



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

People's Democratic Republic of Algeria

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministry of Higher Education and Scientific Research

جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم

University Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculty of Sciences and Technology

قسم الهندسة المدنية والمعمارية

Civil engineering & architecture d'épartement



N°d'ordre: M/GCA/2021

MEMOIRE DE FIND'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : GENIE CIVIL

Spécialité : STRUCTURES

Thème

**Evaluation de la Vulnérabilité des b âtis Existants
De la Ville de Mostaganem Par Méthode RISK-U**

Présenté par:

- Abbassa Souleymane
- Ahssen Larbi

Soutenu le 12 /07 /2021 devant le jury composé de:

President : Mr Benanane Abdelkader

Examineur : Mr Sabeur Bendehiba

Encadrant : Mme Djilali Nassira

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

Nous tenons d'abord à remercier Allah 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 Benanane Abdelkader** et **Mr Sabeur Bendehiba**, d'avoir examiné ce travail et assister à la soutenance.

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

SOMMAIRE :

Introduction g é n é r a l e.....	1
Chapitre 1: RISQUE SISMIQUE EN ALGÉRIE	
Introduction	3
1- Historique de la sismicité en Alg é r i e	4
1-1- La sismicité du territoire maghr é b i n.....	4
1-2- Sismicité de l'Alg é r i e	4
1-2-1- L'activité sismique depuis l'antiquité.....	6
1-2-2- L'activité sismique depuis 1365.....	6
2- Caract é r i s t i q u e s de la sismicité alg é r i e n n e.....	7
2-1- Zones sismiques en Alg é r i e	10
3- Le risque et l'aléa sismique en Alg é r i e	11
4- le s é i s m e et les batiments.....	12
4-1- Les constructions parasismiques	12
4-2- Exemples de mauvaises conceptions parasismiques	13
4-3- Effets des séismes sur les b â t i m e n t s	15
5- Sismologie de la ville de Mostaganem	19

Chapitre 2 : M é t h o d e s D'évaluation De La Vuln é r a b i l i t é Sismique

1. Introduction	20
2. Vuln é r a b i l i t é s i s m i q u e	20
3. M é t h o d e s d'évaluation de la vuln é r a b i l i t é s i s m i q u e	20

3.1. Méthodologie Risk_UE	21
3.2. Méthode du CETE Méditerranée (fin des années 1990).....	25
3.3. Méthode VULNERALP (2005)	28
3.4. Méthodologie HAZUS (Hazard US)	32
4. Conclusion.....	36

Chapitre 3 : Méthodologie D'évaluation De La Vulnérabilité Sismique

Par Approche RISK-UE

1. Approche du projet européen RISK-UE(2003).....	37
1.1 . Procédure de la méthode.....	37
1.2 . Données et compétences nécessaires	38
1.3. Évaluation qualitative de la présomption de vulnérabilité.....	39

Chapitre 4 : Étude des scénarios sismiques

1. Scénario du risque sismique sur les constructions de la ville de Mostaganem	49
2. Zone de couverture d'étude des bâtiments.....	49
3. Les Sites que nous avons évalués	52
3.1. Le marché couvert	52
3.2. BORDJ EL MEHAL.....	52
3.3. Algérie poste	53
3.4. CEM Amaros Muammar	53
3.5 .Mosquée Badr	54
3.6. La clinique médicale Habib Qara.....	54
3.7. La mosquée Sidi Yahia.....	55

3.8. Tribunal Quartier matmar	55
3.9. École Mahdi Ibn Khadda	56
3.10. le centre commercial	56
3.11. Golf Bank Alg érie.....	57
3.12. Banque Nationale D'Alg érie.....	57
3.13. r éservoir d'eau (matmar)	58
3.14. Mairie de Mostaganem	58
4. Missions d'enqu ête sur le terrain d'étude	59
5. Estimation de l'indice de vuln érabilit é pour les b âtiments interrog és.....	61
5.1. Les valeurs de la vuln érabilit é pour les constructions en ma çonnerie.....	61
5.2. Les valeurs de la vuln érabilit é pour les constructions en b êton arm é.....	62
6. Estimation de degr és des dommages moyens et pr ésentation des courbes de vuln érabilit é.....	63
6.1. Estimation degr és des dommages moyens pour les constructions en ma çonnerie	63
6.2 Estimation de degr és des dommages moyens pour les constructions en b êton arm é.....	63
7 Distribution des dommages et sc énaros sismique des d é érentes intensit és	64
7.1 Sc énaros sismique pour Intensit é I=5	64
7.1.1 Distribution des dommages pour les constructions en ma çonnerie.....	64
7.1.2 Distribution des dommages pour les constructions en b êton arm é.....	64
7.2 Sc énaros sismique pour Intensit é I= 6	65
7.2.1 Distribution des dommages pour les constructions en ma çonnerie.....	65
7.2.2 Distribution des dommages pour les constructions en b êton arm é.....	66
7.3 Sc énaros sismique pour Intensit é I=7.....	67
7.3.1 Distribution des dommages pour les constructions en ma çonnerie.....	67

7.3.2	Distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	67
7.4	Scénario sismique pour Intensité I=8... ..	68
7.4.1	Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie	68
7.4.2	Distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	69
7.5	Scénario sismique pour Intensité I=9	70
7.5.1	Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie.....	70
7.5.2	Distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	70
7.6	Scénario sismique pour Intensité I=10	71
7.6.1	Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie.....	71
7.6.2	Distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	72
7.7	Scénario sismique pour Intensité I=11	73
7.7.1	Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie.....	73
7.7.2	Distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	74
7.8	Scénario sismique pour Intensité I=12	74
7.8.1	Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie.....	74
7.8.2	Distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	75
8.	Conclusion.....	76

Conclusion Générale

Conclusion générale.....	77
--------------------------	----

Annexes

Annexe 1 : Valeur de la vulnérabilité.....	78
Annexe 2: Estimation des dommages Moyens.....	79
Annexe 3 : Estimation de la distribution des dommages	80
Références	87

Tables des figures

Figure. 1.1: Sismicité du nord Algérien.....	3
Figure. 1.2: localisation des principales unités géologiques composant la région du Maghreb et le pourtour de la Méditerranée Occidentale.....	5
Figure. 1.3 : Sismicité en Algérie.....	7
Figure. 1.4 : Détail de Convergence de la plaque Africaine avec la plaque Eurasienne.....	7
Figure. 1.5 : Carte sismotectonique de l'Algérie du Nord.....	8
Figure. 1.6 : zonage sismique du territoire national.....	11
Figure 1.7. Accumulation des contraintes dans la zone d'angle.....	14
Figure 1.8. Moment de torsion autour d'un noyau rigide	14
Figure 1.9. Les poutres sont dimensionnées plus largement que les poteaux	14
Figure 1.10. Joint parasismique insuffisant	14
Figure 1.11. Endommagement et rotation des poutres.....	15
Figure 1.12. Éclatement du béton et flambement des armatures à la base	15
Figure 1.13: Poteaux courts	16
Figure 1.14 : Effondrement total du mosquée	16
Figure 1.15: Fissure en X de la maçonnerie	17
Figure 1.16: Effondrement de la maçonnerie	17
Figure 1.17. Effondrement de la maçonnerie	17
Figure 1.18. Interaction mur-portique	18
Figure 1.19: Cisaillement de l'étage souple	18
Figure 1.20: Carte du zonage sismique de la wilaya de Mostaganem (prise à partir de la direction de la protection civile de la wilaya de Mostaganem)	19
Figure 3.1 : Répartition des dommages moyens en fonction des intensités	47
Figure.4.1 : Carte de la wilaya de Mostaganem (format Mapp info)	49

Figure.4.2 : Carte de la ville de Mostaganem	50
Figure.4.3 : Localisation de la zone d'étude dans la carte de Mostaganem	50
Figure.4.4 : Localisation de la zone d'étude par l'utilisation du Google earth (Image satellitaire)	51
Figure .4.5 Catégories des constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude.....	51
Figure4.6. Informations collectées des données à partir de missions d'enquête sur le terrain des bâtiments existants... ..	59
Figure.4.7 Date et type des constructions surveillées	60
Figure 4.8 : Estimation des dommages moyens pour les constructions en maçonnerie	63
Figure 4.9 : Estimation des dommages moyens pour les constructions en béton armé.....	63
Intensité I=5	
Figure 4.10 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie	64
Figure 4.11: distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	64
Intensité I=6	
Figure 4.12 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie	65
Figure 4.13: distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	66
Intensité I=7	
Figure 4.14 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie	67
Figure 4.15: distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	67
Intensité I=8	
Figure 4.16 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie	68
Figure 4.17: distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	69
Intensité I=9	
Figure 4.18 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie	70
Figure 4.19: distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	70
Intensité I=10	
Figure 4.20 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie	71
Figure 4.21: distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	72

Intensité I=11	
Figure 4.22 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie	73
Figure 4.23: distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	73
Intensité I=12	
Figure 4.24 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie	74
Figure 4.25: distribution des dommages pour les constructions en béton armé.....	75
Figure 4.26 Synthèse des scénarios des différents dommages globaux selon EMS 98 de différentes Intensités	76

Tables des photos

Photo 1 :Le Marché couvert en 1938	52
Photo 2 : le marché aujourd'hui	52
Photo 3 : bordj el mehal.....	52
Photo 4 : Algérie poste en 1935	53
Photo 5 : Algérie poste aujourd'hui	53
Photo 6 : CEM en 1909.....	53
Photo 7 : CEM aujourd'hui	53
Photo 8 : Masjid badr en 1950... ..	54
Photo 9 : La mosquée aujourd'hui.....	54
Photo10 : La clinique Qara	54
Photo11 : mosquée Sidi Yahia	55
Photo12 : Tribunal en 1950	55
Photo13 : Tribunal aujourd'hui	55

Photo14 : École Arabe (tidjdit) en 1910.....	56
Photo15 : École aujourd'hui.....	56
Photo16 : B âiment habitation (B1 et B2).....	56
Photo17 : B âiment colisé(B3)	56
Photo18 : B âiment commercial (B4).....	57
Photo19 : Golf Bank Alg érie	57
Photo20 : Banque Nationale D'Alg érie	57
Photo21 : r éservoir d'eau	58
Photo22 : La Mairie de Mostaganem	58

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : S ésme et d ég âts en Alg érie	6
Tableau 2.2 : Les 22 facteurs retenus pour d éterminer V2.....	26
Tableau 2.3 : Équivalence entre le niveau d'endommagement (ou degré de dégâts) et l'indice d'endommagement.....	34
Tableau 2.4 : Synth èse des m éthodes d'évaluation de la vuln érabilit é.....	35
Tableau 3.8 : D étermination de l'indice VI* fonction de la typologie du b âiment	41
Tableau 3.9 : D étermination de l'indice V_m fonction de la typologie du b âiment	43
Tableau 3.10 : Valeurs des facteurs V_m pour les b âiments en b éton arm é.....	46
Tableau.4.1 - Cat égories des constructions existants et leurs distributions dans la zone d'étude	51
Tableau.4.2 Date - type des constructions surveill és.....	60
Tableau.4.3 Les valeurs de la vuln érabilit épour les constructions en ma çonnerie	61

Tableau.4.4	Les valeurs de la vulnérabilité pour les constructions en béton armé.....	62
Tableau.4.5	Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=5.....	65
Tableau.4.6	Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=6.....	66
Tableau.4.7	Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=7.....	68
Tableau.4.8	Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=8.....	69
Tableau.4.9	Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=9.....	71
Tableau.4.10	Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=10.....	72
Tableau.4.11	Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=11.....	74
Tableau.4.12	Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=12.....	75

Symbole utilisé

I_{vi}, V_i	indice de vulnérabilité
K_i	coefficient de pénalité
I	intensité macrosismique
D_k	degrés des dommages
D	dommages moyens
V₋, V₊, V_{min}, V_{max}	Limites d'indice de vulnérabilité
ΔV_f, ΔV_r, ΔV_m	Paramètres variables de vulnérabilité
V	Indice de vulnérabilité

INTRODUCTION GENERALE

Introduction

Depuis 1980, les Règles Parasismiques Algérienne RPA 80, RPA80 version 83, RPA88, RPA99 et enfin les RPA99/version 2003 ont été rendues obligatoires pour tous les bâtiments neufs situés en zone sismique. Si pour le bâti courant, la réglementation technique peut encore être améliorée, il n'en demeure pas moins que le faible taux de renouvellement estimé en Algérie généralement à 1% par an, fait que l'essentiel de la vulnérabilité sismique vient de l'existant.

Partout dans le monde, on constate, depuis quelques décennies, une augmentation sensible des pertes matérielles, économiques et humaines à la suite d'un séisme. Cette situation met en évidence la vulnérabilité de nombreuses régions accentuées par une densité croissante de la population dans les zones urbaines exposées au danger sismique. La préoccupation des autorités pour la gestion du risque liés aux séismes est donc justifiée.

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. Elle 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 le cadre de l'élaboration de plans stratégiques de prévention, l'analyse de la vulnérabilité aux séismes a pour but de développer la connaissance du bâti existant dans une région.

La recherche relative à la vulnérabilité sismique de structures traditionnelles de différentes typologies est relativement récente en Algérie. L'évaluation de la vulnérabilité aux séismes des bâtiments traditionnels et anciens de l'ancienne ville de Mostaganem peut être entreprise en recourant à des méthodes simples telles que la méthode RISK-UE.

Parallèlement, on retrouve en Europe de nombreuses études sur la conservation des bâtiments historiques de différentes typologies et l'évaluation de leur vulnérabilité sismique. Parmi ces structures, les constructions à grande d'importance (trésor, banque, mairie ...) sont considérées comme les plus exposées au risque et ceci pour des événements sismiques de différents intensité ayant peu d'effets sur les bâtiments ordinaires. Cette vulnérabilité est liée principalement à leur conception architecturale et à leurs éléments constitutifs tels :

1) Conception technique du bâtiment, 2) Condition topographique ; 3) Type de construction

INTRODUCTION GENERALE

; 4) L'âge de l'immeuble. 5) Nombre d'étages ; 6) Nombre des sous-sols ; 7) l'histoire des bâtiments, dommages, réparation ; 7) Travaux d'extension, ...etc.

Cette situation a mené au développement de procédures spécifiques d'évaluation de la vulnérabilité des constructions.

Objectif du mémoire

Dans la perspective d'approfondir l'étude du comportement des structures pour la région de la wilaya de Mostaganem, cette recherche se penche sur un échantillon de 19 structures de différentes typologies et groupe d'usage, construites avant et après 1980. Il s'agit de fournir l'information sur leur capacité à résister aux forces sismiques (mesurer l'endommagement de chaque structure) par la constitution des scénarios sismiques. De manière spécifique, les objectifs sont les suivants :

- Classer les structures selon leur indice de vulnérabilité
- Identifier les éléments structuraux influençant sur la vulnérabilité sismique des structures ;
- Définir la distribution des dommages dans le site d'étude.
- Proposer une méthode d'évaluation rapide de la vulnérabilité sismique adaptée au contexte Mostaganemois.

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

Le premier chapitre est consacré au risque sismique en Algérie. Une présentation de l'histoire des phénomènes sismiques qui ont secoué l'Algérie de façon générale et la ville de Mostaganem en particulier est entreprise.

Chapitre 2 qui concerne les méthodes empiriques d'évaluation de la vulnérabilité sismique des constructions.

Le troisième chapitre : Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité sismique par approche RisK_UE.

Chapitre 4 nous proposons une méthode rapide d'évaluation de la vulnérabilité des constructions avec le tracé de courbes de vulnérabilité, notamment des courbes des dommages moyens et courbes des distributions des dommages.

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

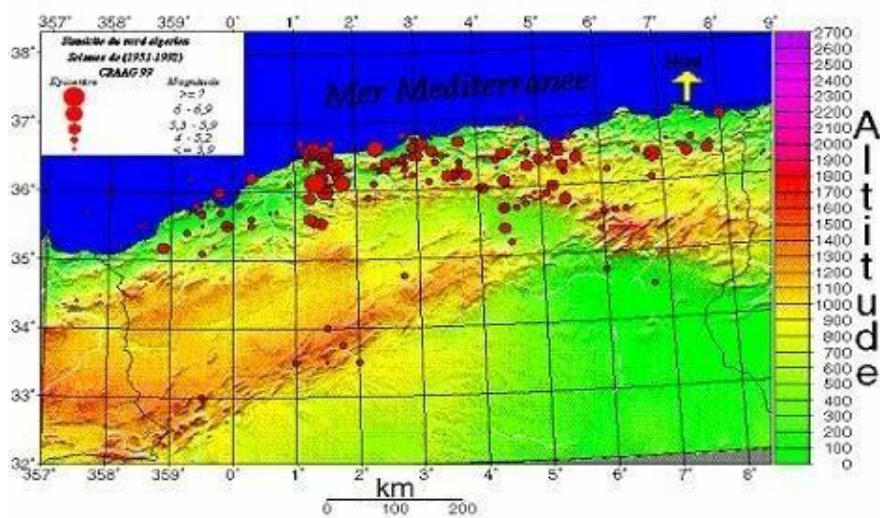
Introduction :

L'Algérie du Nord est frappée régulièrement par des séismes parfois importants mais souvent modérés ou faibles. Les séismes modérés ou forts génèrent bien souvent des catastrophes difficiles à surmonter car notre pays, à l'instar de beaucoup d'autres, reste encore mal préparé pour affronter de tels cataclysmes.

S'il est vrai qu'avant la catastrophe d'El Asnam (10 octobre 1980, M=7.3), peu de choses étaient connues de la sismicité algérienne, les leçons données par ce séisme furent multiples et eurent un impact important. Ce séisme a permis de démontrer scientifiquement que de violents séismes pouvaient se produire en Algérie du Nord, que cette région subissait le rapprochement de la plaque européenne, qu'il fallait renforcer la surveillance sismique du territoire, se munir de normes de construction parasismiques, et se doter à tout prix de d'un plan de prévention du risque.

Aujourd'hui, l'installation d'un réseau de surveillance sismique nationale ainsi que tous les travaux scientifiques qui sont réalisés ou qui sont actuellement en cours, alors que beaucoup d'efforts restent à faire, permettent quand même de répondre à plusieurs des interrogations posées. Ces réponses sont d'une extrême importance pour l'aménagement du territoire et pour la réduction du risque sismique dans notre pays, si on fait bon usage des connaissances et moyens disponibles.

Figure. 1.1: Sismicité du nord Algérien.



Source : rapport Risque sismique et redéploiement des activités et de l'urbanisation

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

1. Historique de la sismicité en Algérie

1.1. sismicité du territoire maghrébin

Le catalogue des séismes du Maghreb de Bounouar (Bounouar.D 1994)¹ qui classe tous les séismes ayant affectés le Maghreb et avec plus de détails pour l'Algérie ont montré que cette sismicité est effective. En effet, 7724 événements sismiques ont été recensés dans cette région durant le XX^{ème} de 1900 à 1990. Deux mille soixante-deux (2062) séismes de magnitudes égale ou supérieur à 3.0 ont secoué le Maghreb dont 43 sont supérieurs ou égaux à 5.0. La majorité des 43 tremblements de terre ont eu lieu en Algérie, certain au Maroc et très peu en Tunisie.

L'observation plus détaillée de la sismicité historique qui couvre la période de XVI^{ème} Au XVIII^{ème} siècle donne les résultats suivants (ABDESSEMED-FOUFA. A 2007)² :

- Algérie : de 1365 à 1895 : 51 événements dont 16 séismes à Alger et sa région.
- Maroc : 846 à 1899 : 74 événements dont 11 séismes à Fès.
- Tunisie : 412 à 1899 : 39 événements dont 08 en Tunis.

A vu de ces résultats, il semble que la Tunisie est le pays la moins affecté par les séismes. En effet la majorité de ces événements ont atteint la magnitude égale ou supérieure à 3 qui n'occasionne en générale pas de dégâts d'où une sismicité modérée.

Le Maroc est un pays à sismicité récurrente durant la période pré instrumentale tandis que depuis le XX^{ème} siècle les séismes de faible à moyenne magnitude sont relativement fréquents que les séismes de forte magnitude. Toutefois il s'est produit des séismes récents qui ont été destructeurs (Rissani 1992, Al Hoceima 1994 et 2004) (HAHOU 2005)³.

L'Algérie est considérée comme le pays où la sismicité est la plus importante par rapport aux pays nord de l'Afrique. En effet les séismes de l'ère instrumentale sont assez nombreux et une bonne proportion a atteint une magnitude supérieure à 5 jusqu'à 7 qui a engendré des dommages considérables (EL Asnam 1980, Tipaza 1989, Ain Ténouchent 2000, Alger-Boumerdès 2003).

