



Faculty of Sciences and Technology

كلية العلوم و
التكنولوجيا

Civil Engineering Department

قسم الهندسة المدنية

N° d'ordre : M2... /GC/2024

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Civil

Option : Matériaux et structures

Thème

Vulnérabilité des constructions existantes de la ville de
Mostaganem

Présenté par :

TLEMSANI Hafsa

LAHOUEL Nadia



Soutenu le 25/06/2024 devant le jury composé de

Monsieur	Président :	SARDOU MILOUD	Université de Mostaganem
Madame	Encadrant :	DJILALI NASSIRA	Université de Mostaganem
M	Examineur :	SABEUR BENDEHIBA	Université de Mostaganem
M	Invité.		Université de Mostaganem



REMERCIEMENT

*Tout d'abord, nous voudrions remercier Dieu qui nous a donné la force et la volonté Pendant 17 années consécutives jusqu'à ce jour de remise des diplômes, alors qu'il est tenu de Apportez plus à suivre. Par conséquent, nous tenons à remercier **Mme DjelaliNacéra** pour ses conseils et ses efforts Et ces efforts sont pour que nous puissions mettre en œuvre ce projet avec succès. Nos sincères remerciements aux membres du jury de nous avoir fait l'honneur de juger cet humble Mémoire. Nous adressons notre profonde gratitude à l'ensemble du corps professionnel et Personnel administratif du département de génie civil qui a contribué à notre formation. En fin de compte, nous tenons à remercier nos familles, amis et tous ceux qui ont contribué de De près ou de loin pour réaliser cette thèse.*



RESUME

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

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

Cette étude consiste après un diagnostic, à essayer d'estimer la vulnérabilité sismique des bâtiments existants dans la ville de Mostaganem qui s'avère une région à sismicité moyenne, par la méthode de **CETE Méditerranée (1990)** et enfin, on peut déduire les niveaux des dommages de ce type de construction.

Mots clés : Vulnérabilité sismique, la méthode de CETE Méditerranée, diagnostic, estimation.

ABSTRACT

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

This work relates to the study of the seismic vulnerability of existing buildings in the city of Mostaganem, located in north Algeria. To make this assessment, a database was set up following an inventory of the building based on research work for technical files and field visits.

This study consists, after a diagnosis, in trying to estimate the seismic vulnerability of existing buildings in the city of Mostaganem, which is a region with average seismicity, by the **CETE Méditerranée (1990)** method and finally, we can deduce the levels of damage. of this type of construction.

Keywords: seismic vulnerability, the CETE Méditerranée (1990) method, diagnostic, estimate.

ملخص

لا يزال النشاط الزلزالي قويًا في شمال الجزائر حيث تم تسجيل ما لا يقل عن 30 زلزالًا شهريًا في المنطقة. سلط تحليل الأضرار التي لحقت بعد الزلازل الأخيرة الضوء على هشاشة المباني القائمة. يمثل العدد الكبير من المباني التي تم تشييدها قبل إدخال معايير مقاومة الزلازل مخاطر زلزالية عالية.

يتعلق هذا العمل بدراسة الضعف الزلزالي للمباني القائمة في مدينة مستغانم الواقعة شمال الجزائر. لإجراء هذا التقييم، تم إنشاء قاعدة بيانات بعد جرد المباني بناءً على العمل البحثي للملفات الفنية والزيارات الميدانية.

تتمثل هذه الدراسة، بعد التشخيص، في محاولة تقدير الضعف الزلزالي للمباني القائمة في مدينة مستغانم، وهي منطقة ذات نشاط زلزالي متوسط، باستخدام طريقة CETE .
Méditerranée (1990)

وأخيراً، يمكننا استنتاج مستويات الضرر عن طريق معرفة نوعية البناء.

الكلمات الدالة: التشخيص، التقييم، طريقة CETE Méditerranée ، الضعف الزلزالي

SOMMAIRE

<i>REMERCIEMENT</i>	_____
<i>RESUME</i>	_____
<i>ABSTRACT</i>	_____
<i>ملخص</i>	_____
<i>INTRODUCTION GENERALE</i>	_____ 1
<i>CHAPITRE I :SISMIQUE EN ALGERIE</i>	_____ 2
I.1 Introduction	_____ 3
I.2 Historique de la sismicité en Algérie	_____ 4
I.2.1 Sismicité du territoire maghrébin	_____ 4
I.3 Le séisme	_____ 5
I.4 Sismicité de l'Algérie :	_____ 5
I.5 Evaluation de l'aléa sismique	_____ 7
I.5.1 Différentes étapes d'évaluation de l'aléa sismique	_____ 7
I.5.2 Qu'est-ce que le risque sismique?	_____ 8
I.5.3 Comment évaluer un risque sismique?	_____ 9
I.6 Problématique de la vulnérabilité sismique :	_____ 10
I.6.1 Caractéristique des séismes algérienne :	_____ 10
I.6.2 Zones sismiques en Algérie:	_____ 13
I.7 Risque et aléa sismique en Algérie :	_____ 13
I.8 Le séisme et les bâtiments	_____ 14
I.8.1 Constructions parasismiques	_____ 14
I.8.2 Exemples de mauvaises conceptions parasismiques :	_____ 15
I.9 Sismologie de la ville de Mostaganem	_____ 23
I.10 Conclusion	_____ 24
<i>Chapitre II :Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique</i>	_____ 25
II.1 Introduction	_____ 26

II.2	Vulnérabilité sismique	26
II.3	Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique	26
II.3.1	Méthode du projet européen RISK-UE(2003)	27
II.3.2	Méthode VULNERALP (2005)	30
II.3.3	Méthodologie HAZUS (Hazard US)	33
II.3.4	Méthode du CETE Méditerranée (fin des années 1990)	35
II.4	Classification des dégâts au bâtiment (degrés de dommages) selon l'échelle EMS	98
	40	
II.5	Conclusion	45
<i>Chapitre III : Étude des scénarios sismiques</i>		46
III.1	Introduction :	47
III.2	Scénario du risque sismique sur les constructions de la ville de Mostaganem	47
III.3	Zone de couverture d'étude des bâtiments	48
III.4	Les Structures que nous avons évaluées	49
III.5	Missions d'enquête sur le terrain d'étude	57
III.6	Estimation de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments interrogés	59
III.7	Techniques de renforcement des structures vulnérables	63
III.7.1	Renforcement par chemisage	63
III.7.2	Renforcement par mur en maçonnerie rigide	64
III.7.3	Renforcement par voiles en béton armé	64
III.7.4	Renforcement par palées de stabilité (triangulées)	65
III.7.5	Renforcement des fondations	65
III.7.6	Renforcement par tôles collées	66
III.7.7	Renforcement à l'aide de matériaux composites	66
III.7.8	Renforcement à l'aide de chemises en acier	66
III.7.9	Renforcement par précontrainte transversale	66
III.7.10	Renforcement à l'aide d'amortisseurs	66
III.8	Conclusion	67

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Sismicité du nord Algérien. _____	3
Figure 2: Sismicité en Algérie _____	6
Figure 3: Carte sismotectonique de l'Algérie du Nord. _____	10
Figure 4: Les ondes P _____	11
Figure 5 : Les ondes _____	11
Figure 6: Les ondes de LOVE [3]. _____	12
Figure 7: Les ondes de RAYLEIGH [3] _____	12
Figure 8: Carte de zonage sismique de l'Algérie _____	13
Figure 9: Moment de torsion autour Dans la zone d'angle _____	16
Figure 10: Accumulation de la contrainte D'un noyau rigide. _____	16
Figure 11 Les poutres sont dimensionnées Plus largement que les poteaux. _____	17
Figure 12: Joint parasismique Insuffisant _____	17
Figure 13: Endommagement et rotation des poutres _____	18
Figure 14: Éclatement du béton et flambement des armatures à la base _____	18
Figure 15: Effondrement total du mosquée. _____	19
Figure 16: Effondrement de la maçonnerie _____	20
Figure 17: construction enferme en boise murs épais(ZEMMOURI) _____	20
Figure 18:l'effondrement total en millefeuilles (BOUMERDES) _____	21
Figure 19:absence des cadre sámi-poteau et a un biveau des nœuds(ZEMOURI) _____	21
Figure 20: transparence du réez de chaussée(DELLYS) _____	22
Figure 21:les plancher entrans d'arbre et les sacs faibles (DELLYS) _____	23
Figure 22: Carte du zonage sismique de la wilaya de Mostaganem (prise à partir de la direction de la protection civile de la wilaya de Mostaganem) _____	24
Figure 23: Typologies EMS-98 associées à une classe de vulnérabilité. _____	41
Figure 24: Classification des damages du bâti en maçonnerie selon EMS-98 _____	42
Figure 25: Classification des damages du bâti en béton armés élone EMS-98 _____	43
Figure 26: Carte de la wilaya de Mostaganem (format Mapp info). _____	48
Figure 27: Localisation de la zone d'étude dans la carte de Mostaganem (Google Earth) _____	49
Figure 28 : Le Marché couvert _____	50
Figure 29: bordj Ettore _____	50
Figure 30: Algérie poste en 1935 (a) _____	51

Figure 31: Algérie poste aujourd'hui (b)	51
Figure 32: CEM en 1909 (a)	52
Figure 33: CEM aujourd'hui (b)	52
Figure 34: Masdjid Badr	53
Figure 35: La clinique Qara	53
Figure 36: mosquée Sidi Yahia	54
Figure 37: Tribunal en 1950 (a)	54
Figure 38: Tribunal aujourd'hui (b)	55
Figure 39: centre commercial (B1, B2, B3et B4) colisée.	56
Figure 40: Banque Nationale D'Algérie	56
Figure 41: réservoir d'eau	57
Figure 42: La Mairie de Mostaganem	57
Figure 43: Chemisage en Béton armé d'un poteau	64
Figure 44: Chemisage métallique d'un poteau	64
Figure 45: Renforcement avec voile	64
Figure 46: Renforcement par palées de stabilité triangulées	65
Figure 47:Renforcement d'une fondation	65
Figure 48:Renforcement d'un poteau avec des chemises sen matériaux composites	66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Équivalence entre le niveau d'endommagement (ou degré de dégâts) et l'indice d'endommagement. _____	35
Tableau 2: Les 22 facteurs retenus pour déterminer V2. _____	37
Tableau 3: Tableau récupérait des différentes méthodes. _____	44
Tableau 4: Catégories de constructions existantes et leurs distributions dans la zone _____	49
Tableau 5: valeurs de l'indice de vulnérabilité sismique obtenue pour les différentes constructions. _____	60
Tableau 6: Synthèse de distribution des dommages pour EMS 98 intensité I=5 _____	61
Tableau 7: Comparisons entre la méthode CETE Méditerranée (1990) et la méthode du RISK-UE(2003) _____	62



INTRODUCTION GENERALE



Introduction générale

Lorsque des séismes ont frappés un pays au long des périodes passées ils continueront à se manifester dans l'avenir. C'est le cas de notre pays. L'Algérie présente une vulnérabilité élevée aux séismes du fait de sa situation géographique. De ce fait il sera demandé de doubler nos efforts sur une meilleure connaissance du séisme et sur le développement et le perfectionnement des règles de protection à prendre lors de la réalisation de divers ouvrages et plus particulièrement les constructions neuves qui doivent apporter le maximum de sécurité, et faire face à la crise. Il faut penser à la sauvegarde des vies humaines, à la protection des équipements et infrastructures importants du public tels que : les hôpitaux, la protection civile, centrales électriques, réseau vitaux, etc. Dans le génie parasismique, la connaissance de différents paramètres, pour la conception et la réalisation de tout ouvrage rationnel résistant aux séismes, est basée en premier lieu de connaître le comportement dynamique de cet ouvrage lors d'un séisme majeur. Pour résoudre ce problème dynamique, L'expérience acquise dans plusieurs pays du monde dans la protection de constructions lors de ces séismes a mené au développement de différentes méthodes d'analyse. Parmi ces méthodes Méthode du **CETE Méditerranée (fin des années 1990)** Il s'agit 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.

