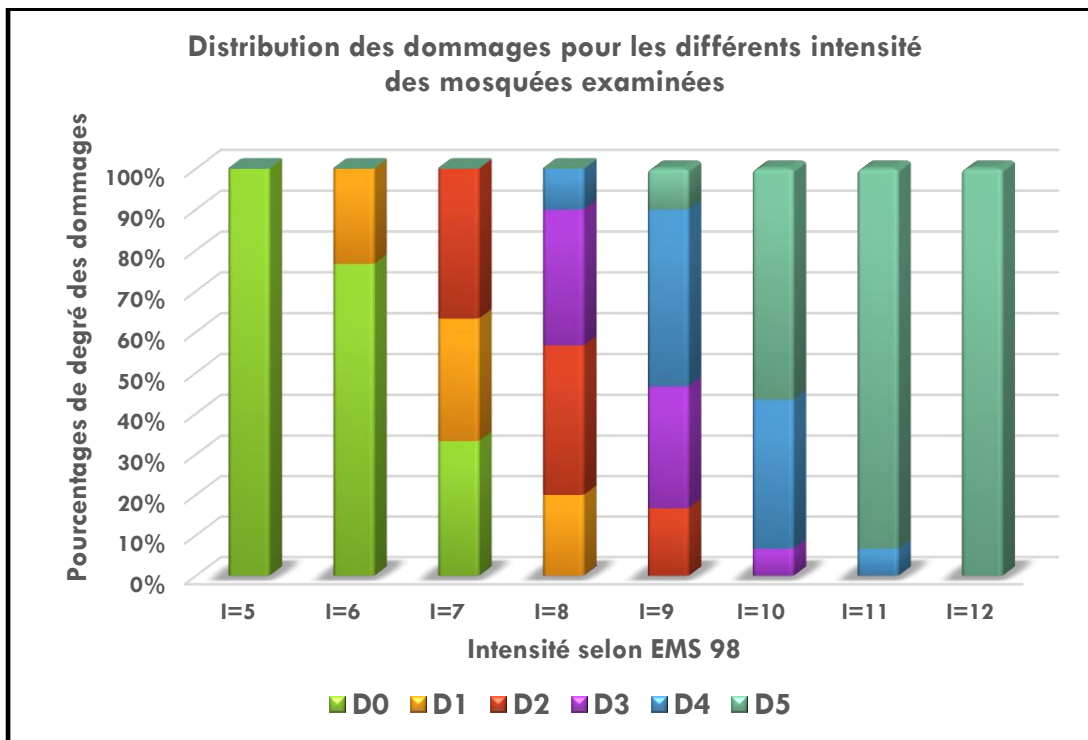


Figure 4.53 : Synthèse des scénarios des différents dommages globaux selon EMS 98 de différentes intensités

5 . Conclusion

Nous rappelons d'abord que nous avons utilisé uniquement la méthode RISK-UE pour l'évaluation des indices de vulnérabilité et d'endommagement sismiques. Ceci est dû, d'une part, au manque de données nécessaires à l'application des autres méthodes et, d'autre part, au manque de temps nécessaire à ce genre d'études.

Dans ce chapitre on put évaluer la vulnérabilité et le risque d'endommagement sismiques de quelques mosquées de la ville de Mostaganem. Cette étude nous a permis de d'avoir une idée sur le type de construction à bon comportement sismique, ainsi que sur les facteurs qui affecte la vulnérabilité sismique des bâtiments. On a constaté que les paramètres qui affecte le plus la vulnérabilité des bâtiments sont : la typologie du bâtiment, le type de fondation adopté, la topographie du sol, la hauteur du bâtiment et la forme du bâtiment.

Pour qu'un bâtiment présente une vulnérabilité acceptable, il doit satisfaire toutes les conditions parasismiques à savoir : la régularité en plan et en élévation, rigidifier les étages souples, fractionner les bâtiments en forme de L à l'aide de joints parasismiques, éviter d'implanter des fondations à des niveaux différents et choisir les fondations les plus adaptées selon l'importance de l'ouvrage.

CONCLUSION GENERALE



Afin de réduire les pertes et les dommages des structures, sous l'effet d'un séisme, plusieurs approches d'évaluation de leur vulnérabilité sismique ont été développées. Ces approches diffèrent les unes des autres en coût, en moyens utilisés et en précision. Le choix du type d'approche dépend de l'objectif d'évaluation, de la disponibilité des données et de la technologie utilisée.

L'objectif de cette recherche est d'approfondir les connaissances sur le comportement sismique et d'évaluer la vulnérabilité sismique d'un de différentes typologies de la ville de Mostaganem.