1.2. Sismicité de l'Algérie :

La sismicité historique, qui correspond aux séismes décrits dans les récits historiques et autres archives avant la période instrumentale, s'avère être une importante source de renseignement quant à la position probable et approximative de failles actives. Rappelons pour mémoire que

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

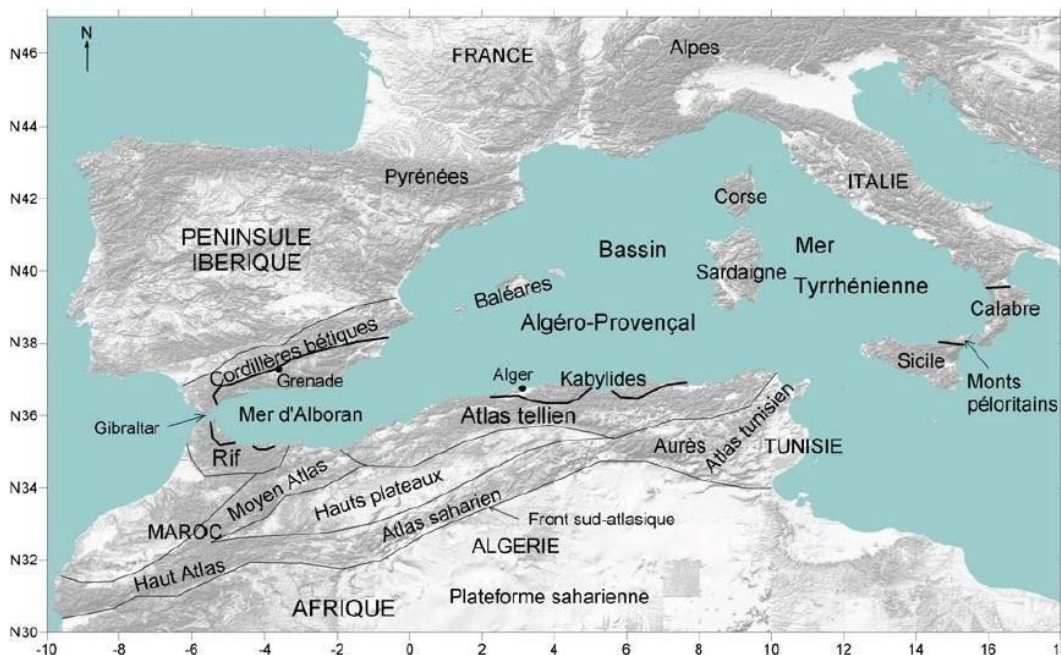
l'avènement de l'instrumentation sismique se fit en Algérie dans les années 1910, mais que les sismomètres ne sont utilisés de manière fiable et systématique (car devenus assez nombreux) que bien plus tard, dans les années 1970.

Historiquement, l'Algérie est connue pour être une zone sismique très active. Le catalogue de sismicité historique (Bennouar.D, 1994 ; CRAAG, 1994) ne couvre qu'une infime partie de l'histoire de la sismicité de cette région. Les investigations de paléosismicité effectuées après le séisme d'El Asnam ont permis de révéler l'existence de traces d'anciens séismes (sismites) qui ont affecté cette région (Meghraoui, 1988)⁴.

Ces travaux ont montré l'existence de plusieurs séismes importants avec rupture en surface ($M_s > 6,5$) ayant affecté la région depuis au moins 600 ans environ (M.H.A.T 2004)⁵. Ces données de paléosismicité permettent également d'estimer la récurrence des événements sismiques qui ont affecté cette région.

Cette activité sismique est associée aux structures tectoniques correspondant aux chaînes montagneuses telliennes et aux dépressions qui les limitent. Les travaux de tectonique en Méditerranée occidentale (Groupe de Recherche Néotectonique de l'Arc de Gibraltar, 1977)⁶ montrent que l'ensemble de ces déformations tectoniques est à mettre en relation avec l'histoire tectonique de la région du Maghreb et de la Méditerranée occidentale.

Figure. 1.2: localisation des principales unités géologiques composant la région du Maghreb et le pourtour de la Méditerranée Occidentale.



Source : Anne DOMZIG, Déformation active et récente, et structuration tectono-sédimentaire de la marge sous-marine algérienne, THESE de doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

1.2.1. L'activité sismique depuis l'antiquité

Du point de vue de l'histoire, l'activité sismique en Algérie du Nord est connue depuis le 02 Janvier 1365 date à laquelle s'est produit le séisme d'Alger (Al Suyuti, 1505, Ambraseys, 1988)⁷ (tableau 4). Antérieurement à cette date, seulement deux séismes ont pu être recensés, touchant les villes de : (Séif 419 et Ain-Temouchent 699) . Durant l'époque romaine (CRAAG 2006)⁸, faute de disponibilité de documentation ou d'étude sur les archives relatives aux époques médiévale et antique de notre pays.

1.2.2. L'activité sismique depuis 1365 :

Depuis 1365, de nombreux séismes se sont produits, parmi eux certains violents et meurtriers. Parmi ces séismes, nous pouvons citer ceux qui ont touché Alger en 1716, Oran en 1790, Gouraya en 1891. Dans une période plus récente, on peut citer les séismes d'Orléans ville (09.09.1954), d'El Asnam (10.10.1980) de Constantine (27.10.1985), de Tipaza (29.10.1989), de Mascara (17.08.1994), d'Alger (04.09.1996), de Ain-Temouchent (22.12.1999), de Beni Ouartilane (10.11.2000) et de Boumerdes- Alger, (21.05. 2003) (CRAAG 2006)⁹.

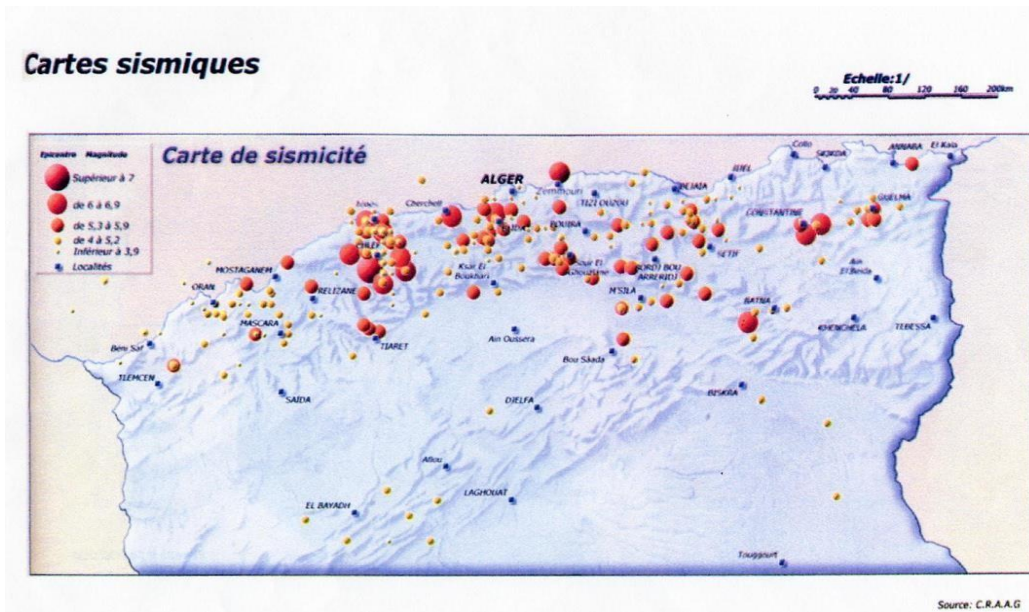
- **les séismes en l'Algérie :**

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

Tableau1. 1 : Séisme et dégâts Source : CRAAG ; Les séismes en Algérie de 2002 à 2006

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

Figure. 1.3 : Sismicité en Algérie



Source : Protection Civil de la ville d'Alger , Hydra , Parado.

2. Caractéristiques de la sismicité algérienne :

De par les informations fournies par la sismicité historique et par les études de sismotectonique, de sismologie, de paléosismologie, d'aléa sismique, nous possédons aujourd'hui des indications importantes sur l'activité sismique en Algérie du Nord.

L'Algérie se trouve sur la plaque africaine laquelle est en collision avec la plaque eurasienne plaques étant limitées par une longue zone sismique qui s'étend des Açores à la Turquie en passant par Gibraltar, le Maghreb , l'Italie , la Yougoslavie , la Grèce ... (CRAAG)

Figure. 1.4 : D étail de Convergence de la plaque Africaine avec la plaque Eurasienne

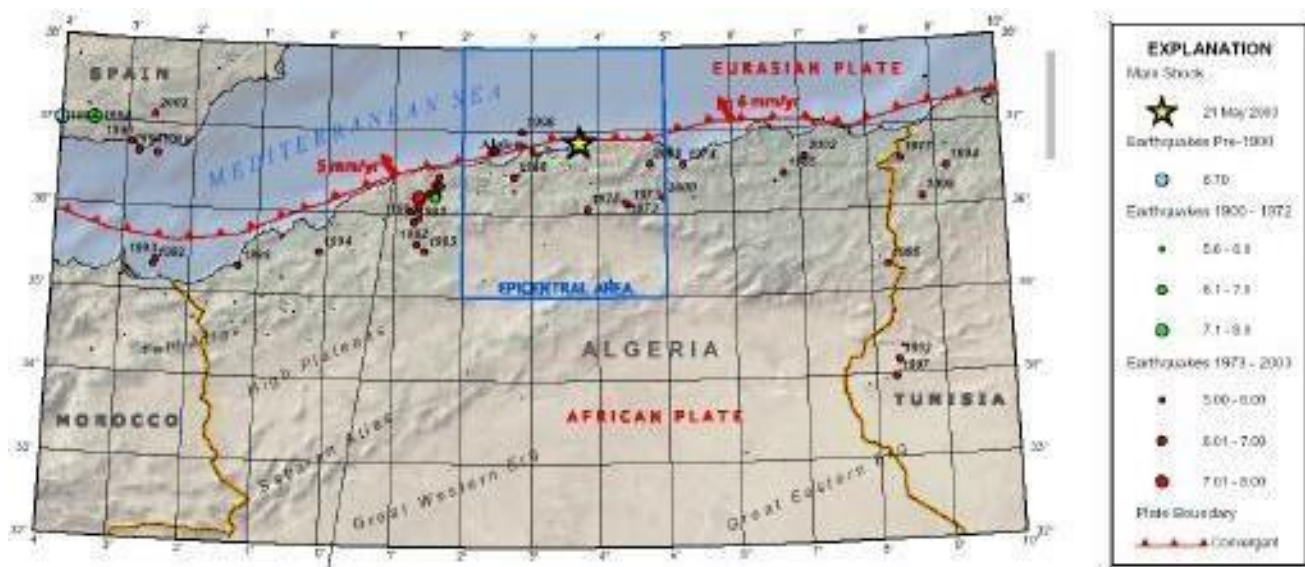


Source : BRGM ; le risque sismique en Alpe Provence

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

Le mouvement de la confrontation entre la plaque eurasienne et la plaque africaine a donné naissance à de gigantesques fracturations sous formes de failles géologiques dont la conséquence la naissance du relief important de l'Algérie du nord. Les vitesses de rapprochement entre la plaque africaine et eurasienne varient de **0.5 à 1 cm/an** en méditerranée occidentale, à **2.5 cm/an** en méditerranée orientale (BADDARI .K ; DJEDDI.M 2002)¹⁰. Ces vitesses sont déduites des vecteurs de déplacements obtenus à partir de l'expansion océanique dans l'atlantique.

Figure. 1.5 : Carte sismotectonique de l'Algérie du Nord .



Source : SEISME DE Boumerdes du 21 Mai 2003, synthèse de rapport de la mission AFPS.

Les principales structures compressives récentes dans la chaîne tellienne sont :

- Le pli-faille d'el Asnam
- Le pli-faille de Bou Kadir
- Le pli-faille de Dahra
- Le pli-faille de Ténès-Abou el -Hassan
- Le pli-faille de Sahel D'Alger
- Le pli-faille de Murdjadjo.

Les séismes qui se produisent en Algérie s'expliquent par une accumulation des contraintes autour des failles actives qui au-delà d'un seuil relâche l'énergie emmagasinée sous forme d'ondes sismiques. C'est donc ces ondes que les personnes ressentent, lorsque le séisme qui se produit est important (CRAAG 2006)¹¹. Les failles actives de l'Atlas tellien sont : la faille D'el Asnam, la faille

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

du Dahra, la faille de Ténès Abou el –Hassan (Ouled Abdallah), la faille du Sahel d'Alger, la faille Murdjadjo, la faille de Chott El hammam et la Faille de Kherrata. Les autres régions sismoactives d'Algérie sont : la région de Mascara, la région de l'Atlas de Blida-Médéa, la région de Jijel, la région de Guelma et la région de Constantine (BADDARI.K ; DJEDDI.M 2002) ¹².

Nous pouvons ainsi dire que cette activité se concentre essentiellement dans la région Nord du pays, quoique de façon très épisodique, quelques micro secousses sont enregistrées dans la partie saharienne. Dans la région Nord, la région tellienne est la plus active. Le zonage effectué indique que les régions d'El Asnam, Oran et Alger sont les régions les plus menacées puisque dans ces zones, les séismes les plus importants se sont produits.

L'analyse de la carte de sismicité de la région maghrébine montre que la sismicité est localisée principalement dans les zones côtières, en mer d'Alboran au Nord d'Oran et sur l'ensemble de la marge méditerranéenne. Cette sismicité est liée aux mouvements tectoniques complexes de convergence de la plaque africaine au Sud et de la plaque européenne au Nord. Elle est essentiellement marquée par des séismes superficiels -profondeur inférieure à 20 km- qui causent des dégâts considérables dans les zones épacentrales.

Jusqu'au 21 mai 2003, cette activité était localisée dans les régions de l'Ouest algérien, d'Ech Cheliffet de la Mitidja à l'Ouest d'Alger. La région de l'Est algérois, reconnue sismotectoniquement active depuis 1988 (M.H.A.T 2004)¹³ a été sérieusement affecté le 21 mai 2003 par un tremblement de terre de Magnitude MI= 6,8 causant d'importants dégâts humains et matériels.

Les autres régions du pays sont caractérisées par une sismicité diffuse localisée dans les zones tectoniques et bassins quaternaires des régions des Babors, du Hodna et du Constantinois.

Une importante activité sismique se trouve localisée dans les zones côtières et en mer Méditerranée. Dans cette région de la Méditerranée occidentale, le contact entre les plaques africaine et eurasiennne, a souvent été simplifié et souvent associé à la direction linéaire Est-Ouest que décrit la sismicité depuis l'arc de Gibraltar à l'Ouest jusqu'à l'arc Calabro-sicilien à l'Est. Cependant, *«ce contact est beaucoup plus complexe et correspond à une juxtaposition de blocs continentaux et océaniques, plus ou moins mobiles et déformables»* (BADDARI.K ; DJEDDI.M 2002) ¹⁴. Cette situation est marquée par la confrontation des deux domaines stables et rigides formés par les plateformes européenne et africaine. L'étude des séismes récents a permis de préciser considérablement les caractéristiques des séismes qui se produisent en Algérie. C'est ainsi, que nous pouvons affirmer que les séismes qui se produisent dans notre région sont en général faibles à modérés atteignant

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

Par fois la magnitude 6.0(P.C.A 2007)¹⁵.

Dans certains cas, ils peuvent être violents comme ce fut le cas à El Asnam ; ce séisme est d'ailleurs considéré comme le plus important qu'ait connu la Méditerranée Occidentale. Toutefois, les séismes algériens sont d'autre part superficiels (P.C.A 2007)¹⁶ ne dépassant pas en profondeur les 15 km, ce qui les rend plus perceptibles par la population et donc plus dangereux.

Tous les séismes récents ont souvent mis en relief des structures actives non connues précédemment, indiquant la complexité de l'identification des structures actives profondes. Il est donc important de noter que des efforts importants doivent être réalisés pour localiser de nouvelles structures actives.

2.1. Zones sismiques en Algérie:

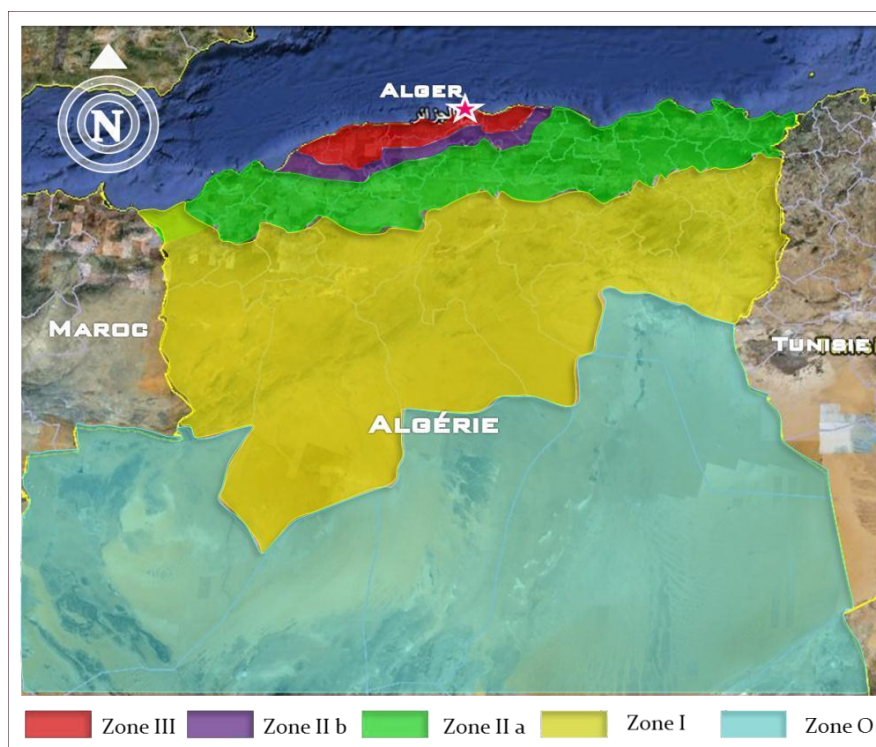
Référence : le zonage sismique 2003 (arrêté du 11 Janvier 2004 portant approbation du document technique réglementaire relatif aux « règles parasismiques algériennes RPA 99/ version 2003 ») et les catalogues des séismes en Algérie (1994 et 2002).

Le zonage sismique du territoire algérien montre que la bande tellienne notamment dans sa frange littorale est soumise au degré d'aléas sismique le plus élevé. Le territoire national est divisé en cinq zones de sismicité croissante, définies :

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

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

Figure. 1. 6 : zonage sismique du territoire national.



Source : Auteur en référence du RPA99 version (2003)/ APRES ADDENDA

3 Risque et aléa sismique en Algérie :

L'Algérie, comme les autres pays méditerranéens, est sujette à une activité sismique importante. Située 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 donné¹⁷.

•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,

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

glissement de terrain)¹⁸

4 Le sisme 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'emballé et amplifie le mouvement.¹⁹

4.1 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 points²⁰

- 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

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

- 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.

- **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 1.7, 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 1.8)

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

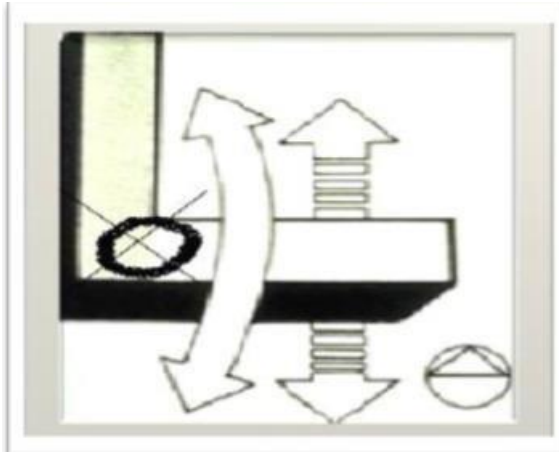


Figure1.7. Accumulation des contraintes dans la zone d'angle

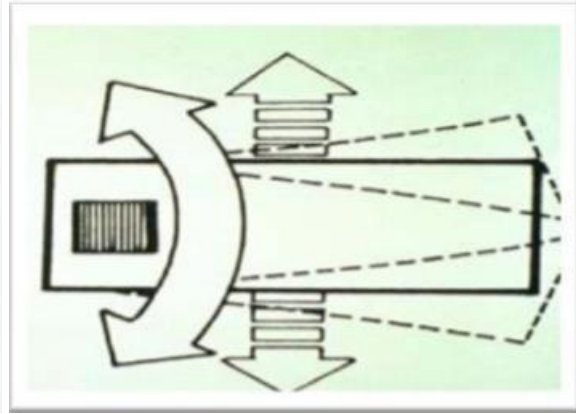


Figure1.8. Moment de torsion autour d'un noyau rigide.