L'objectif de cette recherche est d'approfondir le comportement sismique et d'évaluer la vulnérabilité sismique des constructions existantes de différentes typologies de la ville de Mostaganem en basant sur une méthode parmi les méthodes de vulnérabilité à grande échelle.

Ce mémoire est composé d'un résumé suivi de quatre chapitres présentés comme suit : Chapitre I : Ce chapitre est composé de deux parties la première est une généralité consacrée à l'état des connaissances sur le séisme et le risque sismique, tandis que dans la deuxième partie nous avons créé un problématique lié à plusieurs imperfections (le règlement parasismique algérien et la zone de notre étude). Chapitre II : Qui concerne les méthodes disponibles d'évaluation de la vulnérabilité sismique selon l'échelle urbain et bâtiment, Ces méthodes proviennent principalement d'Europe et d'Amérique, notamment de l'Italie, de la Suisse, de la France et de l'USA. Chapitre III : étude des scénarios sismique. En fin, on termine par une conclusion générale.



***CHAPITRE I : Sismique en
Algérie***



I.1 Introduction

Le risque sismique reste parmi les risques majeurs qui menacent notre pays. Effectivement, l'Algérie est localisée à la frontière des deux plaques tectoniques qui engendrent des séismes modérés, à de fortes magnitudes. Alger est considérée comme la ville la plus vulnérable du pays. Non seulement, elle témoigne de terribles catastrophes sismiques mais, elle repose sur six failles sismiques qui peuvent bouger à tout moment. Additionnée à ce phénomène, Alger se trouve confrontée à d'extrêmes mutations urbaines. L'urbanisation qu'elle a connue depuis l'indépendance n'a pas pris en compte le facteur risque. Le choix prioritaire d'un développement le long du littoral de la baie d'Alger et sa croissance actuelle vers les zones du sahel et de la Mitidja ainsi que la dégradation et le vieillissement du cadre bâti ont participé à faire de l'Algérie un territoire très vulnérable, capable de décupler le potentiel d'une catastrophe sismique majeure.1

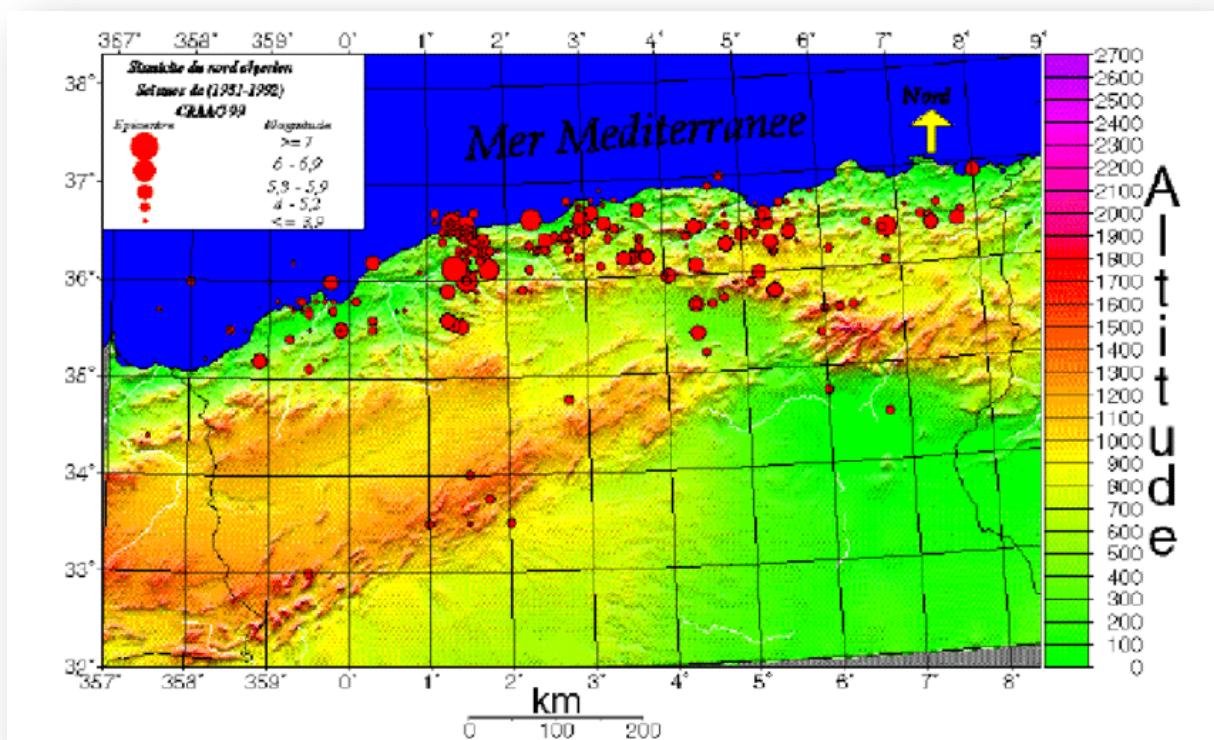


Figure 1: Sismicité du nord Algérien.

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

I.2 Historique de la sismicité en Algérie

I.2.1 Sismicité du territoire maghrébin

Le catalogue des séismes du Maghreb de Bounouar (Bounouar.D 1994) 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 évènements sismiques ont été recensés dans cette région durant le XXème 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 XVIème Au XVIII^{ème} siècle donne les résultats suivants (ABDESSEMED-FOUFA. A 2007) :

- Algérie : de 1365 à 1895 : 51 évènements dont 16 séismes à Alger et sa région.
- Maroc : 846 à 1899 : 74 évènements dont 11 séismes à Fès.
- Tunisie : 412 à 1899 : 39 évènements 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 évènements 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 XXème 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).

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 Témouchent 2000, Alger Boumer dès 2003).1

I.3 Le séisme

Le séisme est le risque naturel majeur le plus meurtrier, tant par ses effets directs que par les phénomènes induits (mouvements de terrain, tsunamis, etc.). En outre, ces phénomènes peuvent aussi conduire à des pertes économiques parfois indépassables par les pays touchés. Durant les dernières décennies, le monde a connu plusieurs séismes de moyenne à grande magnitude, qui ont touchés plusieurs pays dont l'Algérie, causant de très grandes pertes (humaines et matérielles). Le niveau de performance de certaines constructions au cours de ces séismes était faible, et delà, le niveau des dommages structurels très grand. Ce qui a eu pour conséquence, le besoin de détermination et de l'évaluation des dommages dans les structures plus que jamais.²

I.4 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 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 paléo sismicité effectuées après le séisme d'El Asnam ont permis de révéler l'existence de traces d'anciens séismes (sis mites) qui ont affecté cette région (Meghraoui, 1988).

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). Ces données de paléo sismicité permettent également d'estimer la récurrence des évènements 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.²

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

Lieu	Année	Magnitude	Morts	Battisses 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

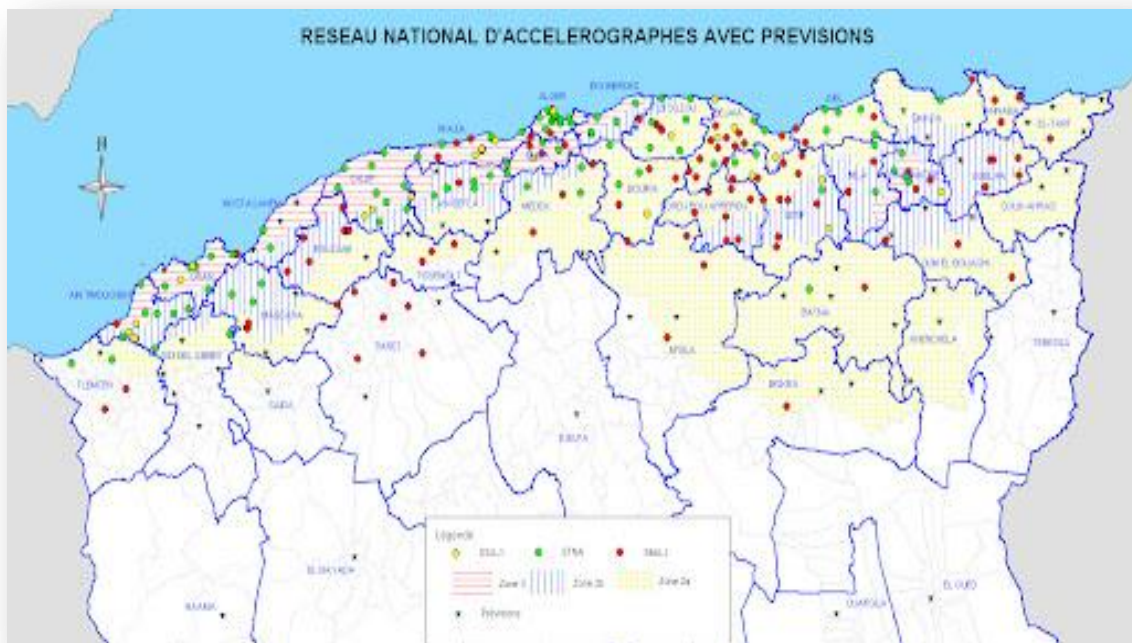


Figure 2: Sismicité en Algérie

Source : Protection Civil de la ville d’Alger, Hydra, Parados.

I.5 Evaluation de l'aléa sismique

La prédiction des séismes à court terme n'étant pas possible actuellement, il faut évaluer le risque qu'un séisme destructeur se produise pour protéger efficacement une région par des constructions adaptées et pour préparer la population : c'est le domaine de la prévention sismique. Pour évaluer l'aléa sismicité, il est nécessaire dans la pratique, de distinguer deux échelles d'étude, afin de pouvoir tenir compte aussi bien des effets induits que des effets directs des séismes: u Une échelle régionale (entre 1/250000ème et 1/100000ème), à laquelle le milieu est supposé géologiquement homogène et de topographie uniforme et où, on peut se limiter au calcul d'un mouvement sismique en conditions standards ("rocher horizontal affleurant " ou plus simplement "rocher"). Une échelle locale (entre 1/15000 ième et 1/25000 ième), où les conditions géologiques locales (nature des sols) et la topographie des sites étudiés seront prises en considération dans les calculs du mouvement du sol engendré par les sources. On parlera pour cette échelle de micro zonage sismique en prenant en considération les conditions propres au lieu étudié (topographie, lithologie ou nature des sols, instabilité des versants..., etc.).³

I.5.1 Différentes étapes d'évaluation de l'aléa sismique

L'étude de l'aléa sismique est présentée en trois étapes. Les deux premières étapes sont liées et l'on n'observe pas toujours une limite franche entre elles. Elles sont l'objet de l'analyse sismotectonique.