Les résultats de cette étude me permettent de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ Cette étude nous a permis de d'avoir une idée sur le type de construction à bon comportement sismique, ainsi que sur les facteurs qui affecte la vulnérabilité sismique des bâtiments. On a constaté que les paramètres qui affecte le plus la vulnérabilité des bâtiments sont : la typologie du bâtiment, le type de fondation adopté, la topographie du sol, la hauteur du bâtiment et la forme du bâtiment.
- ✓ Etant donné que plus de 90% des pertes humaines et économiques provoquées par les séismes sont dues à l'effondrement des constructions et que la plupart du parc immobilier Algérien a été construit avant l'application du nouveau règlement parasismique en vigueur (RPA 2003), il est nécessaire de se préoccuper des structures existantes afin de les prémunir contre le risque sismique. Cela implique la connaissance de leur état actuel pour évaluer leur susceptibilité à la destruction. C'est le sujet même de l'analyse de vulnérabilité.
- ✓ Les résultats de cette analyse intéressent tout aussi bien l'utilisateur particulier que les compagnies d'assurances immobilières ou les institutions étatiques.
- ✓ La méthode empirique, même si elle est à caractère qualitatif, peut donner une idée claire sur la situation sécuritaire d'une localité vis-à-vis du danger sismique.
- ✓ La méthode d'analyse par calcul, bien que plus précise car elle quantifie le comportement des structures en termes de dommage, n'est applicable qu'à titre individuel.

Recommandations :

- ✓ Intégrer l'enseignement de l'analyse de vulnérabilité, sous ses deux aspects, dans le cursus universitaire des étudiants de Master structures.
- ✓ Alerter l'opinion publique en général et la communauté scientifique en particulier sur l'importance d'une telle analyse afin qu'elle fasse l'objet d'une loi qui la rende obligatoire et la protège.
- ✓ Penser à établir une échelle de dommages à l'instar de l'échelle Européenne (EMS 98) qui soit une référence pour les chercheurs, les ingénieurs et les constructeurs.

Enfin, on peut conclure que pour qu'un bâtiment soit protégé contre le phénomène sismique, il doit respecter tous les paramètres affectant sa vulnérabilité et être construit selon les règles parasismiques en vigueur.

ANNEXE



Annexe 1 : Valeur de la vulnérabilité

Tableau 12: valeurs de la vulnérabilité pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé.

Mosquées	Valeurs de vulnérabilité	Mosquées	Valeurs de vulnérabilité
Mosquée Tabana	0,796	Mosquée Hamza Ibn Abdmottaleb	0,862
Mosquée Sidi Yahya	0,696	Mosquée Abdrahmane Ibn Awf	0,666
Mosquée Sidi Allal	0,896	Mosquée Chikh Mostafa Rammassi	0,942
Mosquée Aicha	0,876	Mosquée El rahma Stidia	0,742
Mosquée Khadidja	0,836	Mosquée Imame Boukhari	0,776
Mosquée Ettawba	0,696	Mosquée Okba Ibn Naffie	0,722
Mosquée Ennar	0,776	Mosquée Abou Horayra	0,862
Mosquée kobae	0,942	Mosquée Alrahma	0,632
Mosquée Salah Eddine	0,862	Mosquée AL NOUR	0,532
Mosquée El badr	0,696	Mosquée Al Kods	0,762
Mosquée Outmane Ibn Affan	0,816	Mosquée Ibn Sina	0,742
Mosquée El Islah	0,942	Mosquée Al Hadith	0,862
Mosquée Elhocine Ibn Ali	0,632	Mosquée Salmane Alfarici	0,696
Mosquée Imam El Razali	0,632	Mosquée Moussa Ibn Nassir	0,882
Mosquée Sidi Adda	0,862	Mosquée Alhoriya	0,592

Annexe 2: Estimation des dommages Moyens

Tableau 13: Estimation des dommages moyens (μD) pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé

Mosquées	5	6	7	8	9	10	11	12
Mosquée Tabana	0,310	0,681	1,366	2,364	3,408	4,181	4,621	4,834
Mosquée Sidi Yahya	0,185	0,419	0,896	1,712	2,771	3,739	4,381	4,720
Mosquée Sidi Allal	0,511	1,067	1,965	3,035	3,933	4,489	4,773	4,902
Mosquée Aicha	0,463	0,979	1,837	2,904	3,839	4,437	4,748	4,891
Mosquée Khadidja	0,379	0,819	1,592	2,636	3,634	4,319	4,690	4,865
Mosquée Ettawba	0,185	0,419	0,896	1,712	2,771	3,739	4,381	4,720
Mosquée Ennar	0,280	0,619	1,261	2,229	3,288	4,104	4,581	4,815
Mosquée kobae	0,637	1,292	2,270	3,324	4,128	4,593	4,821	4,923
Mosquée Salah Eddine	0,432	0,920	1,749	2,811	3,770	4,398	4,729	4,883
Mosquée El badr	0,185	0,419	0,896	1,712	2,771	3,739	4,381	4,720