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 (figure1.9).



Figure 1.9. Les poutres sont dimensionnées plus largement que les poteaux



Figure1.10. Joint parasismique insuffisant

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

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 1.10)

- **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 1.11 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 jugé insuffisante ou inexistante. Ce qui a provoqué des désordres dans le bâtiment voisin (à droite de la photo).

Sur la figure 1.12, 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 des dégradations. Cet éclatement vient du fait que les crochets des étriers ne soient pas conformes à la réglementation, ils doivent être coudés à 135°²¹



Figure 1.11. Endommagement et rotation des poutres



Figure 1.12. Éclatement du béton et flambement des armatures à la base

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

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 fragile²²

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

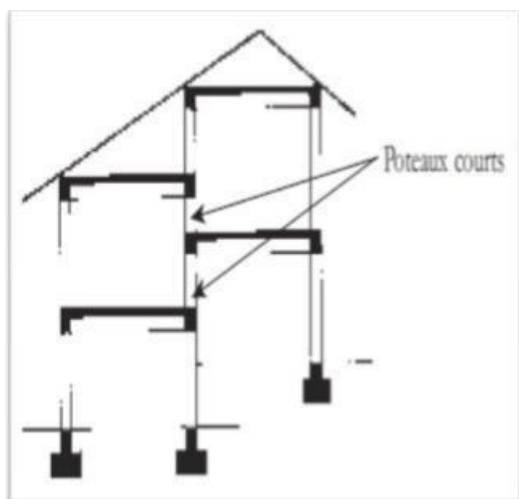


Figure1.13: Poteaux courts



Figure1.14 : Effondrement total du mosque

❖ 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 1.15) .

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE



Figure 1.15: Fissure en X de la maçonnerie maçonnerie



Figure 1.16: Effondrement de la



Figure 1.17. 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 15 à 17). 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 1.18).

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

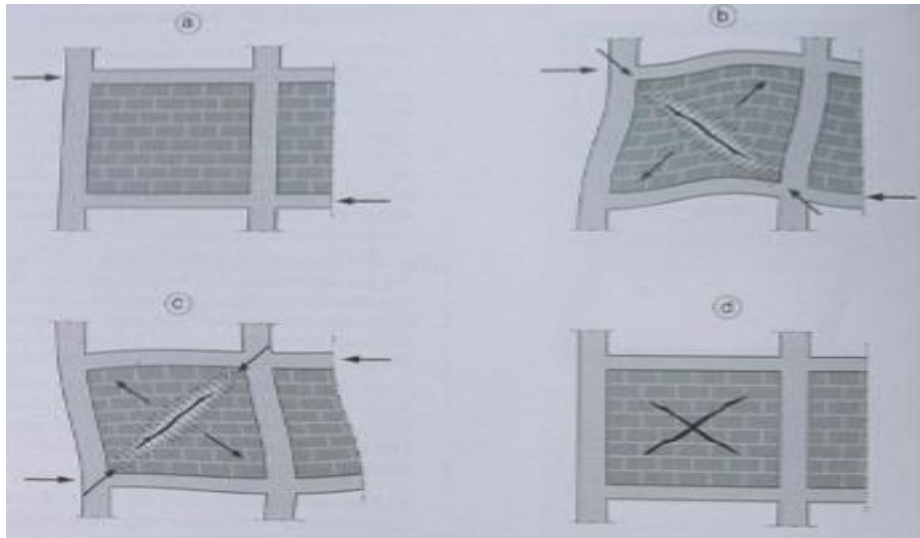


Figure 1.18. Interaction mur-portique

❖ **Pr é s e n c e d e s n i v e a u x s o u p l e s**

De nombreux b â t i m e n t s c o m p o r t e n t u n o u p l u s i e u r s n i v e a u x d o n t l a r i g i d i t é h o r i z o n t a l e e s t s e n s i b l e m e n t i n f é r i e u r e à c e l l e d e s a u t r e s é t a g e s .

C'est le cas des b â t i m e n t s s u r " p i l o t i s " (f i g u r e 1.19), d e m ê m e q u e d e c e u x q u i p r é s e n t e n t d e g r a n d e s p o r t e s , v i t r i n e s o u f e n ê t r e s c o n c e n t r é e s s u r c e r t a i n s n i v e a u x (c o m m e r c e s , g a r a g e s , h ô t e l s , b â t i m e n t s a d m i n i s t r a t i f s , e t c .) . C e s é t a g e s s o n t p l u s v u l n é r a b l e s e t s u b i s s e n t d e s d é f o r m a t i o n s p l u s i m p o r t a n t e s .



Figure 1.19: Cisaillement de l'étage souple.

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

5 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.

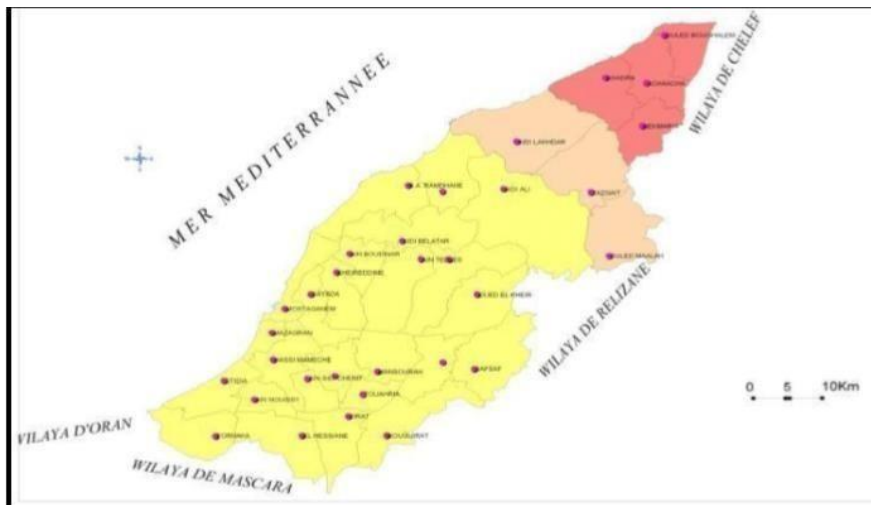


Figure 1.20: Carte du zonage sismique de la wilaya de Mostaganem (prise à partir de la direction de la protection civile de la wilaya de Mostaganem)

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité 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 impliqués 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)²³, VULNERALP (2005)²⁴, CETE Méditerranée (1990) et Méthode FEMA-154²⁵

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

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

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

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 caractérisés 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 associé 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 $VI^* = \sum t q_t VI^*$ où q_t est le pourcentage

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

de bâtiment appartenant à une catégorie spécifique. On obtient de la même manière les termes ΔV_m , ΔV_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.

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

◆ 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 caractérisés, et regroupés 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 Beta plutôt que la loi de distribution binomiale classiquement utilisée. Leur choix se fonde sur des comparaisons établies entre les répartitions de dommages observés 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

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

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 (VA), le matériau structural (VM) et l'état d'entretien (VE) ($V1 = VA + VM + VE$), 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,

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

travaux compilés dans son bulletin technique n°24 de mars 2002 .

Les 22 facteurs retenus pour déterminer V_2 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	V_i
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)			25	
B	Proximité de changement de pente ($d < 2 h$)			50	
C	Soutènement ou talus ($d < 2 h$)			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 courts			25	
P	Présence de poteaux éancés			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 2.2 : Les 22 facteurs retenus pour déterminer V_2 .

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

• 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 juger de la pertinence des éléments constitutifs de la méthode.

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

◆ 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

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

(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 degré 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

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

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 Giovinaziet 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 ;

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

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

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

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

➤ 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

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

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 , βd_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.

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

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 2.3 : Équivalence entre le niveau d'endommagement (ou degré de dégâts) et l'indice d'endommagement.

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.

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

Méthode	Principe	Formulation	Observations
RiskUE	<p>Evaluer un indice de vulnérabilité pour 1 bâtiment courant $V_I \in [0,1]$</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>Talque :</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>$P[d_s/S_d] = \Phi(\beta d_s, S_d, d_s)$: 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 2.4 : Synthèse des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

Conclusion

Cette première partie avait pour objectif de présenter les conséquences plus ou moins graves que peut occasionner un tremblement de terre sur les vies humaines et les biens matériels. Il paraît inéluctable donc, qu'une prise de conscience de la part des collectivités s'impose.

Il s'agissait dans un premier temps de passer en revue l'ensemble des règlements et des textes régissant la conception parasismique, avant de se pencher à adopter une méthode d'évaluation du risque sismique. Pour se faire, nous avons essayé de passer en synthèse les cas de pathologie post sismique communément observés suite à l'occurrence des événements sismiques.

A partir de ces informations, nous avons essayé de proposer une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments existants sur la base d'une approche qualitative inspirée de celle utilisée dans le cadre du projet RISK-UE

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

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

Cette méthodologie a été développée par les institutions partenaires du projet RISK-UE 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.

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 :

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 présente 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 inférieure et supérieure 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.

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

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'îlot.
- 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**.

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

- **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**

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

		Description	Valeurs de VI représentatives				
			VI_{min}	VI^-	VI^*	VI^+	VI_{max}
	M1	Murs porteurs en maçonnerie de pierres					
	M1.1	Moellons	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02

**Méthodologie D'évaluation De La Vulnérabilité Sismique
Par Approche RISK-UE**

	M1.2	Pierre sappareill ées	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 ma çonnerie non arm é					
	M3	Planchers bois	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M3.1						
	M3.2	Vo îtes en ma çonnerie	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
	M3.3	Planchers avec poutrelles m étalliques et Ma çonnerie	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
	M3.4	Planchers en b éton arm é	0.30	0.49	0.616	0.793	0.86
	M4	Murs porteurs en ma çonnerie arm ée ou Confine	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
	M5	Ma çonnerie globalement renforc ée	0.30	0.49	0.694	0.953	1.02
Structure en b éton arm é	RC1	Structures poteaux-poutres en b éton arm é	-0.02	0.047	0.442	0.80	1.02
	RC2	Murs porteurs en b éton arm é	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
	RC3.1	Syst ème poteaux/poutres avec mure de remplissage En ma çonnerie non arm é					
	RC3.1	Murs de remplissage en ma çonnerie,	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98

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

		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 en portique	-0.02	0.467	0.363	0.64	0.86
	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 3.8 : Détermination de l'indice VI* fonction de la typologie du bâtiment

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

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

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 présenté 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 traités.

➤ 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 étage ou plus)	+0.06
Système structural	Épaisseur des murs	-0.04 à +0.04
	Distance entre les murs	
	Connections entre les murs (tirants, cornières d'assemblage)	
	Connections entre éléments horizontaux et	

**Méthodologie D'évaluation De La Vulnérabilité Sismique
Par Approche RISK-UE**

	verticaux (diaphragmes)	
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 :	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 3.9: Détermination de l'indice V_m fonction de la typologie du bâtiment

**Méthodologie D'évaluation De La Vulnérabilité Sismique
Par Approche RISK-UE**

➤ **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

**Méthodologie D'évaluation De La Vulnérabilité Sismique
Par Approche RISK-UE**

Irrégularité en plan	Forme	+0.0 4	+0.02	0
	Torsion	+0.0 2	+0.01	0
Irrégularité en élévation		+0.0 4	+0.02	0
Poteaux courts		+0.0 2	+0.01	0
Fenêtre arquée (bow window)		+0.0 4	+0.02	0
Joint parasismique insuffisant		+0.0 4	0	0
Fondations	Semelles filantes	-0.04	0	0
	Semelles Filantes avec longrines	0	0	0

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

Morphologie du sol	Pente	+0.02	+0.02	+0.02
	Escarpelement	+0.04	+0.02	+0.04

Tableau 3. 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 V_I .

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

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

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 :

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

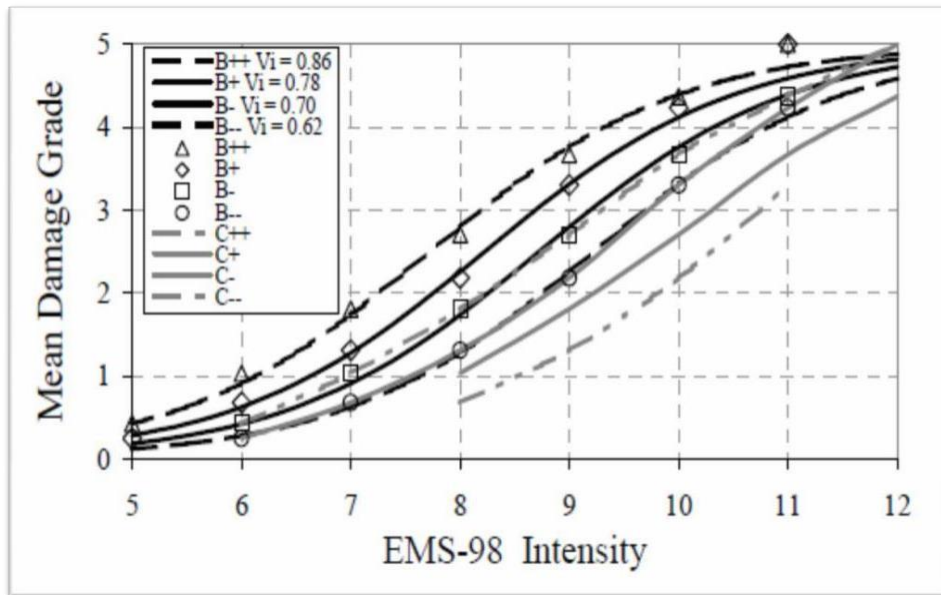


Figure 3.1 : Répartition des dommages moyens en fonction des intensités

L'intensité macrosismique I et l'échelle des degrés de dommage à laquelle se rapporte

M_d 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 :

$$a = 0$$

$$t = 8$$

$$b = 6$$

$$r = t (0.007 \mu_D^3 - 0.052 \mu_D^2 + 0.2875 \mu_D)$$

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

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.

Étude des scénarios sismiques

1 Scénario du risque sismique sur les constructions de la ville de Mostaganem

La réalisation de scénario sismique consiste à croiser les données issues de l'aléa sismique (intensités) avec celles issues de l'analyse de la vulnérabilité. Les analyses du système urbain vont permettre d'interpréter les scénarios en termes de dommages fonctionnels.

Il nous est donc possible d'estimer le niveau de dommage des différents bâtiments, les coûts directs liés à ces dommages ainsi que les préjudices humains (décès et blessés). Des analyses du dysfonctionnement du système suite aux séismes de scénario sont également menées.

2 Zone de couverture d'étude des bâtiments

La présente recherche concerne l'expertise des 19 constructions existantes classées en différentes catégories (équipements, habitats, commerces), et qui sont situés dans le cœur du chef lieu de la wilaya de Mostaganem comme présentés dans les figures ci-dessous.

✓ Localisation du chef lieu de la wilaya de Mostaganem

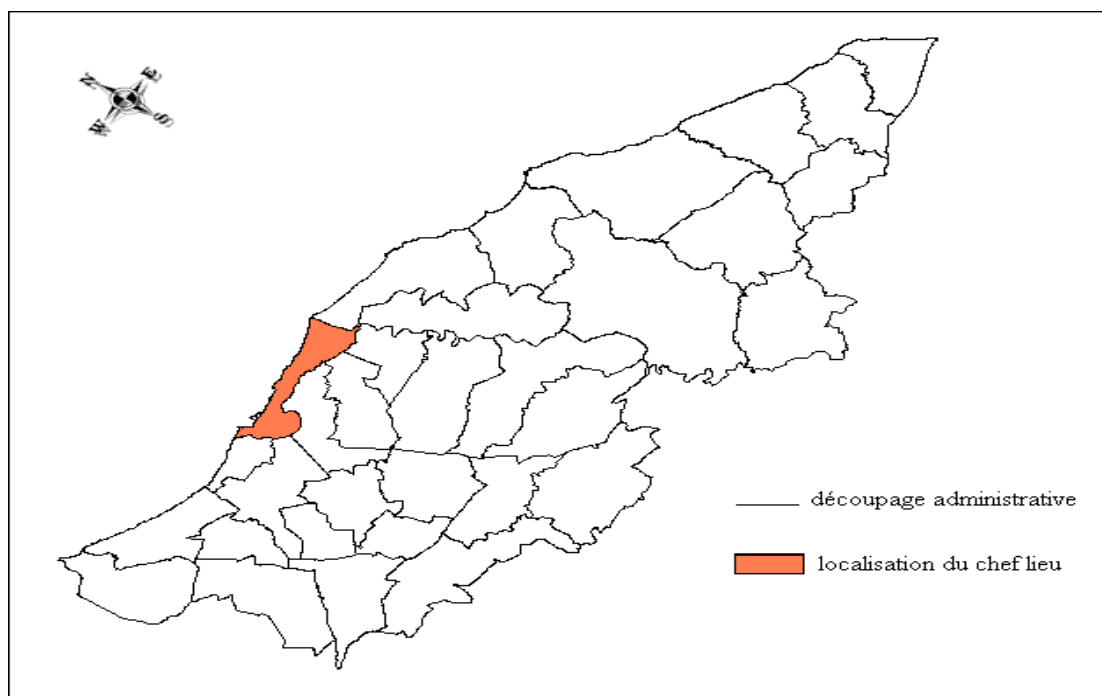


Figure.4.1 : Carte de la wilaya de Mostaganem (format Mapp info).