La première étape a pour objectif de mettre à jour la carte morpho structurale de la région d'étude et de cartographier l'ensemble des failles et structures tectoniques existantes. Elle repose sur:

- Les données historiques connues à travers la presse ancienne, les archives, etc. qu'il faut tout d'abord traduire en une intensité macrosismique. Le degré de fiabilité des témoignages, qui peuvent remonter jusqu'à des centaines d'années, étant malheureusement très inégaux rend cette interprétation difficile.
- Les données archéologiques (ou archéosismicité), c'est à dire l'étude des traces de séismes passées dans les bâtis anciens et les vestiges archéologiques.
- Les données géologiques, grâce au décodage de marqueurs géologiques de cette activité sismique, ainsi qu'à l'analyse du contexte géologique (études tectoniques, géophysiques, ortho photo plans, scènes satellitaires).

- Définition et localisation des failles actives de la région. La deuxième étape a pour but de compléter l'analyse de la première étape en utilisant:
- Les données instrumentales et cela est assuré grâce à des réseaux de surveillance tel que: Les stations sismiques, l'interférométrie Radar satellitaire, etc.
- Les photographies aériennes et images satellitaires. La troisième et dernière étape concerne l'évaluation des mouvements vibratoires du sol. Cela, nécessite d'étudier les mécanismes physiques qui entrent en jeu lors de la propagation des ondes sismiques entre la source en profondeur et le site à la surface. Ces mouvements sont principalement fonction de la magnitude du séisme, de la distance source- site et des conditions de sol et s'expriment en termes d'accélération et de vitesse de déplacement. BADDARI K. & DJEDDI M. (1994) *Eléments de sismologie*. Office des publications universitaires éd., Alger, Algérie.3

I.5.2 Qu'est-ce que le risque sismique?

Ce qui intéresse les spécialistes en matière de prévention sismique ce sont les dégâts dans les bâtiments que peuvent causer les séismes. Il faut donc évaluer dans chaque région les dégâts les plus importants qui peuvent être causés par un séisme.

Ceci revient donc, à déterminer l'intensité macrosismique maximale que l'on peut ressentir dans la région en question. Les sismologues préfèrent en fait étudier l'accélération du sol qui est liée à l'intensité mais qui est une grandeur physique alors que l'intensité est une grandeur plus subjective.

Déterminer le risque sismique en un endroit c'est donc déterminer l'accélération maximale que le sol est susceptible de subir lors d'un tremblement de terre. Cette accélération est en générale exprimée en fonction de l'accélération de la pesanteur qui vaut environ 9.8 m/s^2 .

Cependant, on ne peut pas savoir avec précision les mouvements du sol dus à de possibles futurs séismes tant que les méthodes de prédictions ne sont pas efficaces. Les seuls éléments dont les sismologues disposent sont des statistiques sur l'occurrence et la magnitude des séismes dans une région.

Ils sont donc obligés de raisonner en termes de probabilité: une évaluation de risque sismique revient à donner une accélération maximale que le sol peut subir et un pourcentage de "chance" pour que cette valeur soit atteinte au cours d'une période de référence. Par exemple, "il y a 5% de "chance" que le sol subisse une accélération de 0,5 g (soit 5 ou une

intensité IX) dans les 50 prochaines années mais il y a 40% de "chance" pour qu'il subisse une accélération de 0,1 g (soit 1 m/s² ou une intensité VI) avant 50 ans".

Ensuite, en fonction de ces valeurs, on classe la zone comme étant plus ou moins "à risques" et on trace des cartes plus globales de zonage sismique recensant le risque déterminé pour chaque zone.

BADDARI K. & DJEDDI M. (1994) *Eléments de sismologie*. Office des publications universitaires éd., Alger, Algérie.4

I.5.3 Comment évaluer un risque sismique?

Pour savoir si un séisme important peut se produire dans une région, une première étape possible est d'installer un réseau de sismomètres autour de cette région et d'enregistrer la sismicité - c'est-à-dire tous les séismes même minimes qui se produisent dans cette zone – afin de connaître au mieux cette sismicité mais aussi d'estimer la magnitude maximale possible, la récurrence des séismes, etc. Pour cela, le mieux est de faire des observations sur de très longues périodes qui doivent être d'autant plus longues que la sismicité de la zone est modérée.

Cependant, enregistrer l'activité sismique pendant dix ans sans que rien ne se produise ne signifie pas qu'aucun séisme important ne se produira à plus long terme dans 50 ou 100 ans. Pour évaluer ce risque, les scientifiques essayent de retrouver la trace de séismes anciens en travaillant en collaboration étroite avec des historiens. Ce travail permet d'évaluer la sismologie historique. Parfois, l'aide d'un archéologue peut s'avérer utile. On parle alors d'archéologie sismologique.

Ceci n'est malheureusement possible que dans des régions de peuplement ancien. Ainsi on dispose en Chine de 2700 années d'archives et en France on peut retrouver la trace de séismes jusqu'au XII^{ème} siècle. Mais en Californie par exemple, on n'a pas trace de séisme plus ancien que 1800 environ, date du peuplement de la région.4

I.6 Problématique de la vulnérabilité sismique :

I.6.1 Caractéristique des séismes algérienne :

Le champ incident du signal sismique est constitué d'une superposition d'ondes de plusieurs natures (volumique, surfacique, plane, cylindrique, longitudinale, transversale...). Les deux principaux types d'onde sont les ondes de volume (onde de compression P, onde de cisaillement S) qui traversent la Terre et les ondes de surface (Rayleigh, Love,...) qui se propagent à la surface. Sur les enregistrements des sismographes, elles se succèdent ou se superposent. La Figure 4 représente les différents temps d'arrivée des ondes : les ondes P sont les plus rapides, ensuite les ondes S et finalement les ondes de surface.

La vitesse de propagation et l'amplitude des ondes sismiques sont modifiées par les structures géomorphologiques qu'elles traversent. Le signal enregistré est la combinaison des effets liés à la source (l'effet de source), à la distance et aux matériaux traversés lors de la propagation (l'effet de propagation), au contexte géologique et géomorphologique de la station (les effets de site) et à l'instrument de mesure (l'effet instrumental). (Voire fig.2.1). Il est important de noter que la dégradation des caractéristiques mécaniques des couches superficielles est la cause du redressement des rais sismiques. Ainsi, les ondes sismiques se propagent verticalement quand elles s'approchent à la surface.6

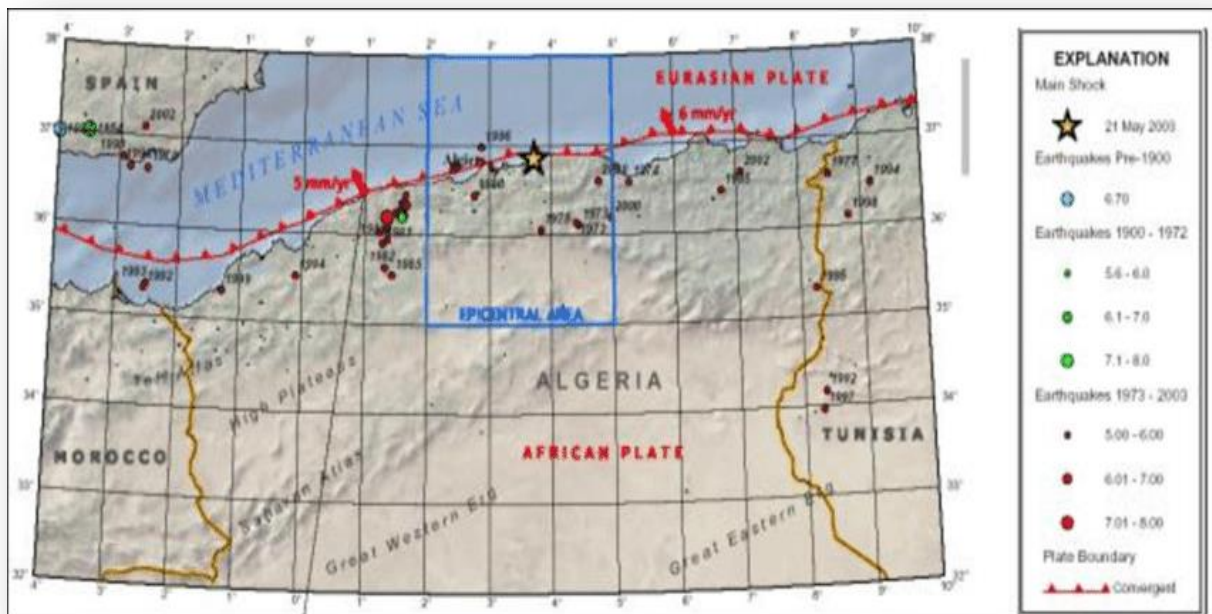


Figure 3: Carte sismotectonique de l'Algérie du Nord.

I.6.1.1 Type des ondes sismique

Les ondes sismiques sont des vibrations qui se propagent de proche en proche dans un matériau. Elles sont générées par un choc initial, par exemple la rupture ou le rejeu d'une faille. Leur vitesse de propagation est proportionnelle à la densité du milieu qu'elles traversent ; c'est cette propriété qui a notamment permis de déterminer un modèle de structure interne de la Terre (m Les ondes de volume

➤ Les ondes de volume

Les ondes P : elles sont des ondes de compression assimilables aux ondes sonores et qui se propagent dans tous les états de la matière. Les particules se déplacent selon un mouvement avant-arrière dans la direction de propagation de l'onde (figure I.3). Les ondes P sont les plus rapides (6 Km/s près de la surface). Ce sont les ondes enregistrées en premier sur un sismogramme.