Mosquée Outmane Ibn Affan	0,343	0,747	1,477	2,500	3,523	4,253	4,657	4,850
Mosquée El Islah	0,637	1,292	2,270	3,324	4,128	4,593	4,821	4,923
Mosquée Elhocine Ibn Ali	0,132	0,304	0,668	1,345	2,337	3,384	4,166	4,613
Mosquée Imam El Razali	0,132	0,304	0,668	1,345	2,337	3,384	4,166	4,613
Mosquée Sidi Adda	0,432	0,920	1,749	2,811	3,770	4,398	4,729	4,883
Mosquée Hamza Ibn Abdmottaleb	0,432	0,920	1,749	2,811	3,770	4,398	4,729	4,883
Mosquée Abdrahmane Ibn Awf	0,158	0,361	0,782	1,534	2,568	3,579	4,287	4,674
Mosquée Chikh Mostafa Rammassi	0,637	1,292	2,270	3,324	4,128	4,593	4,821	4,923
Mosquée El rahma Stidia	0,235	0,526	1,095	2,004	3,074	3,960	4,504	4,779
Mosquée Imame Boukhari	0,280	0,619	1,261	2,229	3,288	4,104	4,581	4,815
Mosquée Okba Ibn Naffie	0,212	0,477	1,005	1,875	2,944	3,868	4,453	4,755
Mosquée Abou Horayra	0,432	0,920	1,749	2,811	3,770	4,398	4,729	4,883
Mosquée Alrahma	0,132	0,304	0,668	1,345	2,337	3,384	4,166	4,613
Mosquée AL NOUR	0,077	0,181	0,411	0,880	1,688	2,744	3,718	4,369
Mosquée Al Kods	0,260	0,579	1,191	2,136	3,201	4,047	4,551	4,801
Mosquée Ibn Sina	0,235	0,526	1,095	2,004	3,074	3,960	4,504	4,779
Mosquée Al Hadith	0,432	0,920	1,749	2,811	3,770	4,398	4,729	4,883
Mosquée Salmane Alfarici	0,185	0,419	0,896	1,712	2,771	3,739	4,381	4,720
Mosquée Moussa Ibn Nassir	0,477	1,005	1,875	2,944	3,868	4,453	4,755	4,894
Mosquée Alhoriya	0,107	0,247	0,552	1,142	2,070	3,138	4,004	4,528

Annexe 3 : Estimation de la distribution des dommages

Intensité I=5

Tableau 14: Calcul La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquée Tabana	84,149	13,209	2,352	0,276	0,014	0,000
Mosquée Sidi Yahya	92,081	6,831	0,987	0,098	0,004	0,000
Mosquée Sidi Allal	69,158	24,041	5,853	0,890	0,058	0,000
Mosquée Aicha	72,841	21,537	4,880	0,699	0,043	0,000
Mosquée Khadidja	79,158	17,000	3,383	0,435	0,024	0,000
Mosquée Ettawba	92,081	6,831	0,987	0,098	0,004	0,000
Mosquée Ennar	86,202	11,600	1,966	0,221	0,011	0,000
Mosquée kobae	59,421	30,089	8,807	1,563	0,119	0,001
Mosquée Salah Eddine	75,211	19,870	4,293	0,591	0,035	0,000
Mosquée El badr	92,081	6,831	0,987	0,098	0,004	0,000
Mosquée Outmane Ibn Affan	81,810	15,008	2,819	0,346	0,018	0,000
Mosquée El Islah	59,421	30,089	8,807	1,563	0,119	0,001
Mosquée Elhocine Ibn Ali	94,875	4,479	0,590	0,054	0,002	0,000
Mosquée Imam El Razali	94,875	4,479	0,590	0,054	0,002	0,000
Mosquée Sidi Adda	75,211	19,870	4,293	0,591	0,035	0,000
Mosquée Hamza Ibn Abdilmottaleb	75,211	19,870	4,293	0,591	0,035	0,000
Mosquée Abdrahmane Ibn Awf	93,552	5,600	0,772	0,073	0,003	0,000
Mosquée Chikh Mostafa Rammassi	59,421	30,089	8,807	1,563	0,119	0,001
Mosquée El rahma Stidia	89,109	9,272	1,458	0,154	0,007	0,000
Mosquée Imame Boukhari	86,202	11,600	1,966	0,221	0,011	0,000
Mosquée Okba Ibn Naffie	90,522	8,119	1,228	0,126	0,005	0,000
Mosquée Abou Horayra	75,211	19,870	4,293	0,591	0,035	0,000
Mosquée Alrahma	94,875	4,479	0,590	0,054	0,002	0,000
Mosquée AL NOUR	97,329	2,363	0,283	0,024	0,001	0,000