Étude des scénarios sismiques

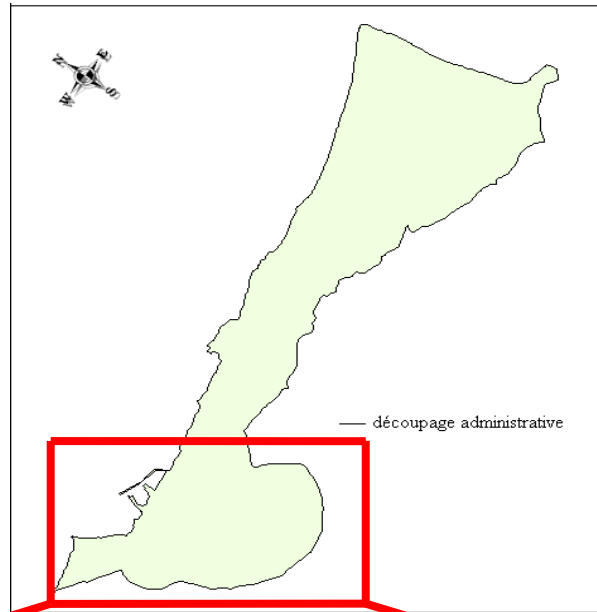


Figure.4.2 : Carte de la ville de Mostaganem

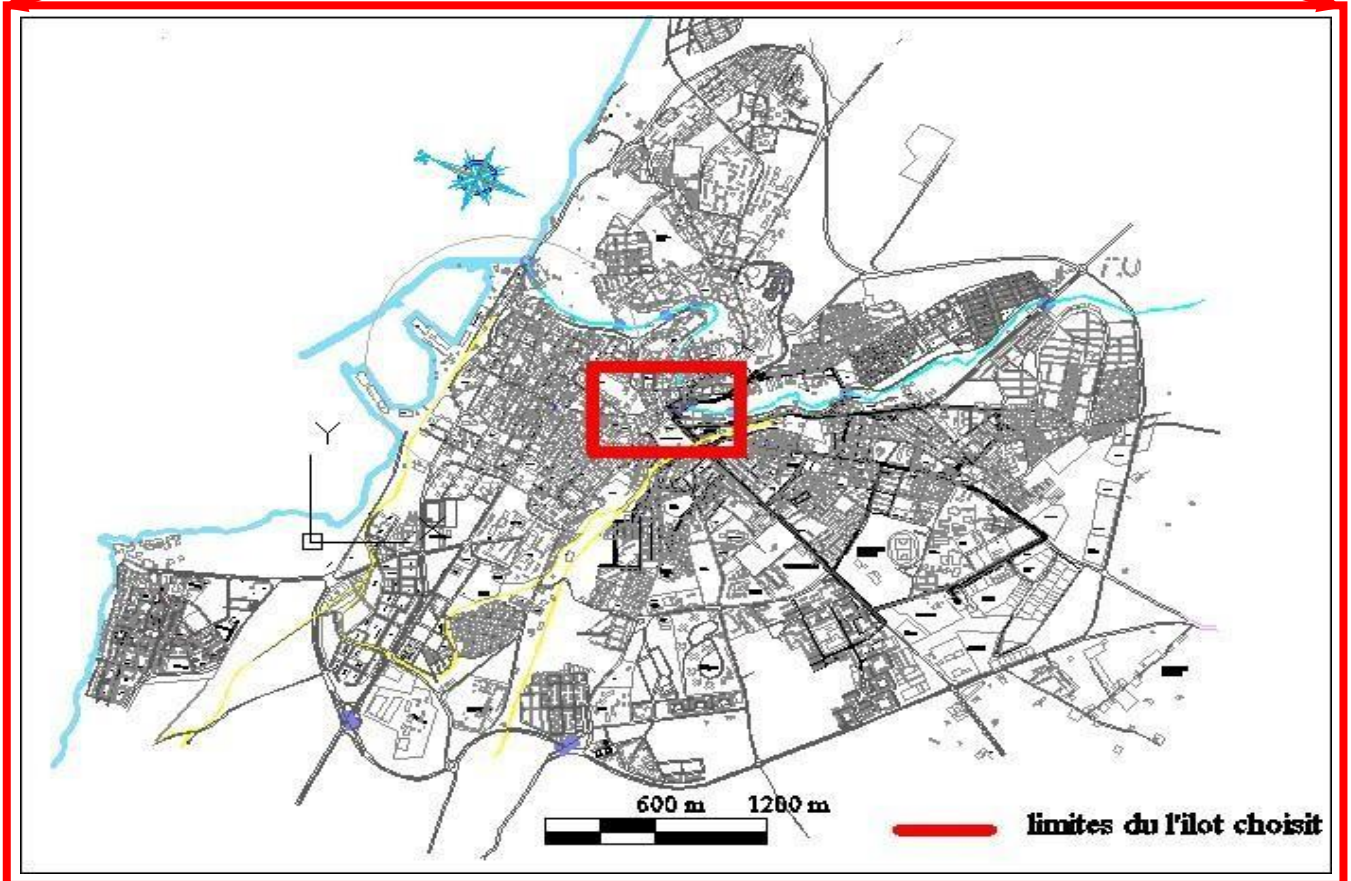


Figure.4.3 : Localisation de la zone d'étude dans la carte de Mostaganem

Étude des scenarios sismiques

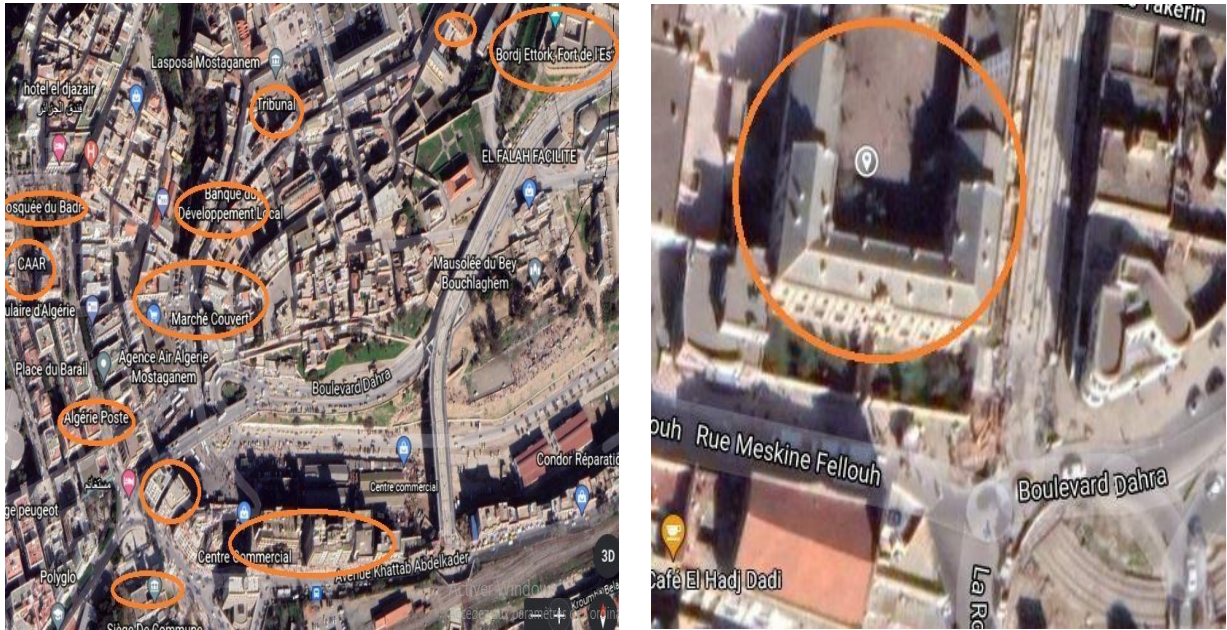


Figure.4.4 : Localisation de la zone d'étude par l'utilisation du Google earth (Image satellitaire)

Tableau.4.1 - Catégories des constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude.

Usage des constructions	Equipements	Habitats collectif	commerce	totale
Constructions d'îlot choisis	6	11	2	19
pourcentage	31.58%	57.89%	10.53%	100%

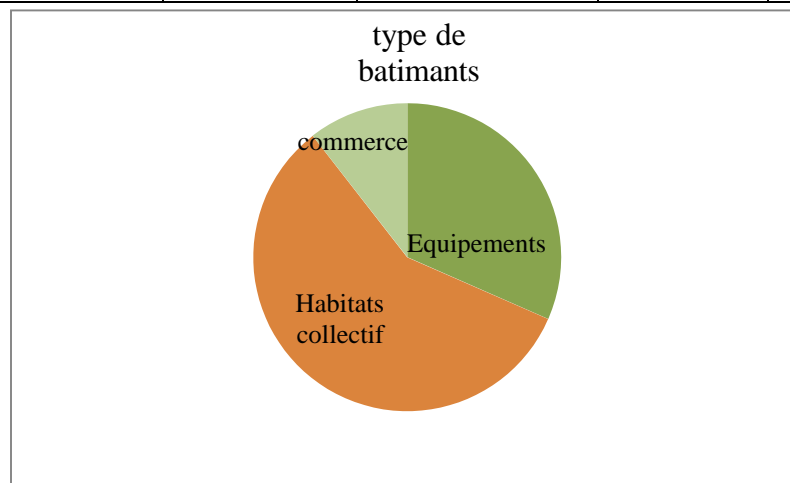


Figure .4.5 Catégories des constructions existantes et leurs distributions dans la zone d'étude.

Étude des scénarios sismiques

3 Les Structures que nous avons évaluées

3-1 Le Marché couvert :

Marché couvert a été construit entre 1930 et 1931

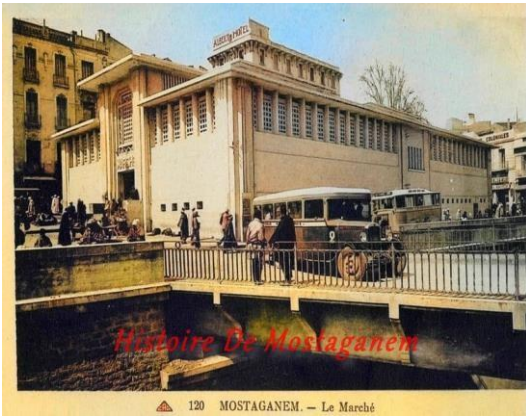


Photo 1 : Le Marché couvert en 1938

Photo 2 : le marché aujourd'hui

3-2 BORDJ EL MEHAL :

Fut construit par Youssef Ibn tachfine (XI^e- XII^e siècle)



Photo 3 : bordj el mehal

Étude des scénarios sismiques

3-3 Algérie poste

La poste Le bureau de poste a été construite en 1914, puis agrandi et changé de forme en 1926, comme c'est le cas aujourd'hui.



Photo 4 : Algérie poste en 1935



Photo 5 : Algérie poste aujourd'hui

3-4 CEM Amaros Muammar

. La photo 6 est prise du haut de la , matmar plus précisément à côté de l'ancienne école Mijher et maintenant le collège du martyr Amaros Muammar. Le jardin appartenait à l'école Mijher pendant cette période.

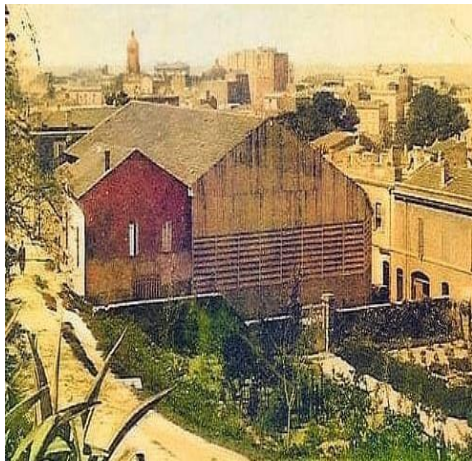


Photo 6 : CEM en 1909



Photo 7 : CEM aujourd'hui

Étude des scénarios sismiques

3-5 Mosqu é Badr :

La photo 8 est Mostaganem en 1950, une église catholique et place 1 novembre 1954 maintenant mosqu é Badr maintenant et (Saint Baptiste Catholique) .

Cette église a été construite de 1847 à 1848. Et pour information, il y avait une petite mosqu é Elle a été démolie dans les années 70. À la fin du siècle dernier, elle a été transformée en mosqu é Badr, où le minaret a été restauré et construit.



Photo8: Masdjid badr en 1950

Photo9: La mosqu é aujourd'hui

3-6 La clinique m édicale Habib Qara

La clinique m édicale pour Habib Qara a été construite entre 1900 et 1905



Photo10 : La clinique Qara

Étude des scénarios sismiques

3-7 La mosquée Sidi Yahia au quartier Tobana (Mostaganem)

On dit que c'est la plus ancienne mosquée de la région, car elle a été construite dans l'année 650 AH correspondant à l'année 1252 après JC selon la plaque de fondation.



Photo11 : mosquée Sidi Yahia

3-8 Tribunal Quartier matmar

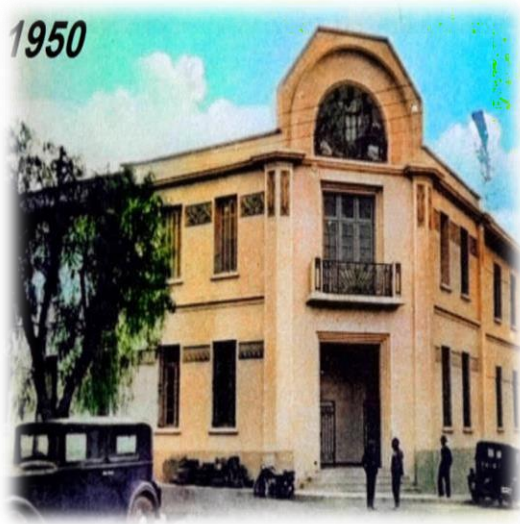


Photo12 : Tribunal en 1950



Photo13 : Tribunal aujourd'hui

Étude des scénarios sismiques

3-9 École Mahdi Ibn Khadda

. Cette école a été construite en 1904, où l'arabe et le français étaient enseignés aux enfants de Tejdit.



Photo14 : École Arabe (tidjdit) en 1910



Photo15 : École aujourd'hui

3-10 le centre commercial



Photo16 : Bâtiment habitation (B1 et B2)



Photo17 : Bâtiment colisé (B3)

Étude des scenarios sismiques



Photo18 : B âiment commercial (B4)

3-11 Golf Bank Alg érie



Photo19 : Golf Bank Alg érie

3-12 Banque Nationale D'Alg érie



Photo20 : Banque Nationale D'Alg érie

Étude des scénarios sismiques

3-13 r éservoir d'eau (matmar)



Photo21 : r éservoir d'eau

3-14 Mairie de Mostaganem :

La Mairie a été construit en 1927



Photo22 : La Mairie de Mostaganem

Étude des scénarios sismiques

3 Missions d'enquête sur le terrain d'étude

Missions d'enquête des bâtiments ont été menées par inspection visuelle pour identifier les sources générales de la vulnérabilité sismique des 19 bâtiments existants. Pour chaque bâtiment expertisé, une fiche d'enquête est établie 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.

- **Formulaire pour le diagnostic des bâtiments de ce projet.**

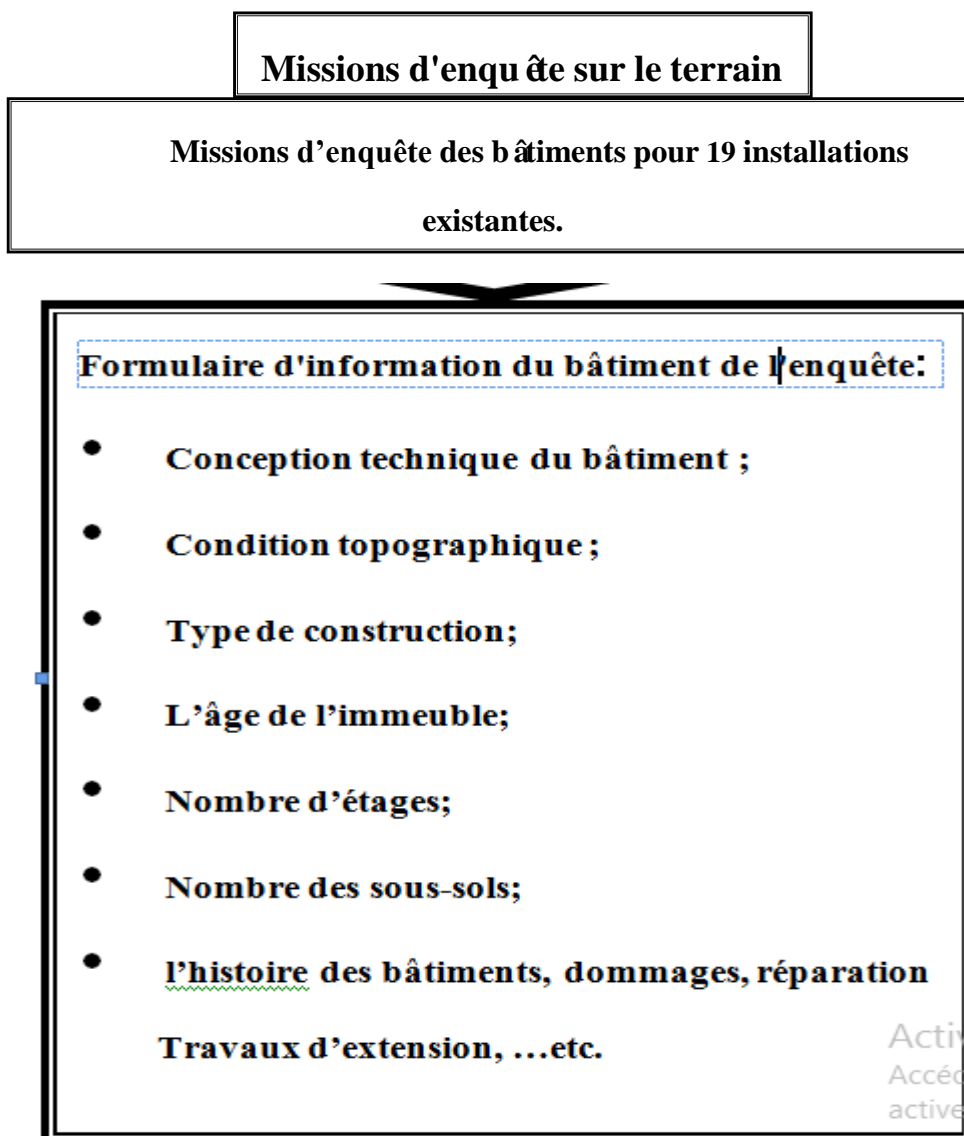


Figure4.6. Informations collectées des données à partir de missions d'enquête sur le terrain des bâtiments existants.

Étude des scénarios sismiques

Tableau.4.2 Date - type des constructions surveillés

Date et type des constructions expertisés	Nombre des constructions	%
Structure en maçonnerie (date<1980)	8	42.1
Structure en béton armé(date<1980)	10	52.63
Structure en béton armé(date>1980)	1	5.26
TOTALE	19	100

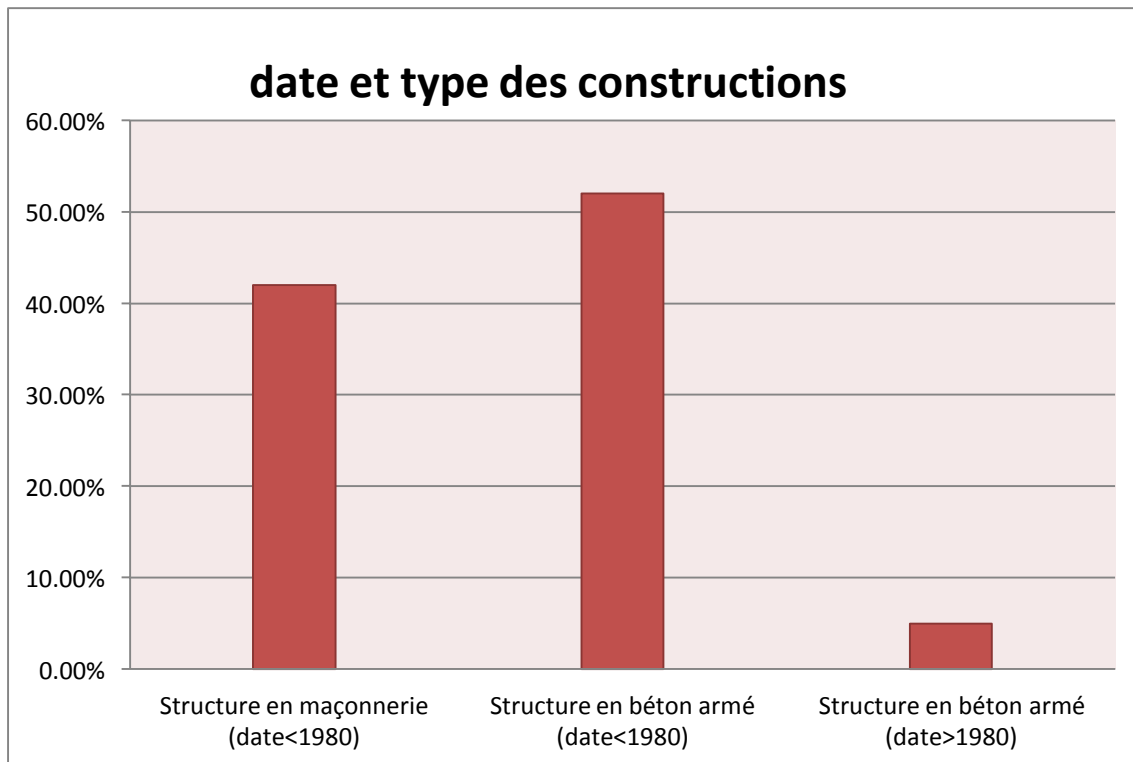


Figure.4.7. Date et type des constructions surveillés

Étude des scénarios sismiques

5 Estimation de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments interrogés

5-1 Les valeurs de la vulnérabilité pour les constructions en maçonnerie :

structure	l'indice de vulnérabilité		l'indice de vulnérabilité
	VI*	V_m	VI
BORDJ EL MEHAL	0.616	0.2	0.816
La clinique médicale Habib Qara	0.616	- 0.1	0.516
Tribunal Quartier matmar	0.616	-0.1	0.516
CEM Amaros Muammar (bloc administrative)	0.74	0.16	0.900
École Mahdi Ibn Khadda(tijdit)	0.616	0.04	0.656
Algérie poste	0.616	-0.24	0.376
La mosquée Sidi Yahia	0.616	0.08	0.696
La Mairie bloc Réception	0.616	-0.02	0.596

Tableau.4.3 Les valeurs de la vulnérabilité pour les constructions en maçonnerie

Étude des scénarios sismiques

5-2 Les valeurs de la vulnérabilité pour les constructions en béton armé :

structure		l'indice de vulnérabilité		l'indice de vulnérabilité
		VI*	V _m	VI
Centre commercial	B1	0.442	0.2	0.642
	B2	0.442	0.16	0.602
	B3	0.442	0.26	0.702
	B4	0.442	0.12	0.562
Le marché couvert		0.402	0.02	0.422
mosquée Badr		0.442	0.22	0.662
CEM Amaros Muammar (les classes)		0.442	0.1	0.542
Golf Bank Algérie		0.442	-0.02	0.422
Banque Nationale D'Algérie		0.442	0.06	0.502
réservoir d'eau (matmar)		0.386	0.02	0.406
La Mairie bloc de service		0.442	0.06	0.502