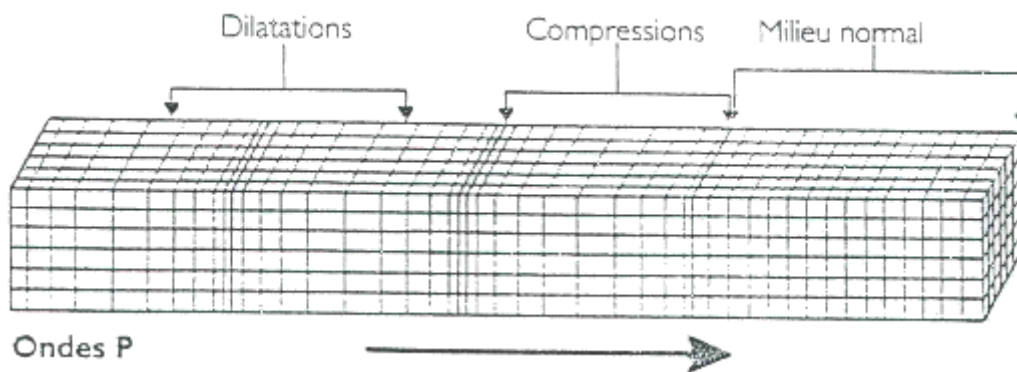


Figure 4: Les ondes P

Les ondes S : elles sont des ondes de cisaillement qui ne se propagent que dans les solides. Les particules oscillent dans un plan vertical, à angle droit par rapport à la direction de propagation de l'onde (figure I.4). Plus lentes que les ondes P, elles apparaissent en second sur les sismogrammes.

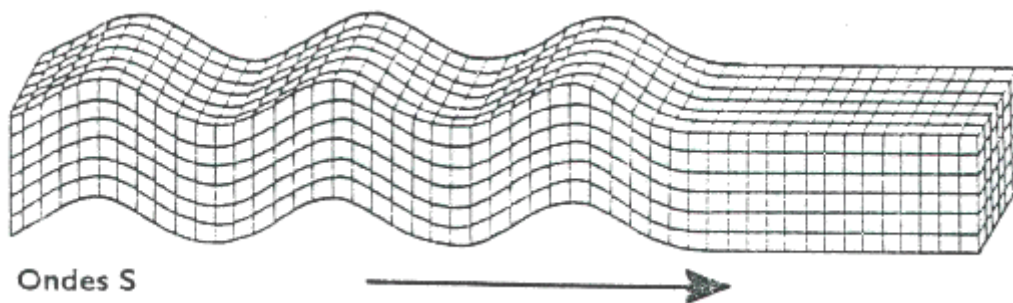


Figure 5 : Les ondes

➤ **Les ondes de surface**

Elles résultent de l'interaction des ondes de volume. Elles sont guidées par la surface de la terre, se propagent moins vite des ondes de volume, mais elles ont généralement une plus forte amplitude. Généralement, ce sont les ondes de surface qui produisent les effets destructeurs des séismes. On en distingue :

Les ondes de LOVE (ondes L) : elles sont des ondes de cisaillement, comme les ondes S, mais qui oscillent dans le plan horizontal (figure I.5). Elles provoquent au sol un mouvement latéral.

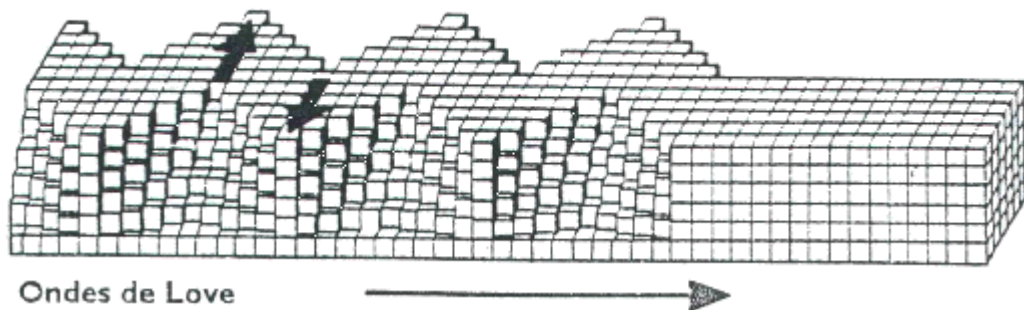


Figure 6: Les ondes de LOVE [3].

Les ondes de RAYLEIGH : elles sont assimilables à une vague ; les particules du sol se déplacent selon une ellipse, créant une véritable vague qui affecte le sol lors des grands tremblements de terre (figure I.6).

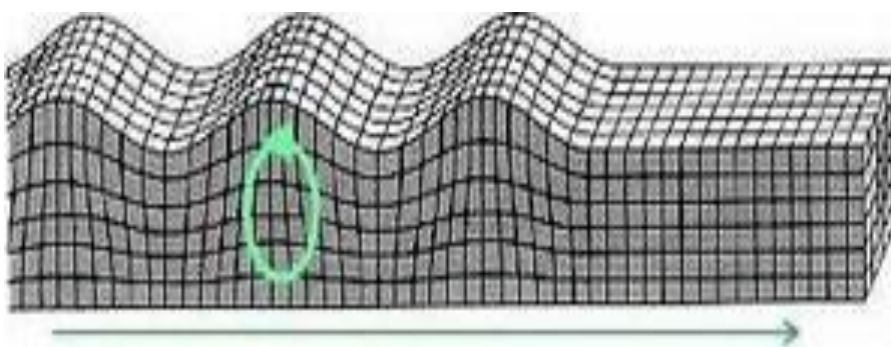


Figure 7: Les ondes de RAYLEIGH [3]

I.6.2 Zones sismiques en Algérie:

Le territoire national est divisé en quatre (04) zones de sismicité croissante [9], définies sur la carte des zones de sismicité et le tableau associé qui précise cette répartition par wilaya et par commune, soit [9]:

Zone O : sismicité négligeable

Zone I : sismicité faible

Zone II : sismicité moyenne

Zone III : sismicité élevée

La figure I.20 présente la carte des zones sismiques de l'Algérie et le zonage global des différentes wilayas.5



Figure 8: Carte de zonage sismique de l'Algérie

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

I.7 Risque et aléa sismique en Algérie :

L'Algérie, comme les autres pays méditerranéens, est sujette à une activité sismique importante. Situé sur la bordure de la plaque africaine laquelle est en mouvement continue de collision avec la plaque eurasienne. Ce mouvement est responsable des séismes destructeurs qui se sont produits en Algérie et ont causé d'énormes pertes en vies humaines et en matériel. L'aléa sismique est la probabilité en un lieu donné qu'au cours d'une période de référence, une secousse sismique atteigne ou dépasse une certaine valeur.

•Aléa sismique régional

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

•Aléa sismique local

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

I.8 Le séisme et les bâtiments

Lorsqu'un matériau rigide est soumis à des contraintes de cisaillement, il va d'abord se déformer de manière élastique, puis, lorsqu'il aura atteint sa limite d'élasticité, il se plastifie et il cède, en dégageant de façon instantanée toute l'énergie qu'il a accumulé durant la déformation élastique.

Dans l'état actuel des choses, il est question de prévoir les modes de déformation des constructions sous l'effet des secousses, et de maîtriser l'importance de ces déformations et contraintes sur l'ensemble de la structure porteuse. Pour des raisons de bon fonctionnement et de stabilité générale de la construction, on ne peut pas laisser un bâtiment se déformer comme un roseau. On doit contrôler son endommagement en empêchant la rupture brutale et l'effondrement, tout en assurant un comportement ductile pour la structure.

Un autre facteur de ruine qu'il faut prévoir, c'est la mise en résonance. Lorsque la période d'oscillation d'un sol donné correspond à la période propre d'oscillation d'un bâtiment, celui-ci s'emballe et amplifie le mouvement. 6

I.8.1 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 points :

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

Elle comprend trois aspects :

- 1- L'aspect architectural : formes et dimensions des espaces (cellules) de la structure
 - 2- l'aspect constructif : dimensions et caractéristiques comportementales des éléments structuraux de résistance.
 - 3- l'aspect contreventement : type et nombre d'éléments de contreventement.
- Mise en œuvre soignée de la construction. Enfin sans une mise en œuvre de qualité de la part de l'entrepreneur, la construction peut s'effondrer comme cela a été encore le cas récemment dans des immeubles en Turquie en 1999, en Inde en 2001 et en Algérie en 2003.7

I.8.2 Exemples de mauvaises conceptions parasismiques :

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 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 figure9, 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 figure10.

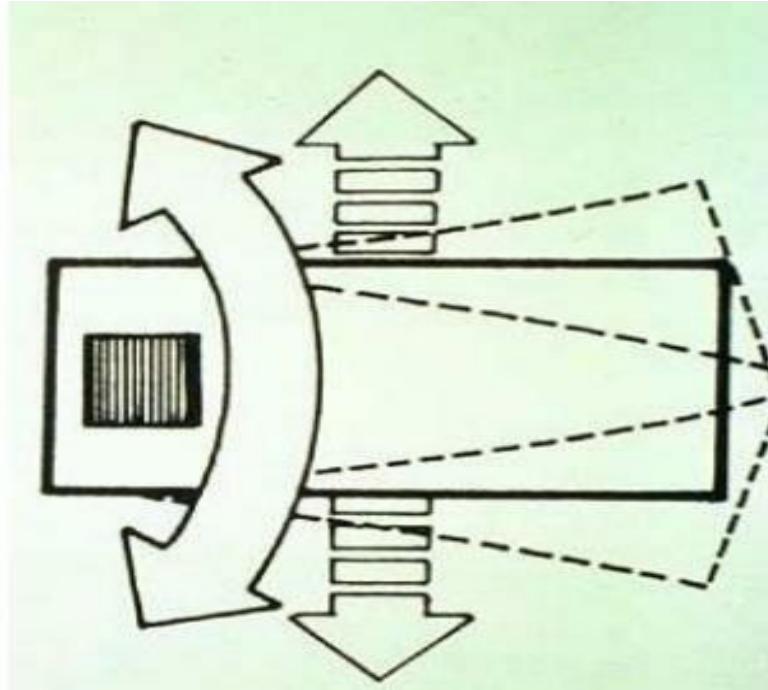


Figure 9: Moment de torsion autour Dans la zone d'angle

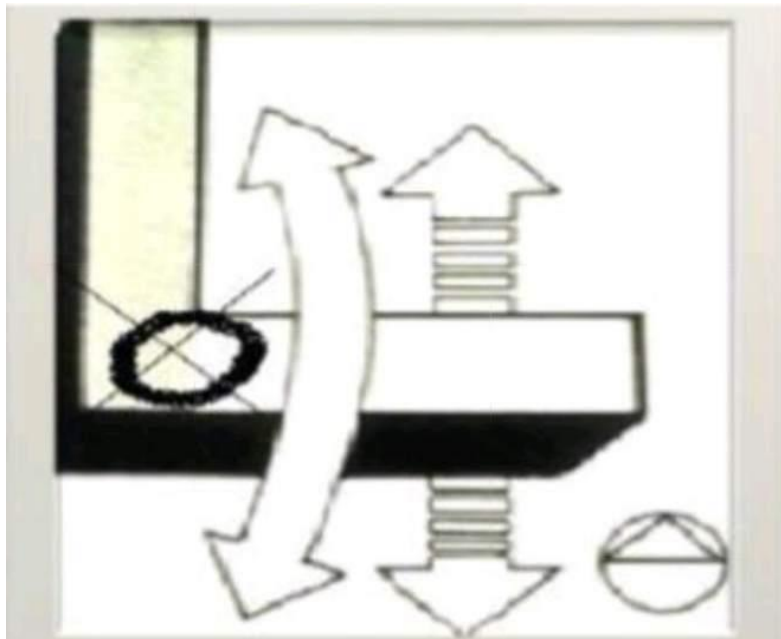


Figure 10: Accumulation de la contrainte D'un noyau rigide

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



Figure 11 Les poutres sont dimensionnées Plus largement que les poteaux.