Mosquée Al Kods	87,482	10,582	1,737	0,191	0,009	0,000
Mosquée Ibn Sina	89,109	9,272	1,458	0,154	0,007	0,000
Mosquée Al Hadith	75,211	19,870	4,293	0,591	0,035	0,000
Mosquée Salmene Alfarici	92,081	6,831	0,987	0,098	0,004	0,000
Mosquée Moussa Ibn Nassir	71,773	22,274	5,154	0,751	0,047	0,000
Mosquée Alhoriya	96,068	3,456	0,436	0,039	0,001	0,000

Intensité I=6

Tableau 15: Calcul La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquée Tabana	56,155	31,911	9,929	1,855	0,149	0,002
Mosquée Sidi Yahya	76,173	19,181	4,063	0,551	0,032	0,000
Mosquée Sidi Allal	31,414	40,877	20,956	5,990	0,749	0,015
Mosquée Aicha	36,269	39,981	18,402	4,795	0,544	0,010
Mosquée Khadidja	46,316	36,640	13,747	3,009	0,285	0,004
Mosquée Ettawba	76,173	19,181	4,063	0,551	0,032	0,000
Mosquée Ennasr	60,782	29,297	8,359	1,452	0,108	0,001
Mosquée kobae	21,303	40,542	26,944	9,643	1,527	0,041
Mosquée Salah Eddine	39,760	39,024	16,691	4,084	0,434	0,007
Mosquée El badr	76,173	19,181	4,063	0,551	0,032	0,000
Mosquée Outmane Ibn Affan	51,308	34,394	11,724	2,366	0,206	0,003
Mosquée El Islah	21,303	40,542	26,944	9,643	1,527	0,041
Mosquée Elhocine Ibn Ali	84,582	12,873	2,269	0,264	0,013	0,000
Mosquée Imam El Razali	84,582	12,873	2,269	0,264	0,013	0,000
Mosquée Sidi Adda	39,760	39,024	16,691	4,084	0,434	0,007
Mosquée Hamza Ibn Abdilmottaleb	39,760	39,024	16,691	4,084	0,434	0,007
Mosquée Abdrahmane Ibn Awf	80,524	15,980	3,088	0,388	0,021	0,000
Mosquée Chikh Mostafa Rammassi	21,303	40,542	26,944	9,643	1,527	0,041
Mosquée El rahma Stidia	67,985	24,814	6,179	0,958	0,063	0,001

Mosquée Imame Boukhari	60,782	29,297	8,359	1,452	0,108	0,001
Mosquée Okba Ibn Naffie	71,773	22,274	5,154	0,751	0,047	0,000
Mosquée Abou Horayra	39,760	39,024	16,691	4,084	0,434	0,007
Mosquée Alrahma	84,582	12,873	2,269	0,264	0,013	0,000
Mosquée AL NOUR	92,296	6,652	0,954	0,094	0,004	0,000
Mosquée Al Kods	63,858	27,441	7,390	1,223	0,086	0,001
Mosquée Ibn Sina	67,985	24,814	6,179	0,958	0,063	0,001
Mosquée Al Hadith	39,760	39,024	16,691	4,084	0,434	0,007
Mosquée Salmane Alfarici	76,173	19,181	4,063	0,551	0,032	0,000
Mosquée Moussa Ibn Nassir	34,792	40,311	19,156	5,130	0,599	0,011
Mosquée Alhoriya	88,324	9,906	1,591	0,171	0,008	0,000

Intensité I=7

Tableau 16: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquée Tabana	18,619	39,759	28,668	11,017	1,881	0,056
Mosquée Sidi Yahya	41,270	38,538	15,982	3,809	0,394	0,006
Mosquée Sidi Allal	5,691	27,334	35,937	23,518	7,078	0,443
Mosquée Aicha	7,439	30,442	35,444	20,804	5,572	0,300
Mosquée Khadidja	12,142	35,959	32,880	15,570	3,316	0,133
Mosquée Ettawba	41,270	38,538	15,982	3,809	0,394	0,006
Mosquée Ennasr	22,515	40,782	26,180	9,092	1,395	0,036
Mosquée kobae	2,904	20,088	34,927	29,419	11,628	1,035
Mosquée Salah Eddine	8,893	32,510	34,774	18,923	4,674	0,226
Mosquée El badr	41,270	38,538	15,982	3,809	0,394	0,006
Mosquée Outmane Ibn Affan	15,155	38,126	30,936	13,185	2,511	0,087
Mosquée El Islah	2,904	20,088	34,927	29,419	11,628	1,035
Mosquée Elhocine Ibn Ali	57,100	31,396	9,597	1,766	0,139	0,002
Mosquée Imam El Razali	57,100	31,396	9,597	1,766	0,139	0,002
Mosquée Sidi Adda	8,893	32,510	34,774	18,923	4,674	0,226