Tableau.4.4 Les valeurs de la vulnérabilité pour les constructions en béton armé

Étude des scénarios sismiques

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

6.1 Estimation de degrés des dommages moyens pour les constructions en maçonnerie

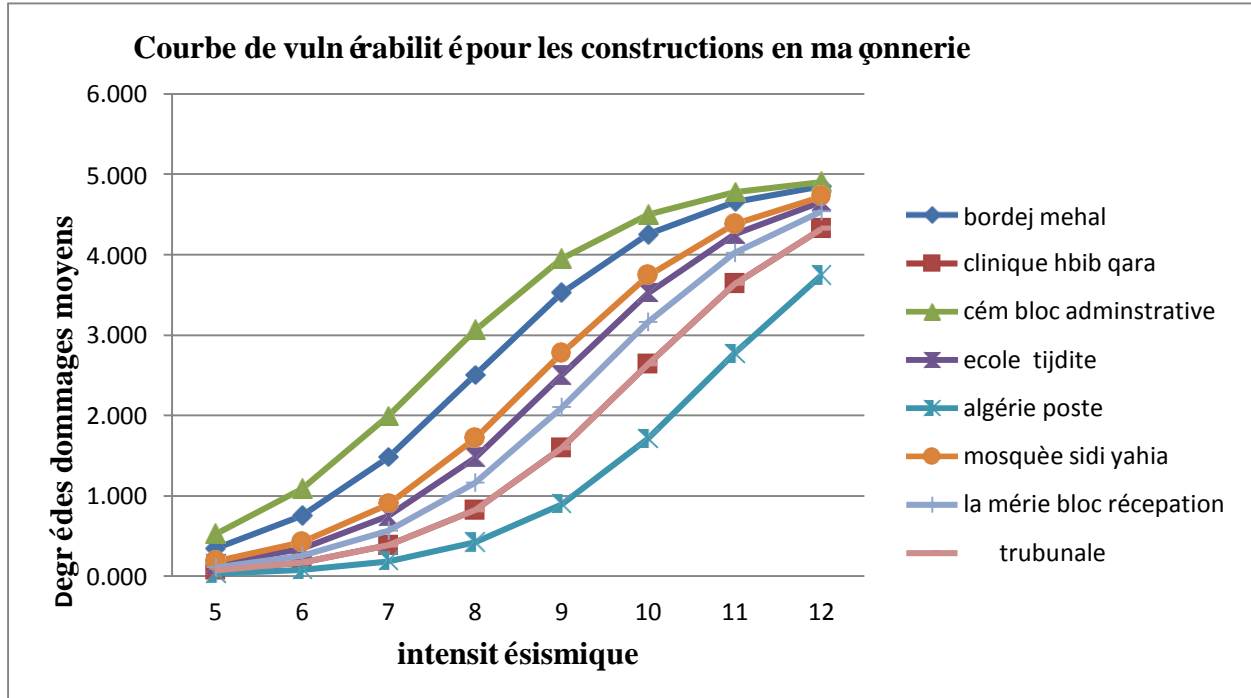


Figure 4.8 : Estimation des dommages moyens pour les constructions en maçonnerie

6.2 Estimation de degrés des dommages moyens pour les constructions en béton armé

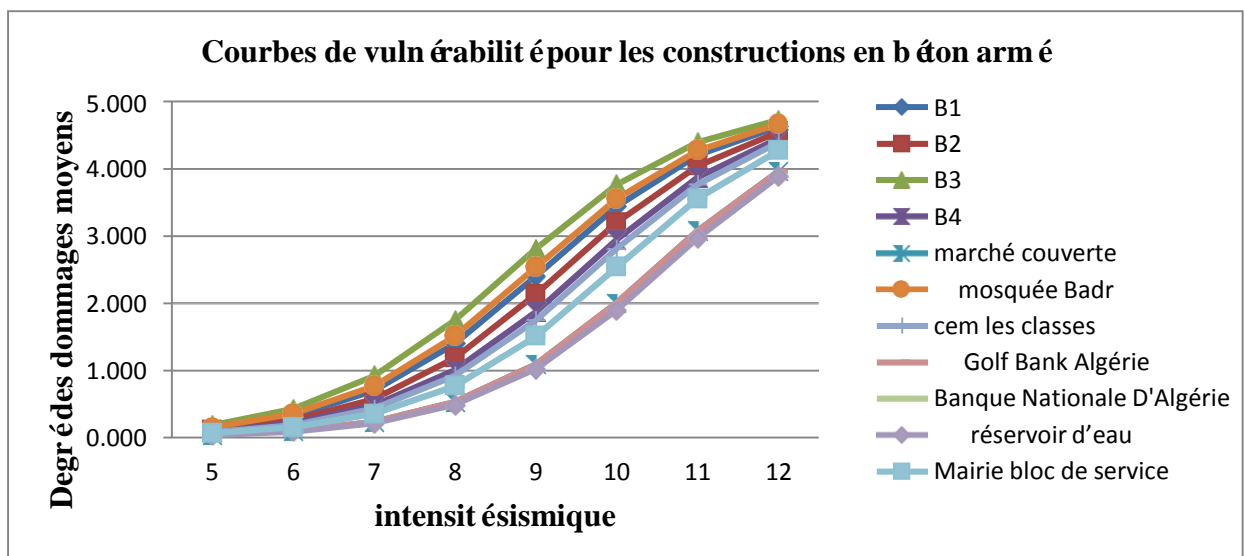


Figure 4.9 : Estimation des dommages moyens pour les constructions en béton armé

Étude des scénarios sismiques

7 Distribution des dommages et scénarios sismique des différents intensités

7.1 Scénario sismique pour Intensité I=5

7.1.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

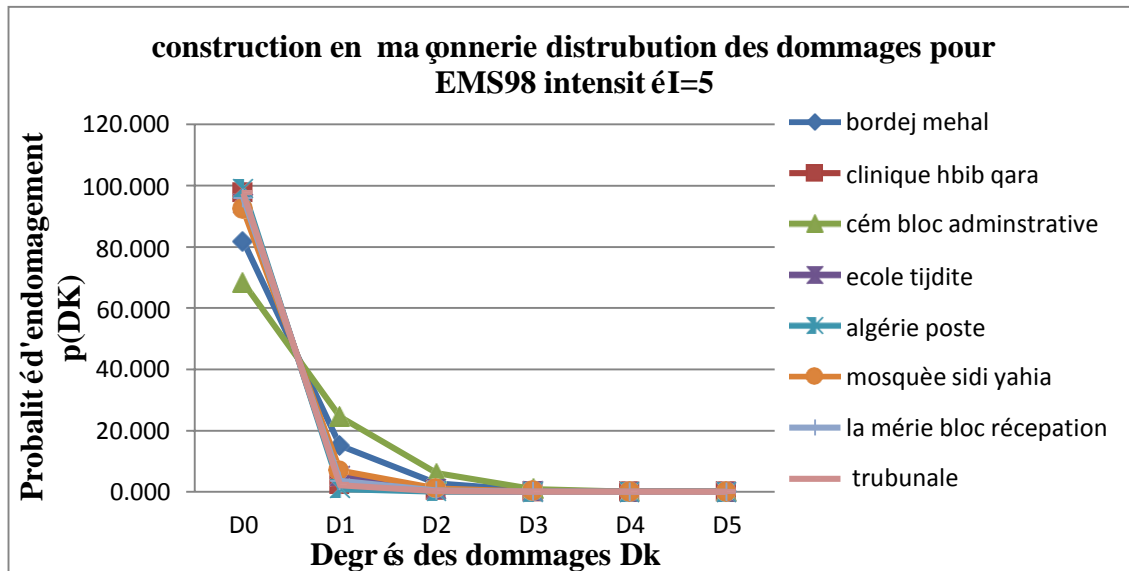


Figure 4.10 distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

7.1.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

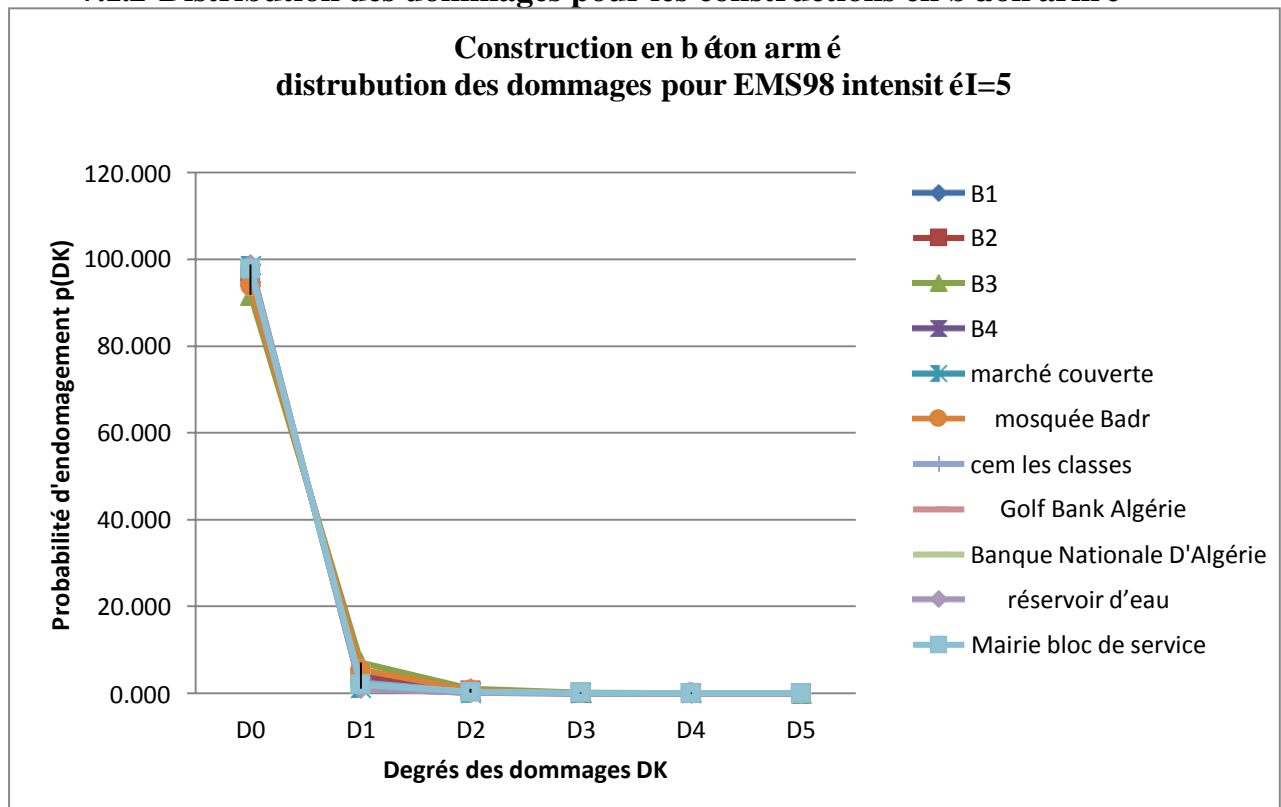


Figure 4.11: distribution des dommages pour les constructions en béton armé

Étude des scénarios sismiques

Tableau.4.5 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=5

type des constructions	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Construction en maçonnerie	8	---	---	---	---	---
Construction en béton armé	11	---	---	---	---	---
Totale	19	0	0	0	0	0
%	100	0	0	0	0	0

7.2 Scénario sismique pour Intensité I= 6

7.2.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

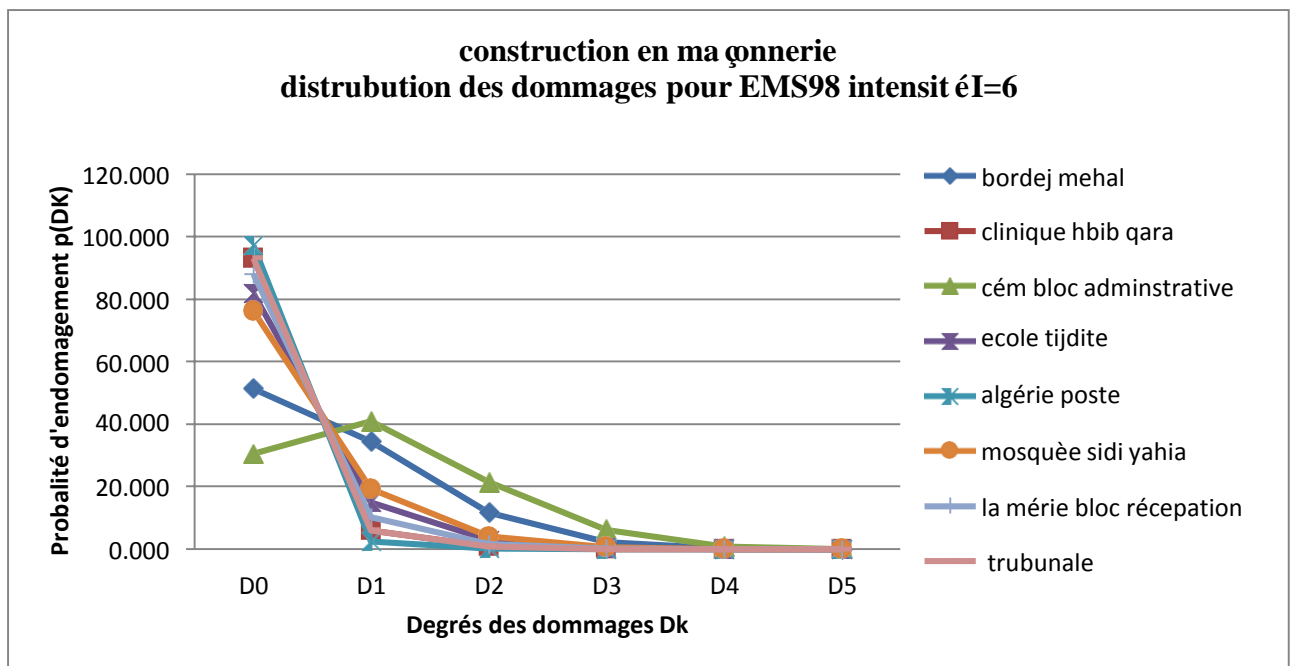


Figure 4.12: distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

Étude des scénarios sismiques

7.2.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

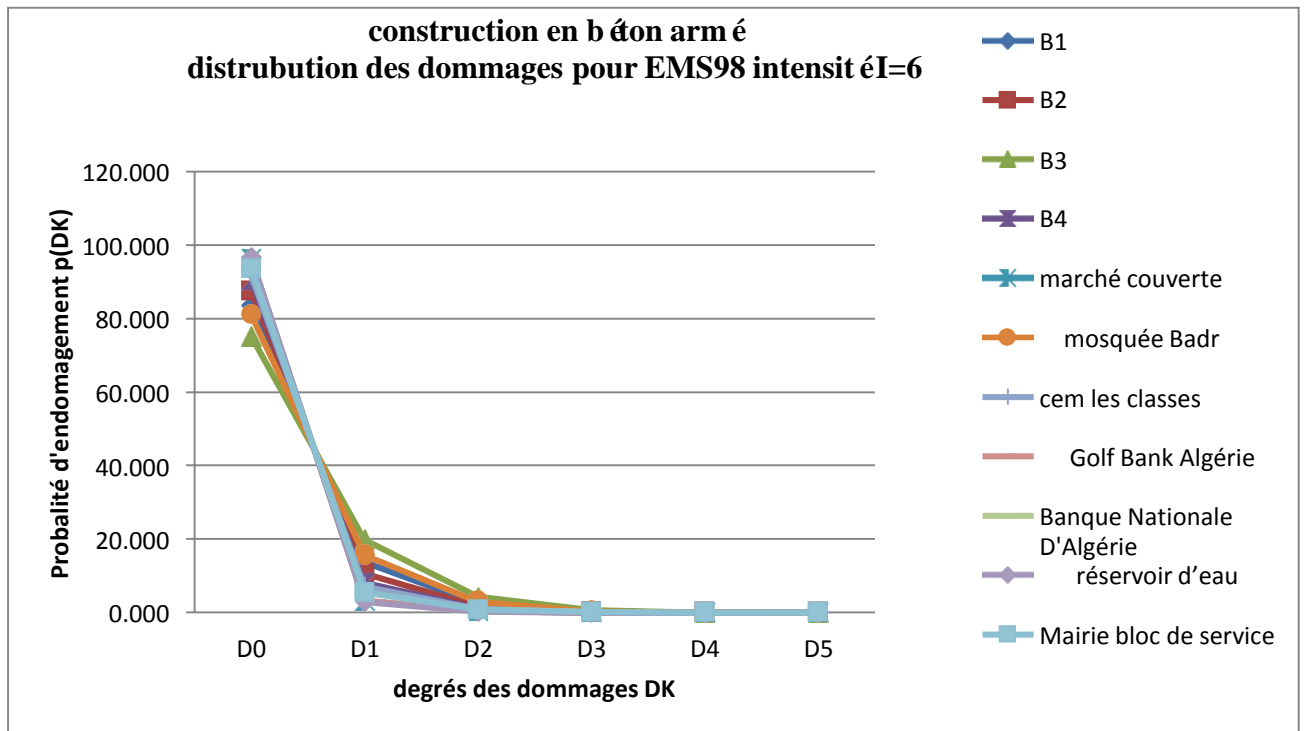








Figure 4.13: distribution des dommages pour les constructions en béton armé

Tableau.4.6 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=6

type des constructions	D0	D1	D2	D3	D4	D5
						
Construction en maçonnerie	7	1		----	----	----
Construction en béton armé	11	---	---	---	---	---
Totale	18	1	0	0	0	0
%	94.74	5.26	0	0	0	0

Étude des scénarios sismiques

7.3 Scénario sismique pour Intensité I=7

7.3.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

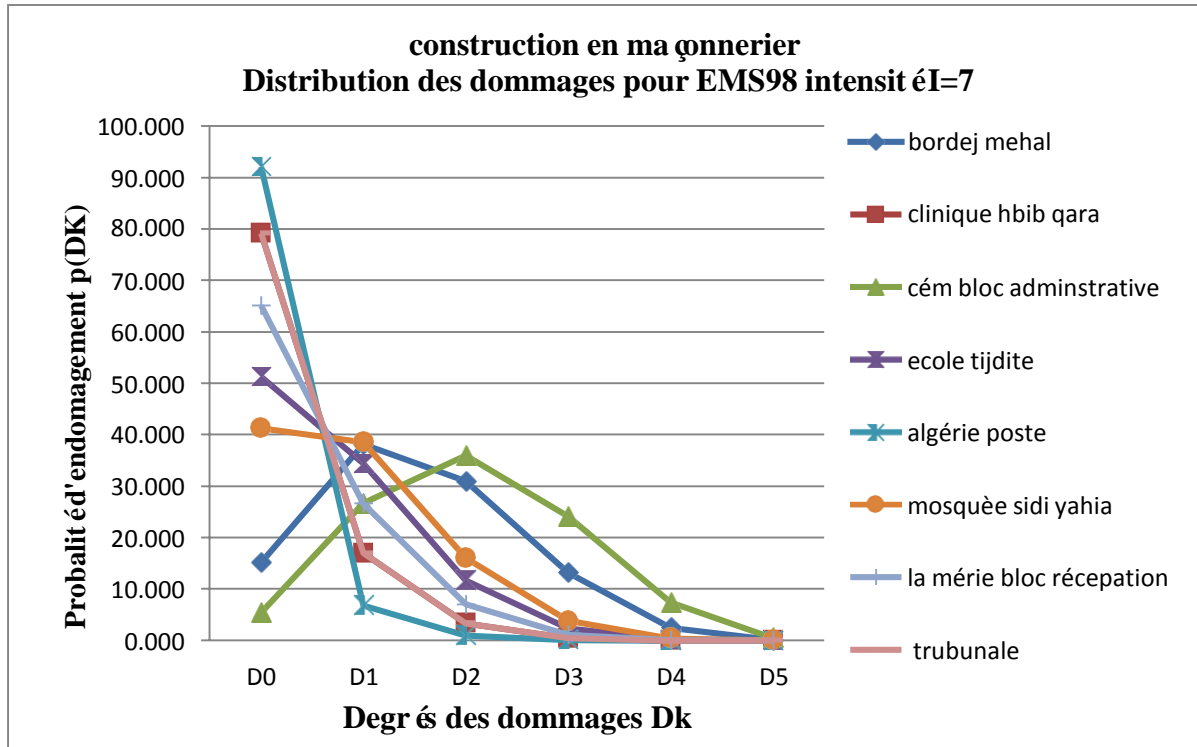


Figure 4.14: distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

7.3.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

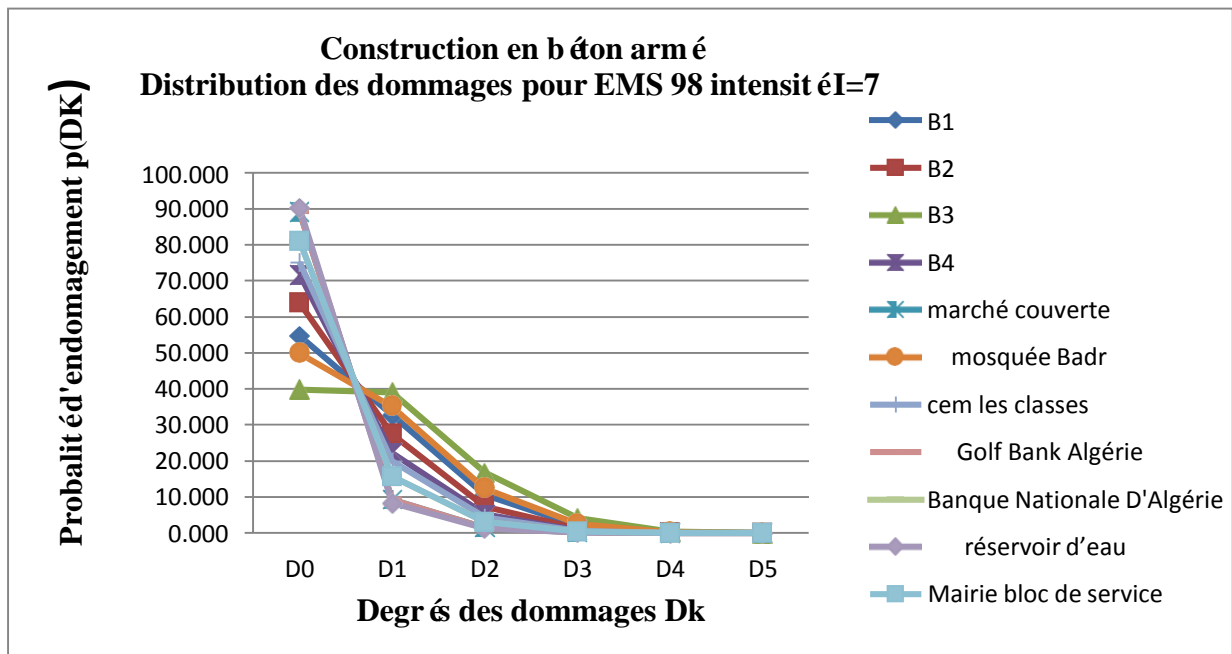


Figure 4.15 : distribution des dommages pour les constructions en béton armé

Étude des scénarios sismiques

Tableau.4.7 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=7

type des constructions	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Construction en maçonnerie	6	1	1	---	---	---
Construction en béton armé	11	---	---	---	---	---
Totale	17	1	1	0	0	0
%	89.49	5.26	5.26	0	0	0