Figure 12: Joint parasismique Insuffisant

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

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.

- La figure I.13 montre que les extrémités des poutres sont les zones touchées. Le séisme a provoqué la fissuration de ces parties et par la suite la rotation de celles-ci, provoquant ainsi une rotation du plancher. Ce cas présente aussi le problème de l'espacement du joint parasismique, qui est jugée insuffisante ou inexistante. Ce qui a provoqué des désordres dans le bâtiment voisin (à droite de la photo).

Sur la figure I.14, la zone de rupture a eu lieu au niveau de la base des poteaux. Il y a eu éclatement en pied de poteau ce qui a provoqué ces dégradations. Cet éclatement vient du fait que les crochets des étriers ne soient pas conformes à la réglementation, ils doivent être coudés à 135° [21].



Figure 13: Endommagement et rotation des poutres



Figure 14: Éclatement du béton et flambement des armatures à la base

- L'adaptation des constructions au site conduit parfois à opter des planchers décalés, par exemple d'un demi-niveau. 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

- 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.15).

Ces structures présentent une très forte vulnérabilité.



Figure 15: Effondrement total de la mosquée.

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



Figure 16: Effondrement de la maçonnerie

Beaucoup de constructions datant du début du siècle jusqu'en 1950 ont été détruites (figure I.17).

Quelques bâtiments en rez de chaussée sont très endommagés mais encore debout alors que la plupart des R+1 se sont totalement effondrés.

Les murs de 40 à 60 cm d'épaisseurs ont été maçonnés à base de moellons bâtis avec un mortier de chaux très friable.

La charpente était généralement en bois massif avec une couverture en terre cuite.



Figure 17: construction en bois murs épais (ZEMMOURI)

Quelques bâtiments rectangulaires R+3 et R+4 se sont effondrés en mille feuilles d'autres ont basculé (figure I.18).



Figure 18: l'effondrement total en millefeuilles (BOUMERDES)

La section des poteaux étant souvent équivalente à celle des poutres. La plastification des nœuds s'est produite en tête ou en pied de poteau.

(Figure I.19) sauf par foison l'emplacement est constant (figure I.20) Néanmoins les cadres sont souvent absents au cœur du nœud à l'intersection poteau-poutre.



Figure 19: absence des cadre sâmi-poteau et a un biveau des nœuds(ZEMOURI)



Figure I.20: Poteau fort poutre faible (DELLYS)

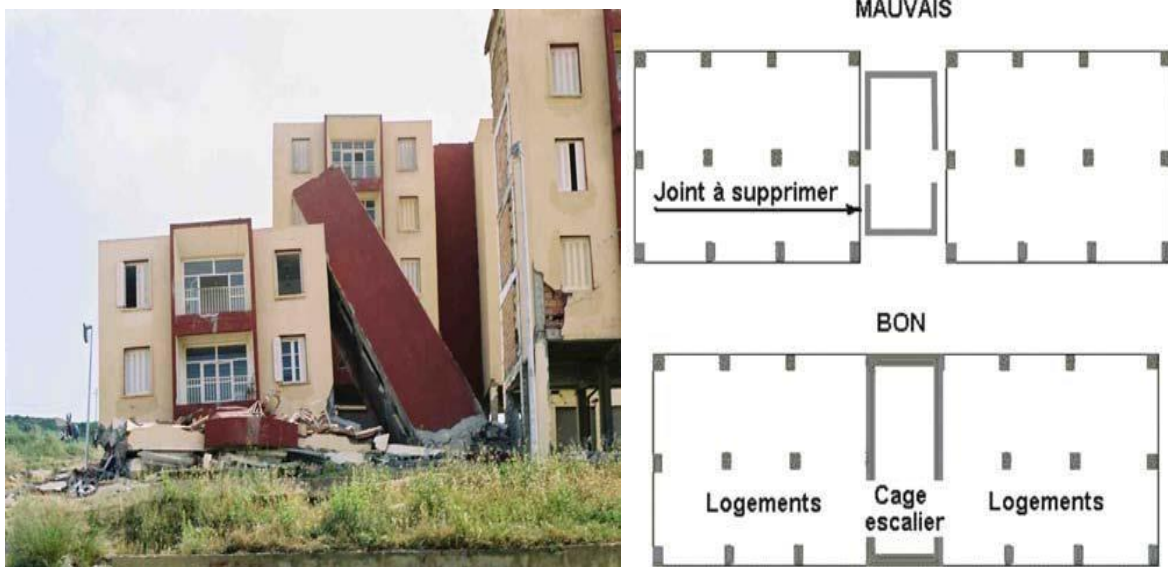


Figure 20: transparence du rez de chaussée (DELLYS)

Les planchers de faible intégrité sont constitués de poutres en tronc d'arbre avec des branches par-dessus recouvertes de terre sur environ 10 cm d'épaisseur.

(Figure I.22). Les arcs de faible portée ont mieux résisté que les linteaux droits.



Figure 21: les plancher entrons d'arbre et les sacs faibles (DELLYS)

I.9 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.

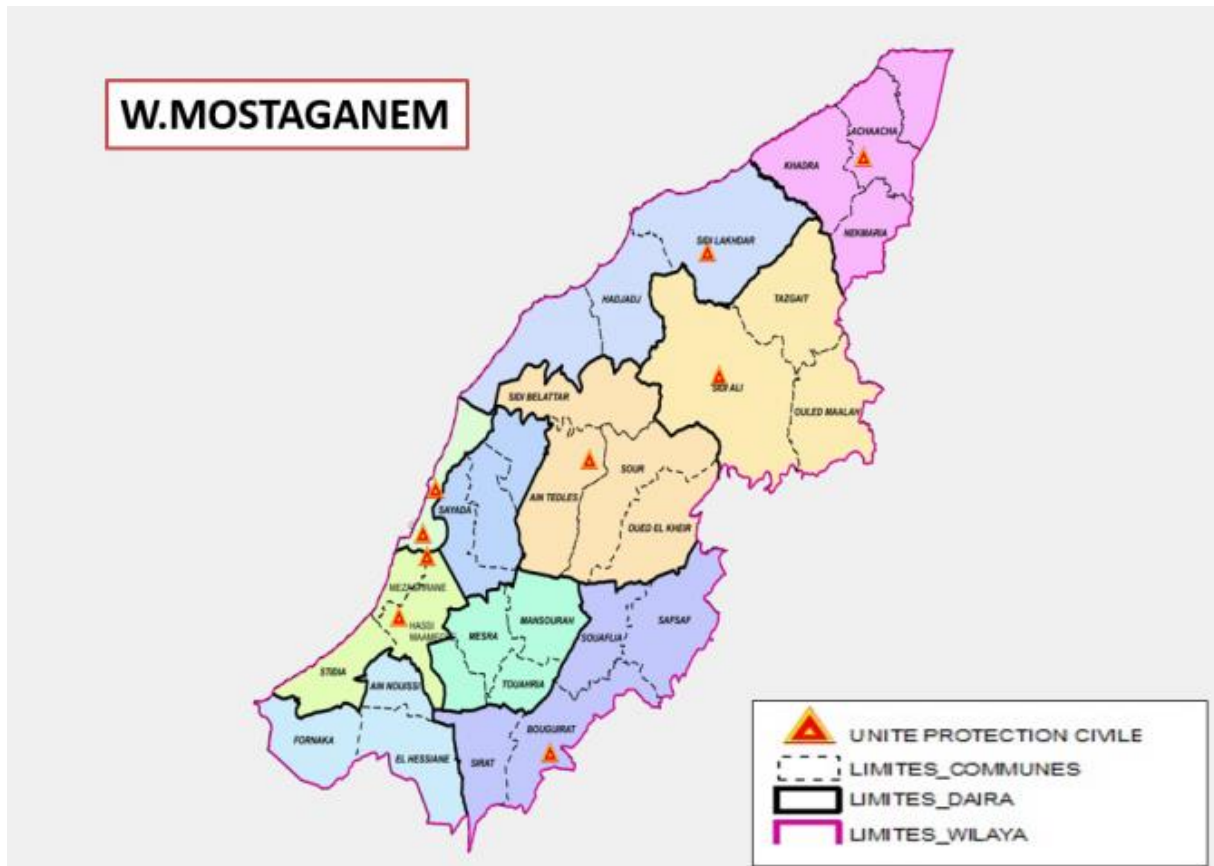


Figure 22: Carte du zonage sismique de la wilaya de Mostaganem (prise à partir de la direction de la protection civile de la wilaya de Mostaganem)

I.10 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 synthétiser 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 des méthodologies d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments existants sur la base d'une approche qualitative.



***Chapitre II : Méthodes
d'évaluation de la
vulnérabilité sismique***



II.1 Introduction

L'évaluation de la vulnérabilité sismique nécessite l'estimation des dommages potentiels aux différents types de structures et selon différentes intensités sismiques. Afin d'estimer les dommages probables, on a recourt à des méthodes qui peuvent être classées soit selon qu'on évalue la vulnérabilité d'un seul bâtiment ou d'un ensemble de bâtiment (échelle d'analyse) ou bien selon des méthodes d'analyse probabiliste ou déterministe, ces classifications sont plus détaillé dans ce chapitre

II.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.¹⁰

II.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 ces existantes. La recherche bibliographique menée auprès d'experts, de centre de documents et par internet permis de rassembler plusieurs méthodes.

Le choix des méthodes à étudier s'est basé sur les informations plus ou moins complètes recueillies sur chacune d'entre elles et sur leur origine.

Les méthodes retenues sont :

❖ Six méthodes françaises :

- La méthode du CETE Méditerranée
- La méthode Zacek 1993
- La méthode Zacek élaborée pour évaluer la vulnérabilité des bâtiments de classe D delà ville de Nice
- La méthode AFPS dite Battier
- La méthode Vulnérable
- La méthode CETE de Lyon

❖ Une méthode européenne :

- La méthode RISK-UE

❖ Six méthodes développées à l'étranger :

- La méthode canadienne
- La méthode américaine FEMA-154
- La méthode japonaise
- La méthode néo-zélandaise
- Une méthode suisse
- La méthode italienne GNDT

Alors, nous avons plusieurs méthodes mais nous avons choisi ces quatre car elles sont bien connues.

II.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 Works Package 4 relatif à l'évaluation de la vulnérabilité du bâti courant. Ce projet avait pour but d'analyser le risque sismique à l'échelle d'une ville, et d'aboutir à la création d'une méthodologie permettant l'évaluation des risques.