Mosquée Hamza Ibn Abdilmottaleb	8,893	32,510	34,774	18,923	4,674	0,226
Mosquée Abdrahmane Ibn Awf	48,824	35,554	12,708	2,669	0,242	0,003
Mosquée Chikh Mostafa Rammassi	2,904	20,088	34,927	29,419	11,628	1,035
Mosquée El rahma Stidia	30,001	41,027	21,738	6,393	0,823	0,017
Mosquée Imame Boukhari	22,515	40,782	26,180	9,092	1,395	0,036
Mosquée Okba Ibn Naffie	34,792	40,311	19,156	5,130	0,599	0,011
Mosquée Abou Horayra	8,893	32,510	34,774	18,923	4,674	0,226
Mosquée Alrahma	57,100	31,396	9,597	1,766	0,139	0,002
Mosquée AL NOUR	76,798	18,730	3,917	0,525	0,030	0,000
Mosquée Al Kods	25,478	41,112	24,364	7,893	1,125	0,027
Mosquée Ibn Sina	30,001	41,027	21,738	6,393	0,823	0,017
Mosquée Al Hadith	8,893	32,510	34,774	18,923	4,674	0,226
Mosquée Salmane Alfarici	41,270	38,538	15,982	3,809	0,394	0,006
Mosquée Moussa Ibn Nassir	6,875	29,524	35,651	21,618	5,995	0,337
Mosquée Alhoriya	65,962	26,121	6,760	1,082	0,074	0,001

Intensité I=8

Tableau 17 : Calcul La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquée Tabana	2,330	17,993	34,053	30,985	13,319	1,321
Mosquée Sidi Yahya	9,577	33,358	34,408	18,130	4,326	0,200
Mosquée Sidi Allal	0,393	6,586	22,685	35,846	28,302	6,189
Mosquée Aicha	0,578	8,300	25,395	35,945	25,108	4,675
Mosquée Khadidja	1,194	12,599	30,352	34,446	18,853	2,556
Mosquée Ettawba	9,577	33,358	34,408	18,130	4,326	0,200
Mosquée Ennasr	3,184	21,010	35,224	28,705	10,947	0,930
Mosquée kobae	0,154	3,662	16,492	33,494	35,049	11,150
Mosquée Salah Eddine	0,750	9,671	27,225	35,671	22,873	3,809
Mosquée El badr	9,577	33,358	34,408	18,130	4,326	0,200

Mosquée Outmane Ibn Affan	1,680	15,172	32,404	32,927	15,966	1,850
Mosquée El Islah	0,154	3,662	16,492	33,494	35,049	11,150
Mosquée Elhocine Ibn Ali	19,364	40,014	28,185	10,612	1,773	0,052
Mosquée Imam El Razali	19,364	40,014	28,185	10,612	1,773	0,052
Mosquée Sidi Adda	0,750	9,671	27,225	35,671	22,873	3,809
Mosquée Hamza Ibn Abdlmottaleb	0,750	9,671	27,225	35,671	22,873	3,809
Mosquée Abdrahmane Ibn Awf	13,592	37,104	31,955	14,353	2,890	0,107
Mosquée Chikh Mostafa Rammassi	0,154	3,662	16,492	33,494	35,049	11,150
Mosquée El rahma Stidia	5,236	26,382	35,975	24,327	7,584	0,497
Mosquée Imame Boukhari	3,184	21,010	35,224	28,705	10,947	0,930
Mosquée Okba Ibn Naffie	6,875	29,524	35,651	21,618	5,995	0,337
Mosquée Abou Horayra	0,750	9,671	27,225	35,671	22,873	3,809
Mosquée Alrahma	19,364	40,014	28,185	10,612	1,773	0,052
Mosquée AL NOUR	42,279	38,192	15,519	3,635	0,369	0,006
Mosquée Al Kods	3,928	23,202	35,729	26,959	9,459	0,722
Mosquée Ibn Sina	5,236	26,382	35,975	24,327	7,584	0,497
Mosquée Al Hadith	0,750	9,671	27,225	35,671	22,873	3,809
Mosquée Salmane Alfarici	9,577	33,358	34,408	18,130	4,326	0,200
Mosquée Moussa Ibn Nassir	0,515	7,755	24,590	35,976	26,070	5,093
Mosquée Alhoriya	27,701	41,151	23,051	7,113	0,963	0,021