7.4 Scénario sismique pour Intensité I=8

7.4.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

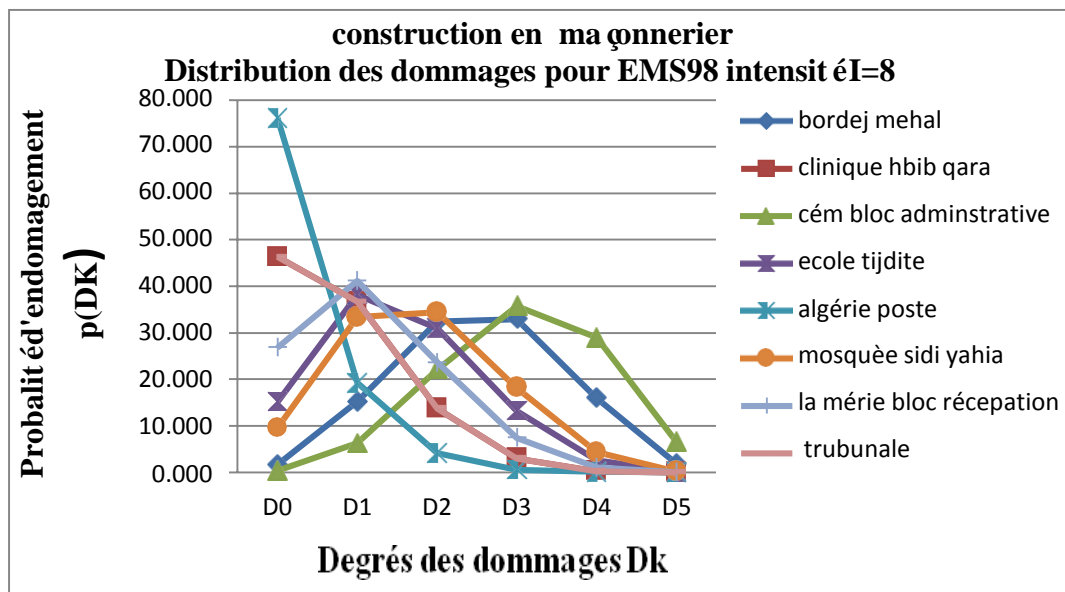


Figure 4.16: distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

Étude des scénarios sismiques

7.4.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

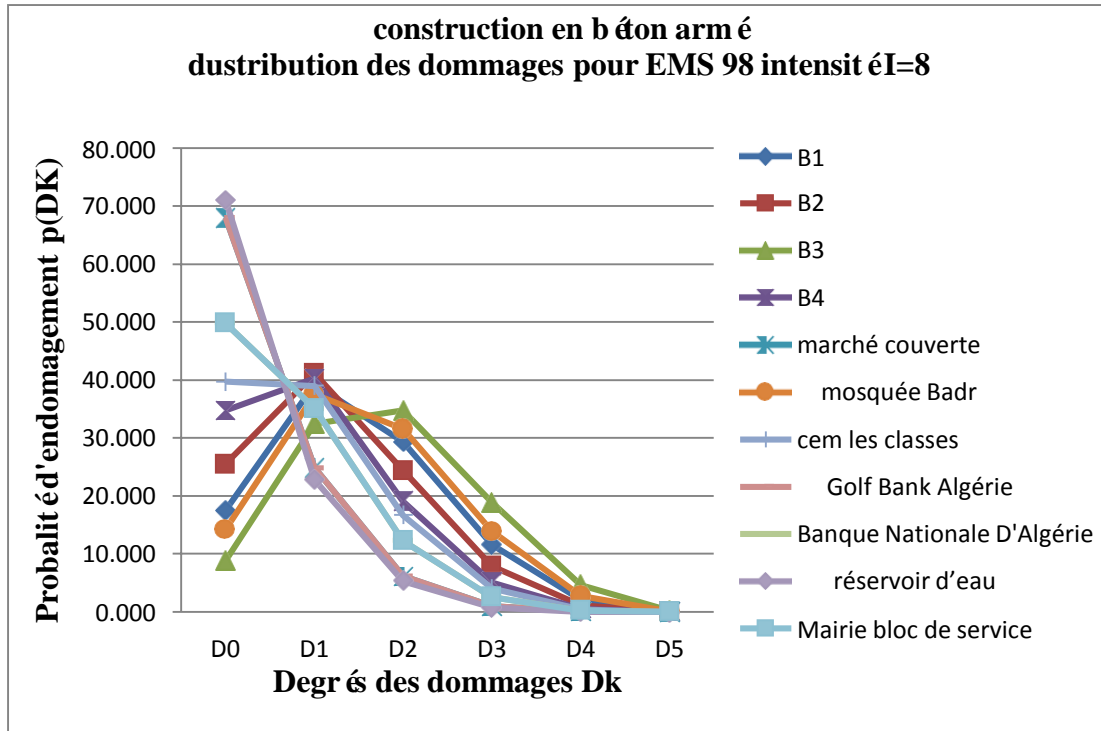


Figure 4.17 : distribution des dommages pour les constructions en béton armé

Tableau.4.8 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=8

type des constructions	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Construction en maçonnerie	3	2	1	2	---	---
Construction en béton armé	6	4	1	---	---	---
Totale	9	6	2	2	0	0
%	47.37	31.57	10.53	10.53	0	0

Étude des scénarios sismiques

7.5 Scénario sismique pour Intensité I=9

7.5.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

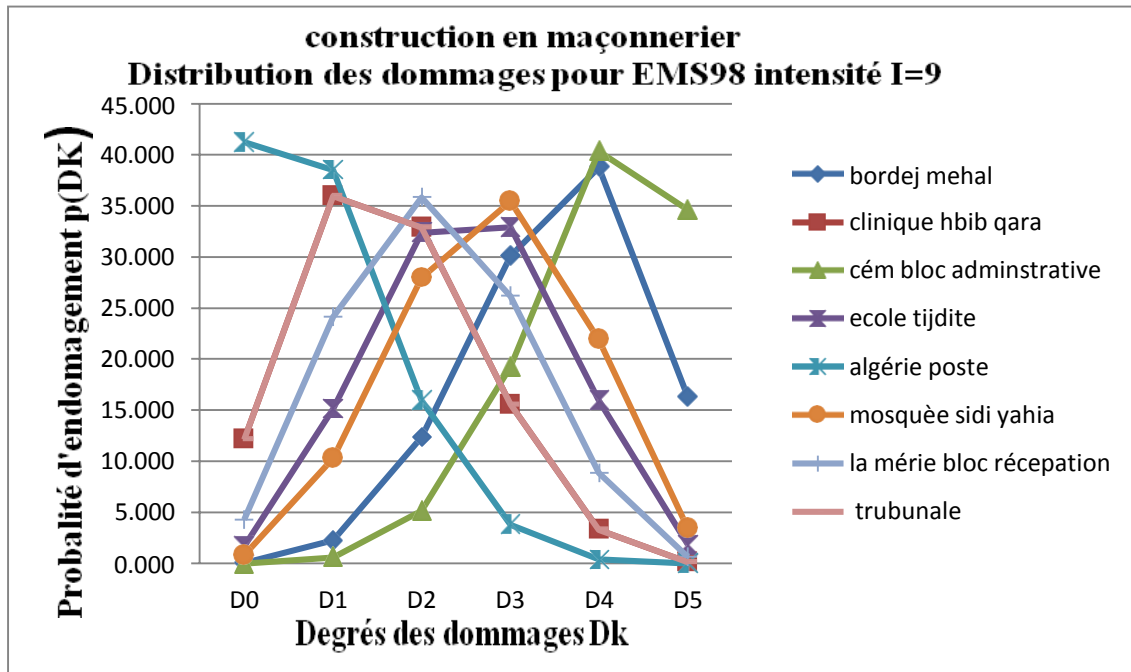


Figure 4.18: distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

7.5.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

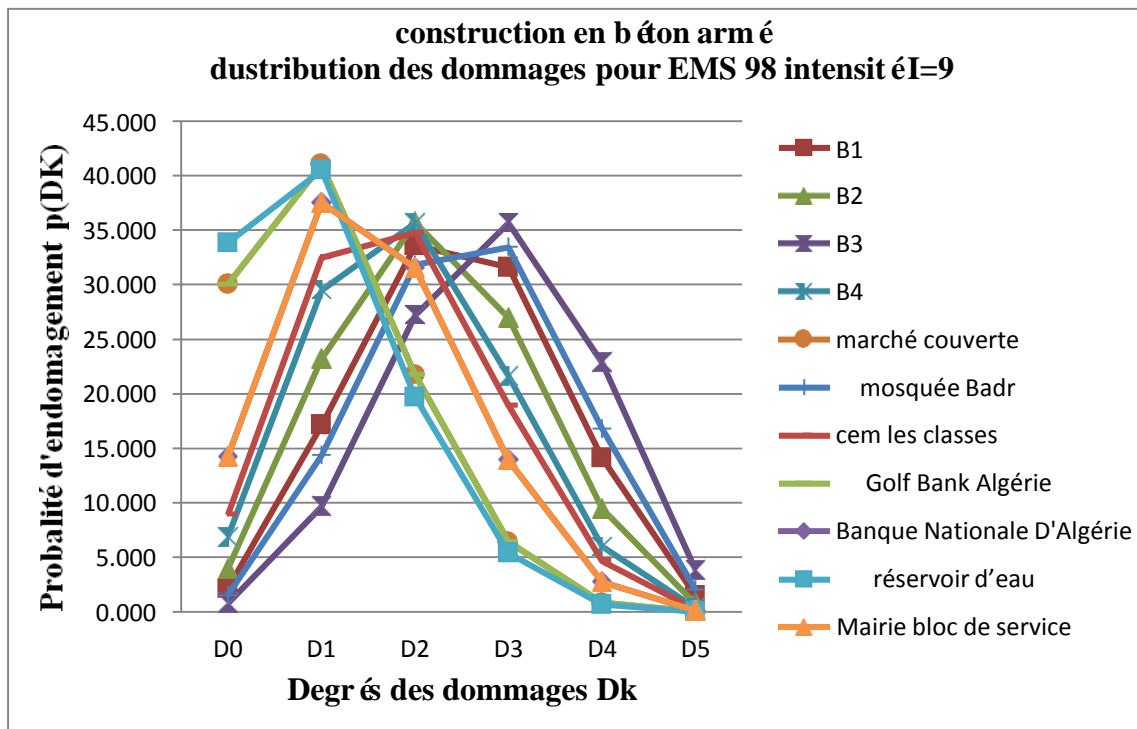








Figure 4.19: distribution des dommages pour les constructions en béton armé

Étude des scénarios sismiques

Tableau.4.9 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=9

type des constructions	D0	D1	D2	D3	D4	D5
						
Construction en maçonnerie	1	2	1	2	2	--
Construction en béton armé	--	5	4	2	--	--
Totale	1	7	5	4	2	0
%	5.26	36.84	26.31	21.05	10.53	0

7.6 Scénario sismique pour Intensité I=10

7.6.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

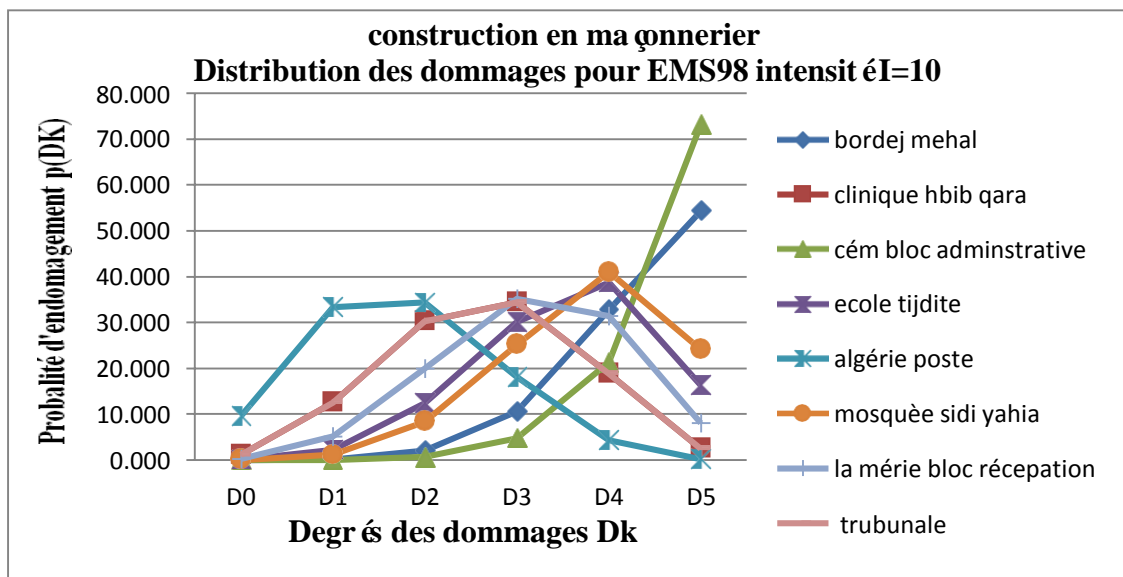


Figure 4.20: distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

Étude des scénarios sismiques

7.6.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

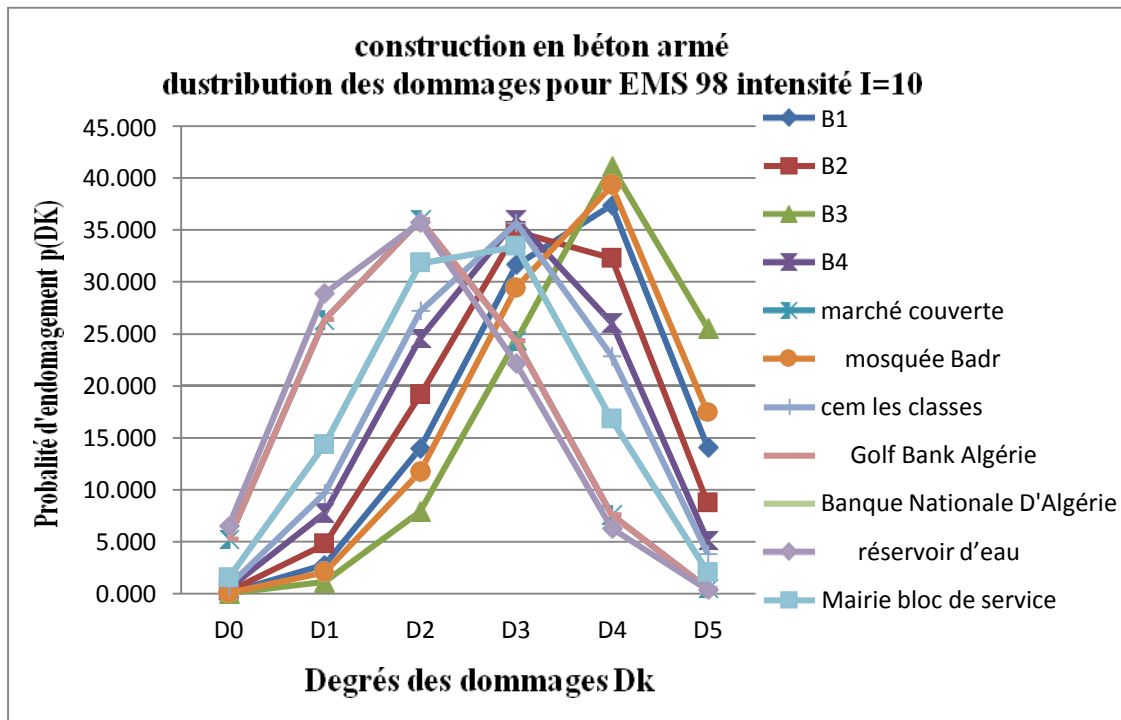


Figure 4.21: distribution des dommages pour les constructions en béton armé

Tableau.4.10 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=10 :

type des constructions	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Construction en maçonnerie	--	--	1	3	2	2
Construction en béton armé	--	--	3	5	3	--
Totale	0	0	4	8	5	2
%	0	0	21.05	42.11	26.32	10.53