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 fragilité.
- Une méthode mécanique, le niveau 2, basée sur des analyses analytiques de la structure basée sur des modélisations dynamiques ou des modélisations simplifiées

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

La méthode macrosismique (niveau 1) repose sur l'évaluation d'un indice de vulnérabilité

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

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

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

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

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

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

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

Cet indice de vulnérabilité peut être établi pour un bâtiment ou pour un ensemble de bâtiment. A cet indice de vulnérabilité est associée une incertitude. En effet la matrice de typologie de bâtiment propose pour chaque typologie spécifique le terme VI^* (indice de vulnérabilité le plus probable) et les termes $[VI^- ; VI^+]$ (limites de l'intervalle plausible de VI) et $[V_{Imin} ; V_{Imax}]$ (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 Dk donné. Elles fournissent, en fonction de l'intensité macrosismique, la probabilité d'atteindre ou de dépasser ce degré Dk.

➤ **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 $VI^* = \sum t qt VI^*$ où qt est le pourcentage de bâtiment appartenant à une catégorie spécifique. On obtient de la même manière les termes $\Delta V_m, \Delta V_r$

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

➤ **Données et compétences nécessaires**

• **Données nécessaires :**

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

➤ **Ses avantages**

Cette méthode fournit 2 types de résultats :

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

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

Elle a également l'avantage d'associer une incertitude à l'indice de vulnérabilité obtenu. Cette marge d'erreur permet de nuancer les résultats obtenus.

◆ **Facteurs de vulnérabilité observés**

Cette méthode est très complète du point de vue des facteurs de vulnérabilité observés.

Elle ne se base pas seulement sur les caractéristiques physiques du bâtiment, elle s'intéresse également au contreventement, aux fondations, à la nature du sol, à l'état d'entretien, à la transparence et à la proximité d'ouvrages non parasismiques.

◆ **Les fondements de la méthode**

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

Cette méthode repose sur le travail essentiel d'identification des particularités européennes qui a eu lieu dans le cadre du Works Package 1. Il s'agissait, entre autres, d'identifier les types de bâtiments les plus représentatifs de l'ensemble des pays européens et méditerranéens. Ce sont ainsi 23 typologies de bâtiments qui ont été caractérisées, et regroupées au sein de la Matrice de Typologie des Bâtiments.

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

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

De plus la loi de distribution de dommages qui a été choisie pour établir les courbes de fragilité, est une loi Bêta plutôt que la loi de distribution binomiale classiquement utilisée.

Leur choix se fonde sur des comparaisons établies entre les répartitions de dommages observées dans la réalité, lors des séismes récents en Italie et en Grèce, et celles obtenues par différentes lois de distribution.

L'ensemble des étapes de la méthode possède une justification pertinente, ce qui permet de préjuger de la qualité de la méthode. Enfin cette méthode a l'avantage, contrairement à de nombreuses autres, de pouvoir être appliquée aux bâtis des centres historiques par simple ajout de la prise en compte des bâtiments accolés. Cette modification relève de l'analyse des monuments historiques et centres anciens effectuée dans le cadre du Works Package 5 du projet RISK-UE. 11

➤ 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 liens 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.

II.3.2 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 del'université Joseph Fourier- Observatoire de Grenoble) dans le cadre du projet VULNERALP et par

l'AFPS dans le cadre du groupe de travail « Vulnérabilité du bâti existant : approche d'ensemble ».

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

Il s'agit d'une méthode « à étages » ou « gigogne » permettant de mettre en œuvre différents niveaux d'analyse de plus en plus précis et impliquant une mobilisation progressive des moyens.

A l'heure actuelle, 4 niveaux d'analyse, tous compatibles entre eux, ont été développés :

- Le premier niveau, le plus rudimentaire, appelé 0, se base uniquement sur la typologie des bâtiments rencontrés en référence à la typologie EMS 98. Il permet un rapide screening des niveaux probables de dommages pour une typologie présente dans la ville.

Ce niveau mobilise des données issues de la bibliographie, des photos aériennes ou de base de données relatives au bâti (INSEE par exemple).

- Le second niveau, assez sommaire, appelé 1.0, est un questionnaire assorti d'un guide informatif qui peut être renseigné par les gestionnaires de parc eux-mêmes. Sur cette base est alors estimé un indice de vulnérabilité, assorti d'une grande marge d'incertitude. Les informations nécessaires sont d'ordre qualitatif et géométrique : matériau de construction, âge, terrain d'implantation, nombre d'étages, régularité géométrique, toiture.

- Le troisième niveau, plus précis et appelé 1.1, met en œuvre des fiches un peu plus détaillées renseignées par un technicien dûment formé après inspection visuelle extérieure.

Les informations complémentaires ainsi obtenues permettent d'affiner l'estimation de l'indice de vulnérabilité: réduction de la marge d'incertitude.

- Le quatrième niveau, appelé 2.0, nécessite l'intervention d'un ingénieur spécialiste en bâtiment pour acquérir des informations sur la structure elle-même par inspection extérieure et intérieure et consultation des plans de construction. La fiche est plus détaillée que la précédente. Elle permet notamment d'identifier le système de contreventement structural mobilisable pour la résistance aux séismes, les contributions des éléments non structuraux extérieurs et intérieurs et surtout d'identifier d'éventuels défauts structuraux visibles.

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

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

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

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

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

Degré 1 (dégât léger) Endommagement de 0 à 0,2 ; Degré 2 (dégât modéré)

Endommagement de 0,21 à 0,4 ; Degré 3 (dégât important) Endommagement de 0,41 à 0,6 ;

Degré 4 (dégât très important) Endommagement de 0,61 à 0,8 ; Degré 5 (dégât destruction)

Endommagement de 0,81 à 1 ;

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

Cette méthode a été établie pour être mise en œuvre soit à l'échelle d'une ville soit à l'échelle d'un groupe de bâtiment (quartier ou bâtiments de classe C d'une ville par exemple). L'application de cette méthode nécessite des données comme (Typologie de l'unité, environnement : sol, pente ; Époque de construction, Toiture et Régularité en élévation et en plan).¹²

☐☐➤☐ **Ses avantages**

◆ **Sa simplicité**

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

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

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

◆ Sa pédagogie

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

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

◆ Une méthode à «étages»

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

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

➤ Ses inconvénients

◆ De fortes marges d'erreurs

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

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

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

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

II.3.3 Méthodologie HAZUS (Hazard US)

Cette méthode, proposée par la U.S. Fédéral Emergency Management Agency (FEMA) et connue également sous le nom d'ATC-21, est décrite dans les documents FEMA 154 et

FEMA 155 révisés pour la dernière fois en 2002 (BSSC, 2002a ; BSSC, 2002b). Une note de base associée au risque structurel (BSH : Basic Structural Hazard) est attribuée au bâtiment selon son principe constructif, identifié parmi 15 types de structures courantes aux États-Unis, et selon la sismicité de la région (voir l'annexe 1). Cette note varie de 1,6 pour les ossatures en béton armé avec remplissage en maçonnerie situées en zone de forte sismicité, à 7,4 pour les structures en bois de charpente en zone de faible sismicité. La note structurale de base est ensuite modifiée par l'ajout ou la soustraction de facteurs de modification de performance SM établis selon les déficiences observées pour les différentes classes de bâtiment. Les caractéristiques structurales considérées par les facteurs de modification SM sont la hauteur du bâtiment, les irrégularités géométriques et structurales en plan et en élévation, l'année de conception qui présuppose l'application d'un certain code de construction, le type de sol. Une grille standardisée, contenant les valeurs des coefficients à appliquer, est fournie pour faciliter le pointage de ces éléments [18]. La note finale varie théoriquement entre 0 et 7 et correspond à la probabilité d'effondrement d'un bâtiment pour un séisme égal ou dépassant le séisme maximum considéré (MCE, correspondant à 2% de probabilité de dépassement en 50 ans) selon la relation : $S = -\log_{10}(\text{probabilité d'effondrement})$

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

Ces courbes ont été calibrées ensuite, avec des données consécutives aux séismes de LomaPrieta (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

définie 4 niveaux ou degrés de dégâts : faibles, modérés, importants et très importants. On se basera sur les degrés de dommages structurels.13

Tableau 1: Équivalence entre le niveau d'endommagement (ou degré de dégâts) et l'indice d'endommagement.

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

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, géotechnique ou aux sondages existants sur la Zone de étude

II.3.4 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 préétablies 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 50 ;

1. Détermination de l'indice de base ($V1$)

L'indice de base $V1$ cumule les trois que sont l'âge du bâtiment, le matériau et l'état d'entretien

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	
$VA + VM + VE = V1$	

2. Détermination des facteurs de vulnérabilité (V2)

La méthode retient 22 facteurs de vulnérabilité visibles depuis l'extérieur du bâtiment. Les facteurs appellent une réponse binaire (oui=1, non=0). Un poids est attribué à chacun d'eux en fonction du degré de dommages qu'ils peuvent induire. La somme pondérée des 22 valeurs (somme pondérée maximale de 500) est normée à 0.50.

La grille des facteurs de vulnérabilité est donnée à la page suivante.

Tableau 2: Les 22 facteurs retenus pour déterminer V2.

CHAPITRE II METHODES D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE SISMIQUE

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)			25	0
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 ($e < 4$ cm)			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 élancés			10	
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse			10	
R	Porte à faux > 2 m			5	
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses			5	
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses			5	
U	Antenne hertzienne en toiture			5	
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)			10	
				500	

• **Données nécessaires :**

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

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

➤ **Ses avantages**

◆ **Sa simplicité**

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

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

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

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

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

◆ **Fondement de la méthode**

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

◆ **Paramètres observés**

Contrairement à d'autres méthodes du même type, l'approche proposée considère l'état d'entretien comme une caractéristique de base de la construction à prendre en compte.

En effet, ce paramètre est d'autant plus important dans les centres anciens où les constructions vieillissantes témoignent parfois d'un défaut d'entretien. Le manque d'entretien est un facteur aggravant de la vulnérabilité des bâtiments au séisme et plus généralement, à tous les types de risques naturels quels qu'ils soient.

□ □ ➤ □ **Ses inconvénients**

◆ **Sa pédagogie**

Compte tenu de sa simplicité, cette méthode a vocation à être utilisée par des personnes ne possédant pas de formation dans le domaine du bâtiment. Certains termes, tels que «soutènement, transparence et modénatures en façade » par exemple, sont très spécifiques et

peu clairs pour un technicien généraliste. Ils nécessiteraient une définition et des schémas explicatifs.

◆ **Paramètres observés**

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

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

II.4 Classification des dégâts au bâtiment (degrés de dommages) selon l'échelle EMS 98

Initialement développée pour qualifier l'intensité d'un séisme, l'échelle macrosismique européenne (EMS) sert aussi à l'évaluation et à la prédiction des dommages en cas de séisme éventuel. L'échelle EMS-98 associe 15 types de structures, dont sept en maçonnerie, aux classes de vulnérabilité A à E, A étant la plus vulnérable. Le type de structure est défini par la qualité du matériau et du système de contreventement qui ont un effet sur la réponse du bâtiment (voir figure II.1).