Intensité I=9

Tableau 18: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquée Tabana	0,115	3,018	14,729	32,255	36,757	13,125
Mosquée Sidi Yahya	0,836	10,303	27,983	35,469	21,926	3,481
Mosquée Sidi Allal	0,012	0,647	5,415	19,774	40,540	33,612

Mosquée Aicha	0,019	0,897	6,776	22,451	41,114	28,742
Mosquée Khadidja	0,048	1,681	10,256	27,743	40,222	20,049
Mosquée Ettawba	0,836	10,303	27,983	35,469	21,926	3,481
Mosquée Ennasr	0,175	3,970	17,272	33,957	34,254	10,373
Mosquée kobae	0,004	0,300	3,125	14,088	36,968	45,515
Mosquée Salah Eddine	0,027	1,122	7,877	24,338	41,115	25,521
Mosquée El badr	0,836	10,303	27,983	35,469	21,926	3,481
Mosquée Outmane Ibn Affan	0,074	2,266	12,377	30,151	38,781	16,351
Mosquée El Islah	0,004	0,300	3,125	14,088	36,968	45,515
Mosquée Elhocine Ibn Ali	2,483	18,582	34,328	30,553	12,822	1,232
Mosquée Imam El Razali	2,483	18,582	34,328	30,553	12,822	1,232
Mosquée Sidi Adda	0,027	1,122	7,877	24,338	41,115	25,521
Mosquée Hamza Ibn Abdilmottaleb	0,027	1,122	7,877	24,338	41,115	25,521
Mosquée Abdrahmane Ibn Awf	1,419	13,852	31,423	33,745	17,383	2,178
Mosquée Chikh Mostafa Rammassi	0,004	0,300	3,125	14,088	36,968	45,515
Mosquée El rahma Stidia	0,349	6,127	21,862	35,703	29,245	6,713
Mosquée Imame Boukhari	0,175	3,970	17,272	33,957	34,254	10,373
Mosquée Okba Ibn Naffie	0,515	7,755	24,590	35,976	26,070	5,093
Mosquée Abou Horayra	0,027	1,122	7,877	24,338	41,115	25,521
Mosquée Alrahma	2,483	18,582	34,328	30,553	12,822	1,232
Mosquée AL NOUR	10,055	33,907	34,140	17,606	4,106	0,185
Mosquée Al Kods	0,234	4,770	19,135	34,863	32,281	8,717
Mosquée Ibn Sina	0,349	6,127	21,862	35,703	29,245	6,713
Mosquée Al Hadith	0,027	1,122	7,877	24,338	41,115	25,521
Mosquée Salmane Alfarici	0,836	10,303	27,983	35,469	21,926	3,481
Mosquée Moussa Ibn Nassir	0,017	0,814	6,343	21,642	41,012	30,173
Mosquée Alhoriya	4,543	24,790	35,923	25,659	8,485	0,600

Intensité I=10

Tableau 19: Calcul La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquée Tabana	0,003	0,236	2,624	12,564	35,392	49,181
Mosquée Sidi Yahya	0,030	1,233	8,388	25,141	41,011	24,197
Mosquée Sidi Allal	0,000	0,044	0,719	4,987	21,829	72,420
Mosquée Aicha	0,001	0,061	0,934	6,065	24,547	68,392
Mosquée Khadidja	0,001	0,120	1,573	8,847	30,158	59,301
Mosquée Ettawba	0,030	1,233	8,388	25,141	41,011	24,197
Mosquée Ennasr	0,005	0,332	3,365	14,775	37,585	43,939
Mosquée kobae	0,000	0,021	0,397	3,146	16,184	80,252
Mosquée Salah Eddine	0,001	0,077	1,121	6,939	26,504	65,358
Mosquée El badr	0,030	1,233	8,388	25,141	41,011	24,197
Mosquée Outmane Ibn Affan	0,002	0,168	2,035	10,585	32,877	54,333
Mosquée El Islah	0,000	0,021	0,397	3,146	16,184	80,252
Mosquée Elhocine Ibn Ali	0,125	3,192	15,224	32,631	36,291	12,537
Mosquée Imam El Razali	0,125	3,192	15,224	32,631	36,291	12,537
Mosquée Sidi Adda	0,001	0,077	1,121	6,939	26,504	65,358
Mosquée Hamza Ibn Abdmottaleb	0,001	0,077	1,121	6,939	26,504	65,358
Mosquée Abdrahmane Ibn Awf	0,060	1,954	11,286	28,979	39,579	18,142
Mosquée Chikh Mostafa Rammassi	0,000	0,021	0,397	3,146	16,184	80,252
Mosquée El rahma Stidia	0,011	0,586	5,053	18,986	40,242	35,123
Mosquée Imame Boukhari	0,005	0,332	3,365	14,775	37,585	43,939
Mosquée Okba Ibn Naffie	0,017	0,814	6,343	21,642	41,012	30,173
Mosquée Abou Horayra	0,001	0,077	1,121	6,939	26,504	65,358
Mosquée Alrahma	0,125	3,192	15,224	32,631	36,291	12,537
Mosquée AL NOUR	0,899	10,739	28,478	35,307	21,300	3,276
Mosquée Al Kods	0,007	0,420	3,989	16,448	38,864	40,273
Mosquée Ibn Sina	0,011	0,586	5,053	18,986	40,242	35,123