Étude des scénarios sismiques

7.7 Scénario sismique pour Intensité I=11

7.7.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

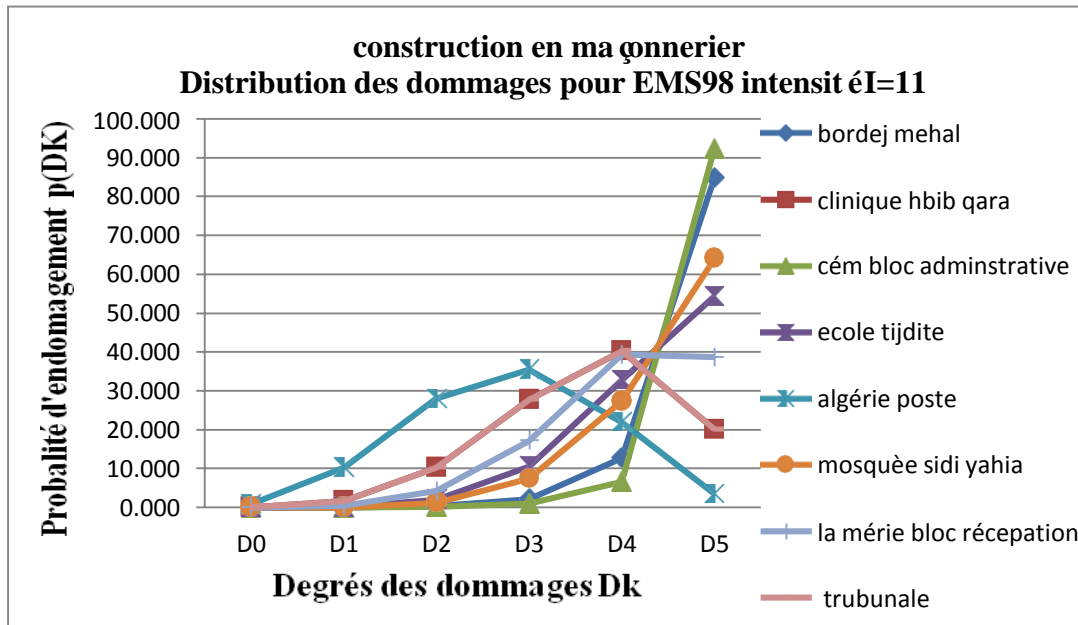


Figure 4.22: distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

7.7.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

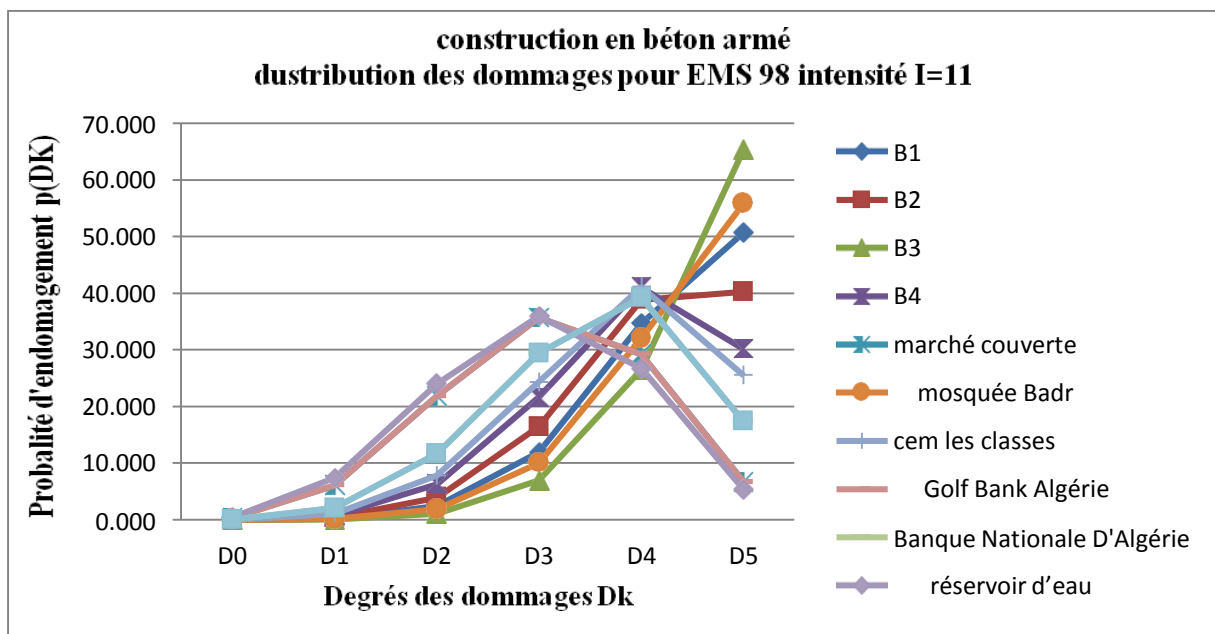


Figure 4.23: distribution des dommages pour les constructions en béton armé

Étude des scénarios sismiques

Tableau.4.11 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=11

type des constructions	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Construction en maçonnerie	--	--	--	1	3	4
Construction en béton armé	--	--	--	3	4	4
Totale	0	0	0	4	7	8
%	0	0	0	21.05	36.84	42.11

7.8 Scénario sismique pour Intensité I=12

7.8.1 Distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

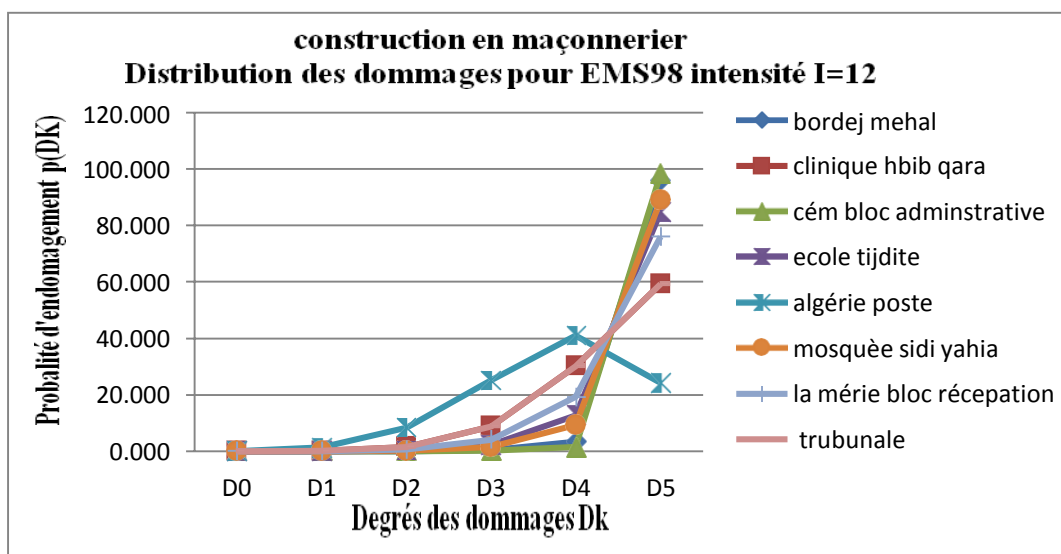


Figure 4.24: distribution des dommages pour les constructions en maçonnerie

Étude des scénarios sismiques

7.8.2 Distribution des dommages pour les constructions en béton armé

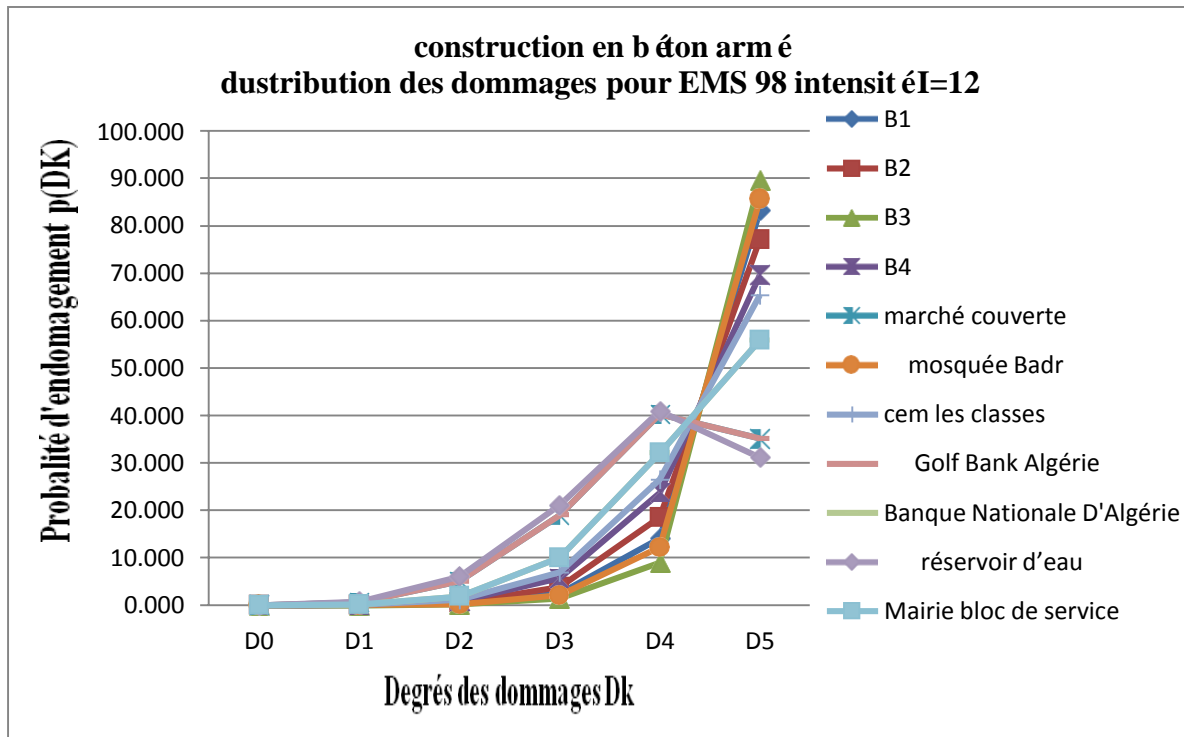


Figure 4.25: distribution des dommages pour les constructions en béton armé

Tableau.4.12 Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=12 :

type des constructions	D0	D1	D2	D3	D4	D5
Construction en maçonnerie	--	--	--	--	1	7
Construction en béton armé	--	--	--	--	3	8
Totale	0	0	0	0	4	15
%	0	0	0	0	21.05	78.95

Étude des scénarios sismiques

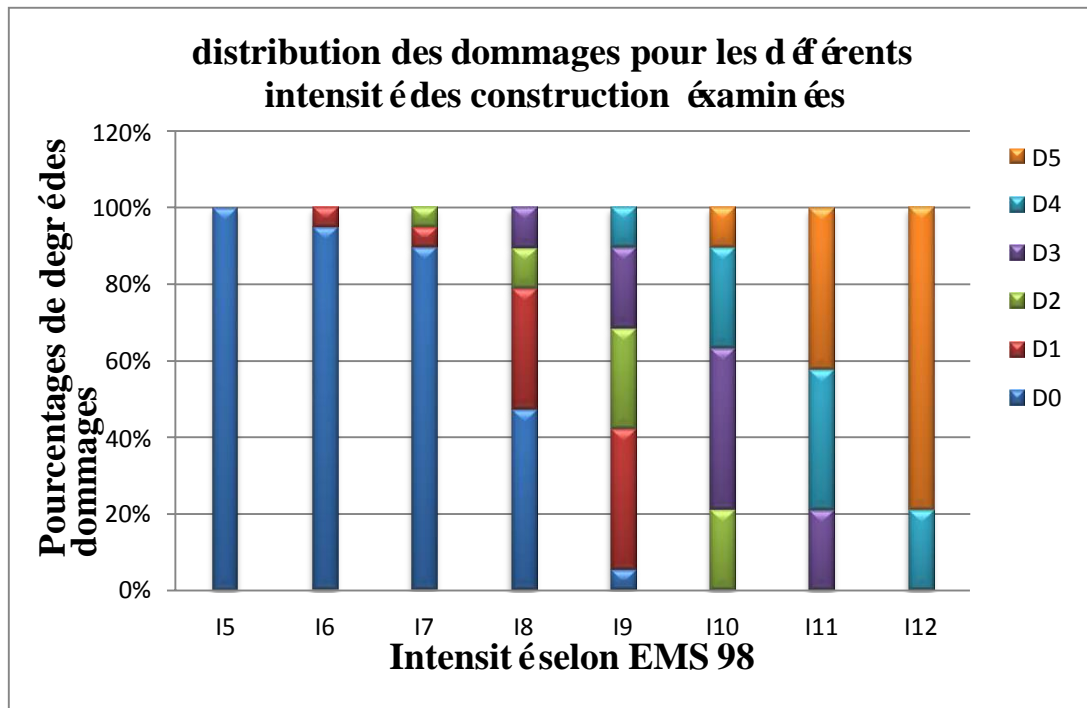


Figure 4.26 Synthèse des scénarios des différents dommages globaux selon EMS 98 de différentes intensités

8- 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 peut évaluer la vulnérabilité et le risque d'endommagement sismiques de quelques bâtiments 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.

Conclusions général

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 provoqués 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 prévenir 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.

Annexe 1 : Valeur de la vulnérabilité

Tableau 1: valeurs de la vulnérabilité pour les structures en maçonnerie et en béton armé

structures	valeur de vulnérabilité
bordej mehal	0,816
clinique hbib qara	0,516
cém bloc administrative	0,9
ecole tijdite	0,656
algérie poste	0,376
mosquée sidi yahia	0,696
la mérie bloc réception	0,596
tribunale	0,516
B1	0,642
B2	0,602
B3	0,702
B4	0,562
marché couverte	0,422
mosquée Badr	0,662
cem les classes	0,542
Golf Bank Algérie	0,422
Banque Nationale D'Algérie	0,502
réservoir d'eau	0,406
Mairie bloc de service	0,5020

Annexe 2: Estimation des dommages Moyens

Tableau 2 : Estimation des dommages moyens (μD) pour les structures en maçonnerie et en béton armé

	5	6	7	8	9	10	11	12
bordej mehal	0,343	0,747	1,477	2,500	3,523	4,253	4,657	4,850
clinique hbib qara	0,071	0,166	0,379	0,819	1,592	2,636	3,634	4,319
cén bloc administrative	0,521	1,086	1,991	3,061	3,951	4,499	4,777	4,904
ecole tijdite	0,150	0,343	0,747	1,477	2,500	3,523	4,253	4,657
algérie poste	0,033	0,079	0,185	0,419	0,896	1,712	2,771	3,739
mosquée sidi yahia	0,185	0,419	0,896	1,712	2,771	3,739	4,381	4,720
la mérie bloc réception	0,109	0,252	0,563	1,161	2,096	3,163	4,021	4,537
tribunale	0,071	0,166	0,379	0,819	1,592	2,636	3,634	4,319
B1	0,139	0,319	0,700	1,399	2,405	3,443	4,203	4,632
B2	0,112	0,260	0,579	1,191	2,136	3,201	4,047	4,551
B3	0,191	0,432	0,920	1,749	2,811	3,770	4,398	4,729
B4	0,091	0,212	0,477	1,005	1,875	2,944	3,868	4,453
marché couverte	0,043	0,101	0,235	0,526	1,095	2,004	3,074	3,960
mosquée Badr	0,154	0,353	0,768	1,511	2,541	3,557	4,273	4,667
cemler classes	0,082	0,191	0,432	0,920	1,749	2,811	3,770	4,398
Golf Bank Algérie	0,043	0,101	0,235	0,526	1,095	2,004	3,074	3,960
Banque Nationale D'Algérie	0,066	0,154	0,353	0,768	1,511	2,541	3,557	4,273
réservoir d'eau	0,039	0,093	0,216	0,486	1,022	1,900	2,970	3,886
Mairie bloc de service	0,066	0,154	0,353	0,768	1,511	2,541	3,557	4,273

Annexe 3 : Estimation de la distribution des dommages

Intensité I=5

Tableau 3: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les structures en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
bordej mehal	81,810	15,008	2,819	0,346	0,018	0,000
clinique hbib qara	97,586	2,139	0,253	0,021	0,001	0,000
cén bloc administrative	68,379	24,555	6,069	0,935	0,061	0,001
ecole tijdite	93,975	5,242	0,713	0,067	0,003	0,000
algérie poste	98,968	0,921	0,102	0,008	0,000	0,000
mosquée sidi yahia	92,081	6,831	0,987	0,098	0,004	0,000
la mairie bloc réception	95,963	3,546	0,449	0,040	0,001	0,000
tribunale	97,586	2,139	0,253	0,021	0,001	0,000
B1	94,519	4,782	0,638	0,059	0,002	0,000
B2	95,801	3,686	0,469	0,042	0,002	0,000
B3	91,747	7,108	1,037	0,103	0,004	0,000
B4	96,765	2,854	0,350	0,030	0,001	0,000
marché couverte	98,644	1,209	0,136	0,011	0,000	0,000
mosquée Badr	93,725	5,454	0,748	0,071	0,003	0,000
cem les classes	97,154	2,516	0,303	0,026	0,001	0,000
Golf Bank Algérie	98,644	1,209	0,136	0,011	0,000	0,000
Banque Nationale D'Algérie	97,788	1,962	0,230	0,019	0,001	0,000
réservoir d'eau	98,768	1,099	0,123	0,010	0,000	0,000
Mairie bloc de service	97,788	1,962	0,230	0,019	0,001	0,000

Intensité=6

Tableau 4: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les structures en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
bordej mehal	51,308	34,394	11,724	2,366	0,206	0,003
clinique hbib qara	93,097	5,982	0,837	0,081	0,003	0,000
cén bloc administrative	30,469	40,983	21,477	6,256	0,798	0,016
ecole tijdite	81,810	15,008	2,819	0,346	0,018	0,000
algérie poste	97,260	2,423	0,291	0,025	0,001	0,000
mosquée sidi yahia	76,173	19,181	4,063	0,551	0,032	0,000
la mérie bloc réception	87,994	10,172	1,647	0,179	0,008	0,000
tribunale	93,097	5,982	0,837	0,081	0,003	0,000
B1	83,479	13,729	2,483	0,295	0,015	0,000
B2	87,482	10,582	1,737	0,191	0,009	0,000
B3	75,211	19,870	4,293	0,591	0,035	0,000
B4	90,522	8,119	1,228	0,126	0,005	0,000
marché couverte	96,317	3,242	0,405	0,035	0,001	0,000
mosquée Badr	81,048	15,585	2,977	0,370	0,019	0,000
cem les classes	91,747	7,108	1,037	0,103	0,004	0,000
Golf Bank Algérie	96,317	3,242	0,405	0,035	0,001	0,000
Banque Nationale D'Algérie	93,725	5,454	0,748	0,071	0,003	0,000
réservoir d'eau	96,680	2,928	0,360	0,031	0,001	0,000
Mairie bloc de service	93,725	5,454	0,748	0,071	0,003	0,000

Intensité=7

Tableau 5: Calcul La probabilité ϵ_k associée à chaque degré de dommage k pour les structures en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
bordej mehal	15,155	38,126	30,936	13,185	2,511	0,087
clinique hbib qara	79,158	17,000	3,383	0,435	0,024	0,000
cén bloc administrative	5,384	26,700	35,968	24,058	7,413	0,478
ecole tijdite	51,308	34,394	11,724	2,366	0,206	0,003
algérie poste	92,081	6,831	0,987	0,098	0,004	0,000
mosquée sidi yahia	41,270	38,538	15,982	3,809	0,394	0,006
la mérie bloc réception	65,130	26,648	7,006	1,136	0,079	0,001
trubunale	79,158	17,000	3,383	0,435	0,024	0,000
B1	54,721	32,674	10,443	1,996	0,164	0,002
B2	63,858	27,441	7,390	1,223	0,086	0,001
B3	39,760	39,024	16,691	4,084	0,434	0,007
B4	71,773	22,274	5,154	0,751	0,047	0,000
marché couverte	89,109	9,272	1,458	0,154	0,007	0,000
mosquée Badr	49,821	35,098	12,308	2,544	0,227	0,003
cem les classes	75,211	19,870	4,293	0,591	0,035	0,000
Golf Bank Algérie	89,109	9,272	1,458	0,154	0,007	0,000
Banque Nationale D'Algérie	81,048	15,585	2,977	0,370	0,019	0,000
réservoir d'eau	90,255	8,338	1,270	0,131	0,006	0,000
Mairie bloc de service	81,048	15,585	2,977	0,370	0,019	0,000

Intensité=8

Tableau 6 : Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les structures en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
bordej mehal	1,680	15,172	32,404	32,927	15,966	1,850
clinique hbib qara	46,316	36,640	13,747	3,009	0,285	0,004
cén bloc administrative	0,364	6,277	22,137	35,756	28,932	6,534
ecole tijdite	15,155	38,126	30,936	13,185	2,511	0,087
algérie poste	76,173	19,181	4,063	0,551	0,032	0,000
mosquée sidi yahia	9,577	33,358	34,408	18,130	4,326	0,200
la mérie bloc réception	26,802	41,155	23,577	7,417	1,025	0,023
tribunale	46,316	36,640	13,747	3,009	0,285	0,004
B1	17,533	39,330	29,376	11,643	2,053	0,064
B2	25,478	41,112	24,364	7,893	1,125	0,027
B3	8,893	32,510	34,774	18,923	4,674	0,226
B4	34,792	40,311	19,156	5,130	0,599	0,011
marché couverte	67,985	24,814	6,179	0,958	0,063	0,001
mosquée Badr	14,203	37,528	31,558	13,879	2,733	0,099
cem les classes	39,760	39,024	16,691	4,084	0,434	0,007
Golf Bank Algérie	67,985	24,814	6,179	0,958	0,063	0,001
Banque Nationale D'Algérie	49,821	35,098	12,308	2,544	0,227	0,003
réservoir d'eau	71,043	22,773	5,345	0,789	0,050	0,000
Mairie bloc de service	49,821	35,098	12,308	2,544	0,227	0,003