Type de structure		Classe de vulnérabilité					
		A	B	C	D	E	F
MAÇONNERIE	Moellon brut, pierre tout venant	○					
	Brique crue (adobe)	○—					
	Pierre brute	┆—○					
	Pierre massive		┆—○—┆				
	Non renforcée, avec des éléments préfabriqués	┆—○—┆					
	Non renforcée, avec des planchers en béton armé		┆—○—┆				
	Renforcée ou chaînée			┆—○—┆			
BÉTON ARMÉ	Ossature sans conception parasismique (CPS)		┆—○—┆				
	Ossature avec un niveau moyen de CPS		┆—○—┆	┆—○—┆			
	Ossature avec un bon niveau de CPS			┆—○—┆	┆—○—┆		
	Murs sans CPS		┆—○—┆				
	Murs avec un niveau moyen de CPS			┆—○—┆	┆—○—┆		
	Murs avec un bon niveau de CPS				┆—○—┆	┆—○—┆	
ACIER	Structures en charpente métallique			┆—○—┆	┆—○—┆		
BOIS	Structures en bois de charpente		┆—○—┆				
		○ Classe de vulnérabilité la plus probable; — Intervalle probable; Intervalle de probabilité plus faible, cas exceptionnels					

Figure 23: Typologies EMS-98 associées à une classe de vulnérabilité.

Les statistiques autour des dommages enregistrés sur les structures montrent, en effet, que le niveau de dommage est contrôlé par les caractéristiques du système résistant (type d'éléments de dommage facilite la définition de l'intensité sismique et de la probabilité qu'a une structure de subir ce niveau de dommage (Combes cure, Gueguen et Lebrun, 2005). Les résultats sont présentés sous forme de matrice de dommages probables (DPM) ou de courbes de vulnérabilité ou le dommage est associé à la probabilité de dépassement.

Echelle EMS 98, Classification des dégâts aux bâtiments en maçonnerie	
Degré 0 (D0) : dégâts nuls	
	<p>Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structural, légers dégâts non structuraux) Fissures capillaires dans très peu de murs. Chute de petits débris de plâtre uniquement. Dans de rares cas, chute de pierres descellées provenant des parties supérieures des bâtiments.</p>
	<p>Degré 2 (D2) : Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés) Fissures dans de nombreux murs. Chutes de grands morceaux de plâtre. Effondrement partiel des cheminées</p>
	<p>Degré 3 (D3) : Dégâts sensibles à importants (dégâts structuraux modérés, dégâts non structuraux importants) Fissures importantes dans la plupart des murs. Les tuiles des toits se détachent. Fractures des cheminées à la jonction avec le toit; défaillance d'éléments non structuraux séparés (cloisons, murs pignons).</p>
	<p>Degré 4 (D4) : Dégâts très importants (dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants) Défaillance sérieuse des murs; défaillance structurale partielle des toits et des planchers.</p>
	<p>Degré 5 (D5) : Destruction (dégâts structuraux très importants) Effondrement total ou presque total.</p>

Figure 24: Classification des dommages du bâti en maçonnerie selon EMS-98


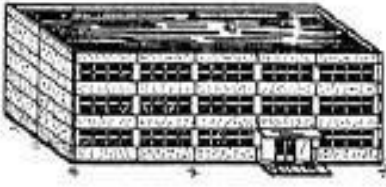
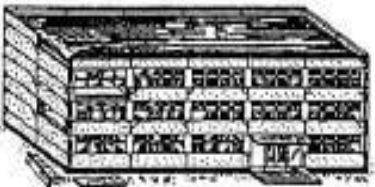
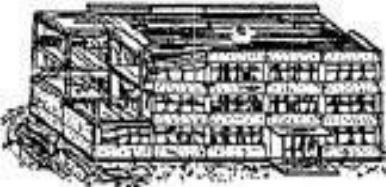

Classification des dégâts aux bâtiments en BETON ARME	
(Degré 0 (D0) : dégâts nuls)	
	<p>Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structurels)</p> <p>Fissures fines dans le plâtre sur les parties de l'ossature ou sur les murs à la base. Fissures fines dans les cloisons et les remplissages.</p>
	<p>Degré 2 (D2) : Dégâts modérés (dégâts structurels légers, dégâts non structurels modérés)</p> <p>Fissures dans les structures de types portiques (poteaux et poutres) et dans les structures avec murs. Fissures dans les cloisons et les murs de remplissage ; chute des revêtements friables et du plâtre. Chute du mortier aux jonctions entre les panneaux des murs.</p>
	<p>Degré 3 (D3) : Dégâts sensibles à importants (dommages structurels modérés, dommages non structurels importants)</p> <p>Fissures dans les poteaux et dans les nœuds à la base de l'ossature et aux extrémités des linteaux des murs avec des ouvertures. Ecaillage du revêtement de béton, flambement des barres d'armature longitudinale.</p> <p>Fissures importantes dans les cloisons et les murs de remplissage, défaillance de certains panneaux de remplissage.</p>
	<p>Degré 4 (D4) : Dégâts très importants (Dégâts structurels importants, dégâts non structurels très importants)</p> <p>Fissures importantes dans les éléments structuraux avec défaillance en compression du béton et rupture des barres à haute adhérence ; perte de l'adhérence acier-béton ; basculement des poteaux. Ecrasement de quelques poteaux ou d'un étage supérieur.</p>
	<p>Degré 5 (D5) : Destruction (Dégâts structurels très importants)</p> <p>Effondrement total du rez-de-chaussée ou de parties de bâtiments.</p>

Figure 25: Classification des dommages du bâtiment béton armé selon EMS-98

L'utilisation de ces dégâts demande impérativement une correspondance entre les classes de bâtis donnés par **CETE Méditerranée** et celles représentatives du bâti existant (tableau II.3) :

Degrés de dégât, DG	Définition	Indice d'endommagement de Park and Ang, 1985
0	Aucun endommagement	<0.10
1	Faible endommagement	0.10-0.25
2	Endommagement modéré	0.25-0.40
3	Dégâts important	0.40-1.00
4	Effondrement	>1.00

Tableau 4: Tableau récupérait des différentes méthodes.

Méthode	Principe	Formulation	Observations
RISKUE	Evaluer un indice de vulnérabilité pour 1 bâti courant VI ∈ [0,1] Ainsi que l'endommagement	$V_I = V_1^* + \Delta V_m + \Delta V_R$ $\mu D = 2.5 \left[1 + \tan h \left(\frac{1 + 6.25VI - 13.1}{2.3} \right) \right]$	Elle est utilisable pour tous les types de bâtiment : maçonnerie, béton armé, structure métallique, structure bois
VULNERALP (2005)	Cette approche permet d'attribuer un indice de vulnérabilité global à la construction étudiée ainsi que leur degré d'endommagement	Endommagement = [0,5 + 0,45. Arctan (0,55 (I - 10,2 + 0,05. VI)]	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
CETE Méditerranée (1990)	Cette approche permet d'attribuer un indice de vulnérabilité global à la construction étudiée ainsi que leur degré d'endommagement	$V = V_1 + V_2$ Telque : $V_1 = V_A + V_M + V_E$	Concernant le V2 on le calcul à partir du tableau I.2

HAZUS (FEMA 154)	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	$S = -\log_{10}$ (probabilité d'effondrement) $P[ds/Sd] = \Phi(\beta ds, Sd, ds)$: fonction de la courbe de vulnérabilité et endommagement.	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.
-----------------------------	--	---	--

II.5 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 synthétiser 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 CETE Méditerranée 1990.



***Chapitre III : Étude des
scenarios sismiques***



III.1 Introduction :

Notre pays connaît des secousses d'importance modérée. Cependant, il n'est pas à l'abri d'un grand tremblement de terre, comme celui de gour aya en 15/01/1891 d'une magnitude de 7.5 qui a occasionné de nombreux dégâts [16]. La ville de Mostaganem n'est pas épargnée par le phénomène sismique. Selon les Règles Parasismiques Algériennes RPA99/2003, la région est classée en zone « IIa ». Des exemples plus récents montrent la vulnérabilité importante des villes algériennes vis-à-vis du risque sismique. En effet, des dégâts importants ont été constatés lors des tremblements de terre d'El-Asnam (Chlef actuellement) en 1980, Constantine en 1985, Ain Ti mouchent en 1999 et celui de Zemmouri en 2003. De nombreuses constructions effondrées ou fissurées et beaucoup de vies humaines perdues. Il est par conséquent primordial de se préoccuper de la problématique du risque et de la vulnérabilité sismique à Mostaganem.

Ce chapitre se déroule en deux phases : une première phase de travail sur le terrain durant laquelle les informations les plus pertinentes concernant les bâtiments composants la ville de Mostaganem ont été récoltées, puis une deuxième phase durant laquelle différentes méthodes de calcul sont implémentées (CETE méditerranéen 1990 et Risk-EU 2003) et utilisées afin d'estimer la vulnérabilité sismique des constructions et leur comportement prévisible lors d'un séisme : nous calculerons ensuite les indices pour chaque région que nous avons choisie et comparerons notre approche avec la méthode Project Europe Risk-EU(2003).

III.2 Scénario du risque sismique sur les constructions de la ville de Mostaganem

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

Cette 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 fonctionnement du système suite aux séismes de scénario sont également menées.

III.3 Zone de couverture d'étude des bâtiments

La présente recherche concerne l'expertise des **13** 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.

Lorsqu'on est confronté à un manque d'informations, on fait des visites sur le site. Dans ce cas, les données manquantes sont complétées sur la base d'observations visuelles.

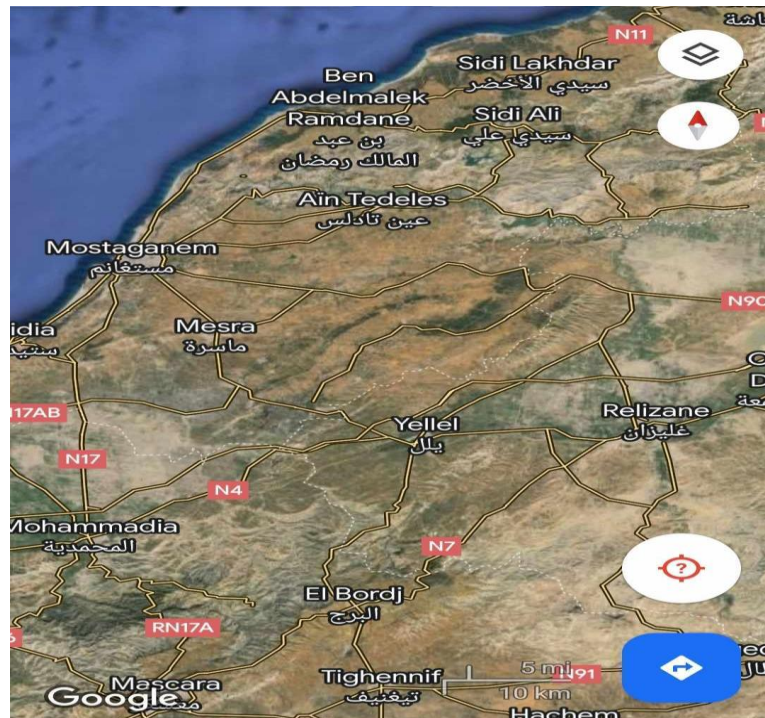


Figure 26: Carte de la wilaya de Mostaganem (format Mapp info).