Mosquée Al Hadith	0,001	0,077	1,121	6,939	26,504	65,358
Mosquée Salmane Alfarici	0,030	1,233	8,388	25,141	41,011	24,197
Mosquée Moussa Ibn Nassir	0,000	0,056	0,864	5,722	23,719	69,640
Mosquée Alhoriya	0,286	5,416	20,493	35,352	30,789	7,664

Intensité I=11

Tableau 20: Calcul La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquée Tabana	0,000	0,017	0,332	2,729	14,675	82,246
Mosquée Sidi Yahya	0,001	0,086	1,213	7,345	27,349	64,007
Mosquée Sidi Allal	0,000	0,004	0,098	0,987	6,833	92,078
Mosquée Aicha	0,000	0,005	0,124	1,209	8,024	90,638
Mosquée Khadidja	0,000	0,009	0,201	1,817	10,944	87,029
Mosquée Ettawba	0,001	0,086	1,213	7,345	27,349	64,007
Mosquée Ennasr	0,000	0,023	0,429	3,342	16,862	79,344
Mosquée kobae	0,000	0,002	0,057	0,619	4,659	94,663
Mosquée Salah Eddine	0,000	0,006	0,146	1,394	8,960	89,493
Mosquée El badr	0,001	0,086	1,213	7,345	27,349	64,007
Mosquée Outmane Ibn Affan	0,000	0,013	0,258	2,227	12,703	84,799
Mosquée El Islah	0,000	0,002	0,057	0,619	4,659	94,663
Mosquée Elhocine Ibn Ali	0,003	0,253	2,759	12,988	35,860	48,137
Mosquée Imam El Razali	0,003	0,253	2,759	12,988	35,860	48,137
Mosquée Sidi Adda	0,000	0,006	0,146	1,394	8,960	89,493
Mosquée Hamza Ibn Abdilmottaleb	0,000	0,006	0,146	1,394	8,960	89,493
Mosquée Abdrahmane Ibn Awf	0,002	0,142	1,790	9,686	31,536	56,845
Mosquée Chikh Mostafa Rammassi	0,000	0,002	0,057	0,619	4,659	94,663
Mosquée El rahma Stidia	0,000	0,040	0,665	4,699	21,039	73,556
Mosquée Imame Boukhari	0,000	0,023	0,429	3,342	16,862	79,344
Mosquée Okba Ibn Naffie	0,000	0,056	0,864	5,722	23,719	69,640


Mosquée Abou Horayra	0,000	0,006	0,146	1,394	8,960	89,493
Mosquée Alrahma	0,003	0,253	2,759	12,988	35,860	48,137
Mosquée AL NOUR	0,033	1,313	8,741	25,672	40,908	23,333
Mosquée Al Kods	0,000	0,029	0,513	3,849	18,516	77,093
Mosquée Ibn Sina	0,000	0,040	0,665	4,699	21,039	73,556
Mosquée Al Hadith	0,000	0,006	0,146	1,394	8,960	89,493
Mosquée Salmane Alfarici	0,001	0,086	1,213	7,345	27,349	64,007
Mosquée Moussa Ibn Nassir	0,000	0,005	0,115	1,138	7,649	91,093
Mosquée Alhoriya	0,008	0,496	4,494	17,698	39,623	37,679


Intensité I=12

Tableau 21: Calcul La probabilité pk associée à chaque degré de dommage k pour les mosquées en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Mosquée Tabana	0,000	0,002	0,049	0,536	4,129	95,284
Mosquée Sidi Yahya	0,000	0,007	0,158	1,482	9,388	88,965
Mosquée Sidi Allal	0,000	0,001	0,015	0,183	1,595	98,206
Mosquée Aicha	0,000	0,001	0,019	0,230	1,964	97,786
Mosquée Khadidja	0,000	0,001	0,031	0,354	2,887	96,727
Mosquée Ettawba	0,000	0,007	0,158	1,482	9,388	88,965
Mosquée Ennasr	0,000	0,002	0,061	0,658	4,903	94,376
Mosquée kobae	0,000	0,000	0,008	0,102	0,925	98,964
Mosquée Salah Eddine	0,000	0,001	0,023	0,268	2,256	97,452
Mosquée El badr	0,000	0,007	0,158	1,482	9,388	88,965
Mosquée Outmane Ibn Affan	0,000	0,001	0,039	0,436	3,462	96,061
Mosquée El Islah	0,000	0,000	0,008	0,102	0,925	98,964
Mosquée Elhocine Ibn Ali	0,000	0,018	0,349	2,843	15,095	81,694
Mosquée Imam El Razali	0,000	0,018	0,349	2,843	15,095	81,694
Mosquée Sidi Adda	0,000	0,001	0,023	0,268	2,256	97,452
Mosquée Hamza Ibn Abdmottaleb	0,000	0,001	0,023	0,268	2,256	97,452
Mosquée Abdrahmane Ibn Awf	0,000	0,011	0,228	2,011	11,797	85,953