Intensité=9

Tableau 7: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les structures en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
bordej mehal	0,074	2,266	12,377	30,151	38,781	16,351
clinique hbib qara	12,142	35,959	32,880	15,570	3,316	0,133
cén bloc administrative	0,011	0,606	5,172	19,247	40,347	34,617
ecole tijdite	1,680	15,172	32,404	32,927	15,966	1,850
algérie poste	41,270	38,538	15,982	3,809	0,394	0,006
mosquée sidi yahia	0,836	10,303	27,983	35,469	21,926	3,481
la mérie bloc réception	4,288	24,154	35,862	26,183	8,866	0,646
tribunale	12,142	35,959	32,880	15,570	3,316	0,133
B1	2,116	17,123	33,606	31,607	14,085	1,463
B2	3,928	23,202	35,729	26,959	9,459	0,722
B3	0,750	9,671	27,225	35,671	22,873	3,809
B4	6,875	29,524	35,651	21,618	5,995	0,337
marché couverte	30,001	41,027	21,738	6,393	0,823	0,017
mosquée Badr	1,519	14,372	31,827	33,431	16,809	2,041
cem les classes	8,893	32,510	34,774	18,923	4,674	0,226
Golf Bank Algérie	30,001	41,027	21,738	6,393	0,823	0,017
Banque Nationale D'Algérie	14,203	37,528	31,558	13,879	2,733	0,099
réservoir d'eau	33,817	40,502	19,666	5,365	0,639	0,012
Mairie bloc de service	14,203	37,528	31,558	13,879	2,733	0,099

Intensité=10

Tableau 8: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les structures en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
bordej mehal	0,002	0,168	2,035	10,585	32,877	54,333
clinique hbib qara	1,194	12,599	30,352	34,446	18,853	2,556
cén bloc administrative	0,000	0,041	0,683	4,794	21,301	73,181
ecole tijdite	0,074	2,266	12,377	30,151	38,781	16,351
algérie poste	9,577	33,358	34,408	18,130	4,326	0,200
mosquée sidi yahia	0,030	1,233	8,388	25,141	41,011	24,197
la mairie bloc réception	0,264	5,150	19,948	35,173	31,393	8,073
tribunale	1,194	12,599	30,352	34,446	18,853	2,556
B1	0,101	2,773	14,001	31,662	37,420	14,043
B2	0,234	4,770	19,135	34,863	32,281	8,717
B3	0,027	1,122	7,877	24,338	41,115	25,521
B4	0,515	7,755	24,590	35,976	26,070	5,093
marché couverte	5,236	26,382	35,975	24,327	7,584	0,497
mosquée Badr	0,065	2,074	11,716	29,456	39,278	17,411
cem les classes	0,750	9,671	27,225	35,671	22,873	3,809
Golf Bank Algérie	5,236	26,382	35,975	24,327	7,584	0,497
Banque Nationale D'Algérie	1,519	14,372	31,827	33,431	16,809	2,041
réservoir d'eau	6,519	28,904	35,761	22,161	6,291	0,365
Mairie bloc de service	1,519	14,372	31,827	33,431	16,809	2,041

Intensité=11



Tableau 9: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les structures en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
bordej mehal	0,000	0,013	0,258	2,227	12,703	84,799
clinique hbib qara	0,048	1,681	10,256	27,743	40,222	20,049
cén bloc administrative	0,000	0,004	0,093	0,948	6,614	92,341
ecole tijdite	0,002	0,168	2,035	10,585	32,877	54,333
algérie poste	0,836	10,303	27,983	35,469	21,926	3,481
mosquée sidi yahia	0,001	0,086	1,213	7,345	27,349	64,007
la mérie bloc réception	0,008	0,464	4,286	17,193	39,336	38,713
tribunale	0,048	1,681	10,256	27,743	40,222	20,049
B1	0,003	0,213	2,432	11,945	34,666	50,741
B2	0,007	0,420	3,989	16,448	38,864	40,273
B3	0,001	0,077	1,121	6,939	26,504	65,358
B4	0,017	0,814	6,343	21,642	41,012	30,173
marché couverte	0,349	6,127	21,862	35,703	29,245	6,713
mosquée Badr	0,002	0,152	1,884	10,038	32,077	55,847
cem les classes	0,027	1,122	7,877	24,338	41,115	25,521
Golf Bank Algérie	0,349	6,127	21,862	35,703	29,245	6,713
Banque Nationale D'Algérie	0,065	2,074	11,716	29,456	39,278	17,411
réservoir d'eau	0,477	7,407	24,049	35,968	26,710	5,389
Mairie bloc de service	0,065	2,074	11,716	29,456	39,278	17,411

Intensité=12

Tableau 10: Calcul La probabilité p_k associée à chaque degré de dommage k pour les structures en maçonnerie et en béton armé

	D0	D1	D2	D3	D4	D5
bordej mehal	0,000	0,001	0,039	0,436	3,462	96,061
clinique hbib qara	0,001	0,120	1,573	8,847	30,158	59,301
cém bloc administrative	0,000	0,000	0,014	0,175	1,527	98,283
ecole tijdite	0,000	0,013	0,258	2,227	12,703	84,799
algérie poste	0,030	1,233	8,388	25,141	41,011	24,197
mosquée sidi yahia	0,000	0,007	0,158	1,482	9,388	88,965
la mérie bloc réception	0,000	0,032	0,555	4,087	19,254	76,072
trubunale	0,001	0,120	1,573	8,847	30,158	59,301
B1	0,000	0,016	0,308	2,568	14,061	83,048
B2	0,000	0,029	0,513	3,849	18,516	77,093
B3	0,000	0,006	0,146	1,394	8,960	89,493
B4	0,000	0,056	0,864	5,722	23,719	69,640
marché couverte	0,011	0,586	5,053	18,986	40,242	35,123
mosquée Badr	0,000	0,012	0,239	2,095	12,153	85,501
cem les classes	0,001	0,077	1,121	6,939	26,504	65,358
Golf Bank Algérie	0,011	0,586	5,053	18,986	40,242	35,123
Banque Nationale D'Algérie	0,002	0,152	1,884	10,038	32,077	55,847
réservoir d'eau	0,015	0,763	6,066	21,105	40,910	31,142
Mairie bloc de service	0,002	0,152	1,884	10,038	32,077	55,847

	structures en maçonnerie
	structures en béton armé

Références

-
- ¹ **BOUNOUAR. D (1994)**. Catalogues de séismes pour la région du Maghreb 20 °-38 °N – 10 °W – 12 °E, pour la période 1900-1990.
- ² **ABDESSEMED-FOUFA. A (2007)**. Contribution pour la redécouverte des techniques constructives traditionnelles sismo-résistantes adoptées dans les grandes villes du Maghreb (Alger, Fès et Tunis) durant le XVIII^{ème} siècle. Thèse de doctorat en Architecture, spécialité architecture et environnement. E.P.A.U d'Alger.
- ³ **HAHOU (2005)**. Sismicité du Maroc, Apport de l'étude des séismes d'el Hociema et de Rissani et évaluation de l'aléa sismique. Thèse de doctorat en géologie appliquée, spécialité géophysique. Faculté des sciences, université de Rabat, Maroc.
- ⁴ **MEGHRAOUI, M. (1988)**, Géologie des zones sismiques du nord de l'Algérie, tectonique active, paléoséismologie et synthèse sismotectonique, Ph.D. thèse, 356 pp., Univ. de Paris-sud Orsay, Paris.
- ⁵ **M.H.A.T (2004)** : Rapport Risque sismique et redéploiement des activités et de l'urbanisation.
- ⁶ **Groupe de Recherche Néotectonique de l'Arc de Gibraltar (1977)** : Structure actuelle et évolution depuis le miocène de la chaîne Rifaine (partie de l'Arc de Gibraltar). Bull.Soc .Géol. France, p : 789-786
- ⁷ **AMBRASEYS, N.N. and J. VOGT (1988)**: Material for the investigation of the seismicity of the region of Algiers, Eur. Earthquake Eng., 3, 16-29.
- ⁸ **CRAAG** , les séismes en Algérie de 2002 à2006.
- ⁹ Idem
- ¹⁰ **BADDARI .K ; DJEDDLM (2002)** : Les séismes et leur prévision .Ed : OPU. Alger, p : 255,pp : 42-44.
- ¹¹ **CRAAG** : les séismes en Algérie de 2002 à2006
- ¹² **BADDARI.K ; DJEDDLM (2002)** : Op.Cit. p : 42-44
- ¹³ **M.H.A.T (2004)** : Rapport Risque sismique et redéploiement des activités et de l'urbanisation.
- ¹⁴ **BADDARI.K ; DJEDDLM (2002)** : Op.Cit. pp : 35-45
- ¹⁵ **Service des Risques Naturels, Protection civile d'Alger «Hydra, Parado »(2007)** : Les séismes en Algérie
- ¹⁶ Idem
- ¹⁷ **Brahim CHAIB**, «vulnérabilité du bâti existant et aménagement en zone sismique »
- ¹⁸ **DTR BC 2-48** : Les règles parasismiques algériennes RPA 99 (version 2003)
- ¹⁹ **PATRICIA BLANDIER** «Document d'information à l'usage du constructeur »
- ²⁰ **Euro code 8** : construction parasismique

²¹ **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

²² **C.G.S.** Recommandations techniques pour la réparation et le renforcement des ouvrages.

INTRODUCTION GENERALE

Chap01 :

RISQUE SISMIQUE EN ALGERIE

Chap02 :

Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

Chap03 :

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

Chap04 :

Étude Des Scenarios Sismiques

Conclusion générale

ANNEXE

Valeur de la vulnérabilité
Pour
Chaque construction

Valeurs VI pour chaque construction

Les constructions maçonnerie :

1- bordej mehal :

		Description	Valeurs de VI représentatives				
			VI ^{min}	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	Pierres appareillées	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 armé ou confiné	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
	M5	Maçonnerie globalement renforcé	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

Valeurs des facteurs V_m :

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 : position dans l'îlot	Au centre	-0.04
	En coin	+0.04
	En tête d'îlot	+0.06
Interaction entre bâtiments : élévation	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

2- clinique hbib qara :

		Description	Valeurs de VI représentatives				
			VI ^{min}	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	Pierres appareillées	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 armée					
	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 confinée	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 armée					
	RC3.1	Murs de remplissage en maçonnerie,	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98

Valeurs des facteurs V_m :

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 : position dans l'îlot	Au centre	-0.04
	En coin	+0.04
	En tête d'îlot	+0.06
Interaction entre bâtiments : élévation	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

3- c ém bloc administrative

		Description	Valeurs de VI repr ésentatives				
			VI ^{min}	VI ⁻	VI [*]	VI ⁺	VI ^{max}
Structure en ma çonnerie	M1	Murs porteurs en ma çonnerie de pierres					
	M1.1	Moellons	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M1.2	Pierres appareill ées	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 ma çonnerie non arm é					
	M3	Planchers bois	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M3.1						
	M3.2	Vo ûtes en ma çonnerie	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
	M3.3	Planchers avec poutrelles m étalliques et ma çonnerie	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
	M3.4	Planchers en b éton arm é	0.30	0.49	0.616	0.793	0.86
	M4	Murs porteurs en ma çonnerie arm ée ou confin ée	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
	M5	Ma çonnerie globalement renforc ée	0.30	0.49	0.694	0.953	1.02
Structure en b éton arm é	RC1	Structures poteaux-poutres en b éton arm é	-0.02	0.047	0.442	0.80	1.02
	RC2	Murs porteurs en b éton arm é	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
	RC3.1	Syst ème poteaux/poutres avec mure de remplissage en ma çonnerie non arm é					
	RC3.1	Murs de remplissage en ma çonnerie,	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98

Valeurs des facteurs V_m

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 : position dans l'îlot	Au centre	-0.04
	En coin	+0.04
	En tête d'îlot	+0.06
Interaction entre bâtiments : élévation	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

4- école tijdite

		Description	Valeurs de VI représentatives				
			VI ^{min}	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	Pierres appareillées	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 armé ou confiné	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
	M5	Maçonnerie globalement renforcé	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

Valeurs des facteurs V_m

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 : position dans l'îlot	Au centre	-0.04
	En coin	+0.04
	En tête d'îlot	+0.06
Interaction entre bâtiments : élévation	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

5- alg érie poste :

		Description	Valeurs de VI repr ésentatives				
			VI ^{min}	VI ⁻	VI [*]	VI ⁺	VI ^{max}
Structure en ma ç onnerie	M1	Murs porteurs en ma ç onnerie de pierres					
	M1.1	Moellons	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M1.2	Pierres appareill ées	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 ma ç onnerie non arm é					
	M3	Planchers bois	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M3.1						
	M3.2	Vo ûtes en ma ç onnerie	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
	M3.3	Planchers avec poutrelles m étalliques et ma ç onnerie	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
	M3.4	Planchers en b éton arm é	0.30	0.49	0.616	0.793	0.86
	M4	Murs porteurs en ma ç onnerie arm ée ou confin ée	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
	M5	Ma ç onnerie globalement renforc ée	0.30	0.49	0.694	0.953	1.02
Structure en b éton arm é	RC1	Structures poteaux-poutres en b éton arm é	-0.02	0.047	0.442	0.80	1.02
	RC2	Murs porteurs en b éton arm é	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
	RC3.1	Syst ème poteaux/poutres avec mure de remplissage en ma ç onnerie non arm é					
	RC3.1	Murs de remplissage en ma ç onnerie,	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98

Valeurs des facteurs V_m :

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 : position dans l'îlot	Au centre	-0.04
	En coin	+0.04
	En tête d'îlot	+0.06
Interaction entre bâtiments : élévation	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

6- mosqu èe sidi yahia

		Description	Valeurs de VI repr ésentatives				
			VI ^{min}	VI ⁻	VI [*]	VI ⁺	VI ^{max}
Structure en ma çonnerie	M1	Murs porteurs en ma çonnerie de pierres					
	M1.1	Moellons	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M1.2	Pierres appareill ées	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 ma çonnerie non arm é					
	M3	Planchers bois	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M3.1						
	M3.2	Vo ûtes en ma çonnerie	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
	M3.3	Planchers avec poutrelles m étalliques et ma çonnerie	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
	M3.4	Planchers en b éton arm é	0.30	0.49	0.616	0.793	0.86
	M4	Murs porteurs en ma çonnerie arm ée ou confin ée	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
	M5	Ma çonnerie globalement renforc ée	0.30	0.49	0.694	0.953	1.02
Structure en b éton arm é	RC1	Structures poteaux-poutres en b éton arm é	-0.02	0.047	0.442	0.80	1.02
	RC2	Murs porteurs en b éton arm é	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
	RC3.1	Syst ème poteaux/poutres avec mure de remplissage en ma çonnerie non arm é					
	RC3.1	Murs de remplissage en ma çonnerie,	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98

Valeurs des facteurs V_m :

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 : position dans l'îlot	Au centre	-0.04
	En coin	+0.04
	En tête d'îlot	+0.06
Interaction entre bâtiments : élévation	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

7-la m érie bloc r éception

		Description	Valeurs de VI repr ésentatives				
			VI ^{min}	VI ⁻	VI [*]	VI ⁺	VI ^{max}
Structure en ma çonnerie	M1	Murs porteurs en ma çonnerie de pierres					
	M1.1	Moellons	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M1.2	Pierres appareill ées	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 ma çonnerie non arm é					
	M3	Planchers bois	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M3.1						
	M3.2	Vo ûtes en ma çonnerie	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
	M3.3	Planchers avec poutrelles m étalliques et ma çonnerie	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
	M3.4	Planchers en b éton arm é	0.30	0.49	0.616	0.793	0.86
	M4	Murs porteurs en ma çonnerie arm ée ou confin ée	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
	M5	Ma çonnerie globalement renforc ée	0.30	0.49	0.694	0.953	1.02
Structure en b éton arm é	RC1	Structures poteaux-poutres en b éton arm é	-0.02	0.047	0.442	0.80	1.02
	RC2	Murs porteurs en b éton arm é	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
	RC3.1	Syst ème poteaux/poutres avec mure de remplissage en ma çonnerie non arm é					
	RC3.1	Murs de remplissage en ma çonnerie,	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98

Valeurs des facteurs V_m :

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 : position dans l'îlot	Au centre	-0.04
	En coin	+0.04
	En tête d'îlot	+0.06
Interaction entre bâtiments : élévation	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

8- tribunale

		Description	Valeurs de VI représentatives				
			VI ^{min}	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	Pierres appareillés	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 poutres 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 confinée	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 armée					
	RC3.1	Murs de remplissage en maçonnerie,	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98

Valeurs des facteurs V_m :

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 : position dans l'îlot	Au centre	-0.04
	En coin	+0.04
	En tête d'îlot	+0.06
Interaction entre bâtiments : élévation	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

Les constructions b éton arm é :

Centre commercial B1

		Description	Valeurs de VI repr ésentatives				
			VI ^{min}	VI ⁻	VI [*]	VI ⁺	VI ^{max}
Structure en ma çonnerie	M1	Murs porteurs en ma çonnerie de pierres					
	M1.1	Moellons	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M1.2	Pierres appareill ées	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 ma çonnerie non arm é					
	M3	Planchers bois	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M3.1						
	M3.2	Vo ûtes en ma çonnerie	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
	M3.3	Planchers avec poutrelles m étalliques et ma çonnerie	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
	M3.4	Planchers en b éton arm é	0.30	0.49	0.616	0.793	0.86
	M4	Murs porteurs en ma çonnerie arm ée ou confin ée	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
	M5	Ma çonnerie globalement renforc ée	0.30	0.49	0.694	0.953	1.02
Structure en b éton arm é	RC1	Structures poteaux-poutres en b éton arm é	-0.02	0.047	0.442	0.80	1.02
	RC2	Murs porteurs en b éton arm é	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
	RC3.1	Syst ème poteaux/poutres avec mure de remplissage en ma çonnerie non arm é					
	RC3.1	Murs de remplissage en ma çonnerie,	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98

Valeurs des facteurs V_m :

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 élévation		+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 longrines	0	0	0
	Semelles isolées	+0.04	0	0
Morphologie du sol	Pente	+0.02	+0.02	+0.02
	Escarpement	+0.04	+0.02	+0.04

march écouverte :

		Description	Valeurs de VI repr ésentatives				
			VI ^{min}	VI ⁻	VI [*]	VI ⁺	VI ^{max}
Structure en ma çonnerie	M1	Murs porteurs en ma çonnerie de pierres					
	M1.1	Moellons	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M1.2	Pierres appareill és	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 ma çonnerie non arm é					
	M3	Planchers bois	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M3.1						
	M3.2	Vo ûtes en ma çonnerie	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
	M3.3	Planchers avec poutrelles m étalliques et ma çonnerie	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
	M3.4	Planchers en b éton arm é	0.30	0.49	0.616	0.793	0.86
	M4	Murs porteurs en ma çonnerie arm ée ou confin ée	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
	M5	Ma çonnerie globalement renforc ée	0.30	0.49	0.694	0.953	1.02
Structure en b éton arm é	RC1	Structures poteaux-poutres en b éton arm é	-0.02	0.047	0.442	0.80	1.02
	RC2	Murs porteurs en b éton arm é	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
	RC3.1	Syst ème poteaux/poutres avec mure de remplissage en ma çonnerie non arm é					
	RC3.1	Murs de remplissage en ma çonnerie,	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98

Valeurs des facteurs V_m :

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 élévation		+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 longrines	0	0	0
	Semelles isolées	+0.04	0	0
Morphologie du sol	Pente	+0.02	+0.02	+0.02
	Escarpement	+0.04	+0.02	+0.04

mosquée Badr

		Description	Valeurs de VI représentatives				
			VI ^{min}	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	Pierres appareillées	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 confiné	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

Valeurs des facteurs V_m :

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 élévation		+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 longrines	0	0	0
	Semelles isolées	+0.04	0	0
Morphologie du sol	Pente	+0.02	+0.02	+0.02
	Escarpement	+0.04	+0.02	+0.04

cem les classes

		Description	Valeurs de VI représentatives				
			VI ^{min}	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	Pierres appareillées	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 armé ou confiné	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
	M5	Maçonnerie globalement renforcé	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

Valeurs des facteurs V_m :

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 élévation		+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 longrines	0	0	0
	Semelles isolées	+0.04	0	0
Morphologie du sol	Pente	+0.02	+0.02	+0.02
	Escarpement	+0.04	+0.02	+0.04

		Description	Valeurs de VI représentatives				
			VI ^{min}	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	Pierres appareillées	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 armé ou confiné	0.14	0.33	0.451	0.633	0.70
	M5	Maçonnerie globalement renforcé	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

Valeurs des facteurs V_m :

Facteurs de vulnérabilité		Niveau de 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 élévation		+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 longrines	0	0	0
	Semelles isolées	+0.04	0	0
Morphologie du sol	Pente	+0.02	+0.02	+0.02
	Escarpement	+0.04	+0.02	+0.04

Mairie bloc de service

		Description	Valeurs de VI représentatives				
			VI ^{min}	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	Pierres appareillées	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 confiné	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

Valeurs des facteurs V_m :

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 élévation		+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 longrines	0	0	0
	Semelles isolées	+0.04	0	0
Morphologie du sol	Pente	+0.02	+0.02	+0.02
	Escarpement	+0.04	+0.02	+0.04