Mosquée Chikh Mostafa Rammassi	0,000	0,000	0,008	0,102	0,925	98,964
Mosquée El rahma Stidia	0,000	0,004	0,091	0,929	6,507	92,470
Mosquée Imame Boukhari	0,000	0,002	0,061	0,658	4,903	94,376
Mosquée Okba Ibn Naffie	0,000	0,005	0,115	1,138	7,649	91,093
Mosquée Abou Horayra	0,000	0,001	0,023	0,268	2,256	97,452
Mosquée Alrahma	0,000	0,018	0,349	2,843	15,095	81,694
Mosquée AL NOUR	0,001	0,091	1,278	7,627	27,914	63,089
Mosquée Al Kods	0,000	0,003	0,072	0,758	5,516	93,651
Mosquée Ibn Sina	0,000	0,004	0,091	0,929	6,507	92,470
Mosquée Al Hadith	0,000	0,001	0,023	0,268	2,256	97,452
Mosquée Salmane Alfarici	0,000	0,007	0,158	1,482	9,388	88,965
Mosquée Moussa Ibn Nassir	0,000	0,001	0,018	0,215	1,847	97,919
Mosquée Alhoriya	0,000	0,034	0,584	4,254	19,755	75,372

 mosquées en maçonnerie

 mosquées en béton armé

- [1] Bristol Université website: www.ideers.bris.ac.uk
- [2] Göran Ekström, Meredith Nettles et Victor C. Tsai, Seasonality and Increasing Frequency of Greenland Glacial Earthquakes ; Science 2006-03-24 ; pp 1756-1758
- [3] Documents pédagogiques de l'EOST ; les catégories de séismes
- [4] Les Séismes. Planète Terre, Université Laval, Québec
- [5] MILAN ZACEK : « construction parasismique » NIVEAU AVANT PROJET, 2004.
- [6] Origine et paramètres définissants un séisme (Internet: cgs.dz, 2004)
- [7] Subduction: Processus d'enfoncement d'une plaque tectonique sous une autre plaque de densité plus faible, en général une plaque océanique sous une plaque continentale ou sous une plaque océanique plus récente .
- [8] Euro code 8 : construction parasismique.
- [9] ANDRE PLUMIER « construction en zone sismique », université de LIEGE, 2006.
- [10] Euro code 8 : construction parasismique
- [11] L'énergie transportée par les ondes sismiques est progressivement dispersée (atténuée par radiation) et amortie (dissipée en chaleur)
- [12] L'onde de Love L: Elle déplace le sol d'un côté à l'autre dans un plan horizontal perpendiculairement à sa direction de propagation. On l'enregistre uniquement sur les composantes horizontales du sismomètre.
- [13] L'onde de Rayleigh R: le déplacement des particules est à la fois horizontal et vertical. Cette onde est enregistrée sur les trois composantes du sismomètre. Les vibrations engendrées par cette onde durent plusieurs minutes.
- [14] PATRICIA BLANDIER « Document d'information à l'usage du constructeur » (volume 3), Direction Départementale de l'Équipement de la Guadeloupe.
- [15] Euro code 8 : construction parasismique

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [16] GARCIA Jean-François, Élaboration d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments, Rapport final de PFE d'ingénieur, INSA Strasbourg, Spécialité Génie Civil, Option Construction
- [17] C.G.S. Recommandations techniques pour la réparation et le renforcement des ouvrages.
- [18] Centre De Recherche Appliquée En Astrophysique Et Géophysique (CRAAG)
- [19] CHERRERED. A, DJEBAR. T : « vulnérabilité sismique des batiments existants-cas de la ville de Bejaia ». Rapport de recherche bibliographique. Université de Bejaia 2011/2012.
- [20] Centre De Recherche Appliquée En Astrophysique Et Géophysique (CRAAG).
- [21] Brahim CHAIB, « vulnérabilité du bâti existant et aménagement en zone sismique »,
- [22] DTR BC 2-48 : Les règles parasismiques algériennes RPA 99 (version 2003)