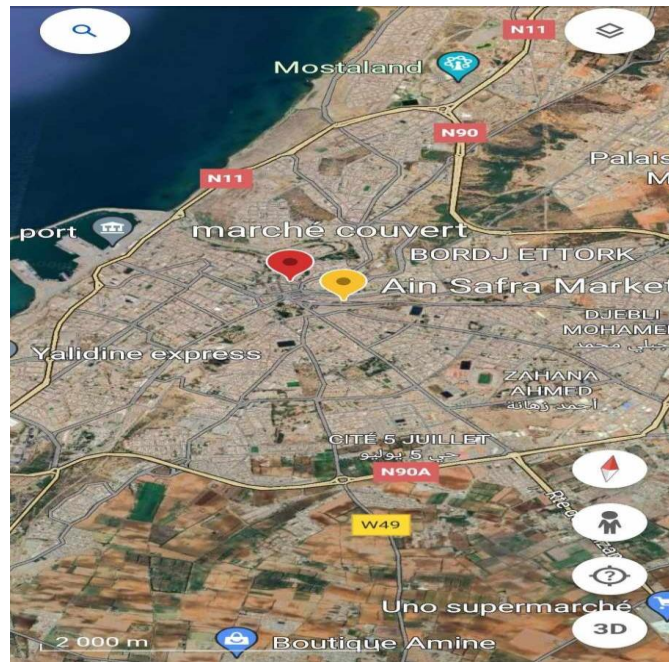


Figure 27: Localisation de la zone d'étude dans la carte de Mostaganem (Google Earth)

Tableau 3: Catégories de constructions existantes et leurs distributions dans la zone

Usage des constructions	Equipements	Habitats collectif	Commerce	Totale
Constructions d'îlot choisit	10	1	2	13
Pourcentage	76.92%	7.69%	15.39%	100%

III.4 Les Structures que nous avons évaluées

1/ Le marché couvert :

Situé au cœur de la ville de Mostaganem, Une halle de marché est un espace couvert ou un bâtiment où de la nourriture et d'autres articles sont vendus sur des étals par des vendeurs indépendants, a été construit entre 1930 et 1931.



Figure 28 : Le Marché couvert

2/ BORDJ ETTORK :

L'un des meilleurs monuments archéologiques de Mostaganem, car la forteresse turque et la tour Etürk sont parmi les endroits les plus visités par les touristes, Il a une superficie de 1800 mètre Fut construit par Youssef Ibn tachfine (XI°- XII° siècle)



Figure 29: bordj Ettore

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.



Figure 30: Algérie poste en 1935 (a)



Figure 31: Algérie poste aujourd'hui (b)

4/ CEM Amaros Mouammar

La figure III.5 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.

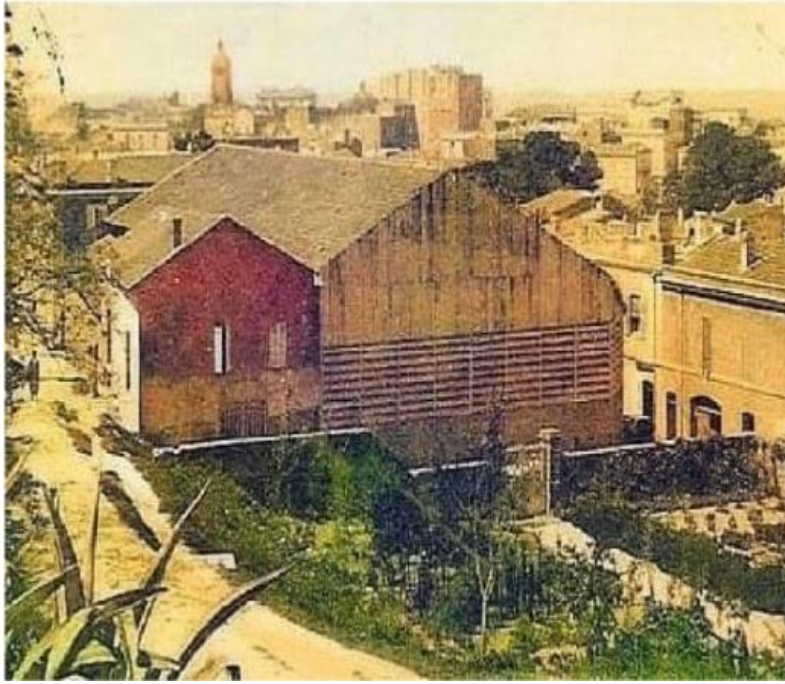


Figure 32: CEM en 1909 (a)



Figure 33: CEM aujourd'hui (b)

5/ Mosquée Badr :

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

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



Figure 34: Masdjid Badr

6/ La Clinique médicale Habib Qara

La clinique médicale pour Habib Qara a été construite entre 1900 et 1905.



Figure 35: La clinique Qara

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.



Figure 36: mosquée Sidi Yahia

8/ Tribunal Quartier matmar

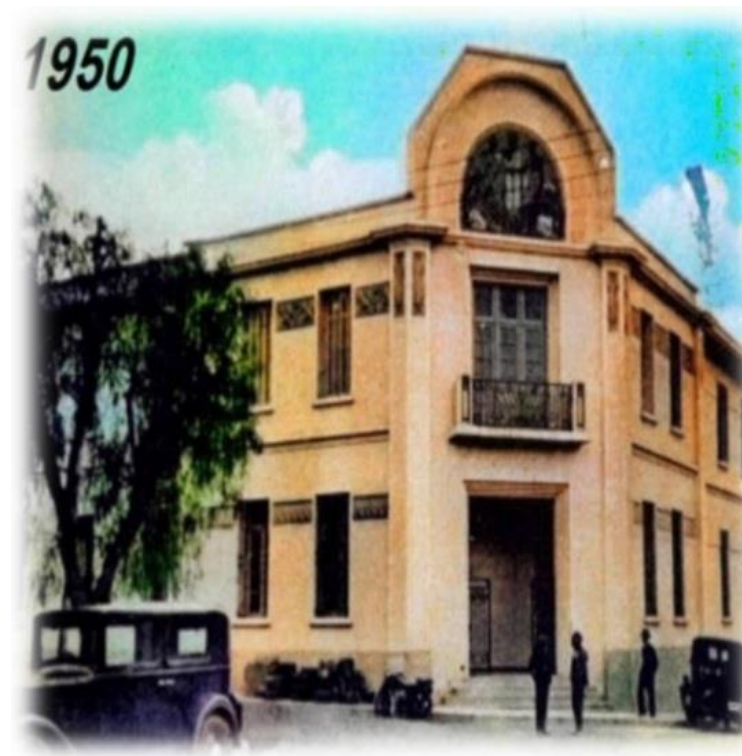


Figure 37: Tribunal en 1950 (a)



Figure 38: Tribunal aujourd'hui (b)

9/ École Mahdi Ibn Khadda

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



Figure III.11 : École Arabe (tidjdit) en 1910 (a) Figure III.11 : École aujourd'hui (b)

10/ le Centre Commercial



Figure 39: centre commercial (B1, B2, B3et B4) colisée.

11/Banque Nationale D'Algérie



Figure 40: Banque Nationale D'Algérie

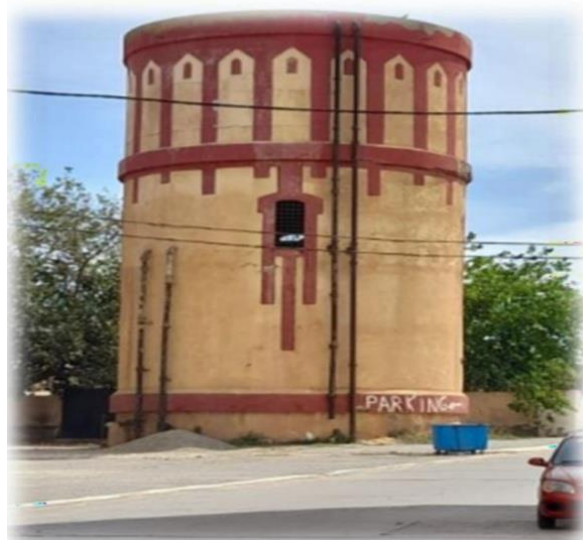
12/ réservoir d'eau (matmar)

Figure 41: réservoir d'eau

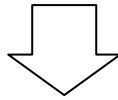
13/ Mairie de Mostaganem : La Mairie a été construite en 1927

Figure 42: La Mairie de Mostaganem

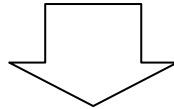
III.5 Missions d'enquête sur le terrain d'étude

Missions d'enquête des bâtiments ont été menées par inspection visuelle pour identifier les sources générales de la vulnérabilité sismique des 13 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 diagnostique des bâtiments de ce projet.**

Missions d'enquête sur le terrain

**Missions d'enquête des bâtiments pour 19 installations
Existantes.**

**Formulaire d'information du bâtiment de l'enquête:**

- **Conception technique du bâtiment ;**
- **Condition topographique ;**
- **Type de construction;**
- **L'âge de l'immeuble;**
- **Nombre d'étages;**
- **Nombre des sous-sols;**
- **Phistoire des bâtiments, dommages, réparation
Travaux d'extension, ...etc.**

Acti
Accé

III.6 Estimation de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments interrogés

Les premières méthodes calculant un indice de vulnérabilité à grande échelle ont naturellement été développées dans les pays à fort aléa sismique tels que les USA, le Japon, la Turquie et l'Italie. La plupart de ces méthodes se basent sur des observations de dégâts post-sismiques. C'est seulement récemment que les pays à risque sismique modéré se sont intéressés à l'étude de vulnérabilité du bâti. En effet, dans ces régions où le risque sismique n'est que peu pris en compte dans le dimensionnement des bâtiments, un séisme d'intensité « moyenne » peut engendrer des dégâts importants.

La manière la plus simple de mener une analyse de risque serait d'appliquer directement les méthodes développées dans le chapitre II aux régions à fort aléa sismique. Cependant, le haut degré de danger sismique de ces pays a imposé la mise en place d'études et de méthodes très coûteuses qui ne se justifient pas dans le cas de zones à risque modéré. De plus, la variabilité du bâti d'une région à l'autre rend difficile l'application de méthodes existantes. C'est pour ces raisons qu'il a fallu adapter ces méthodes, afin de les rendre exploitables ailleurs.

Pour pouvoir estimer l'indice de vulnérabilité, on essaiera d'appliquer la méthode CETE méditerranée.

Selon cette méthode, l'indice de vulnérabilité du bâtiment (V) est compris entre 0 et 1.

Il s'obtient par la relation : $V=V1+V2$.

Tel que :

$V1$: L'indice de base ;

$V2$: facteur de vulnérabilité.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4: valeurs de l'indice de vulnérabilité sismique obtenue pour les différentes constructions.

Structure	Indice de vulnérabilité		V Indice de vulnérabilité
	Indice de base (V1)	Facteur de vulnérabilité (V2)	
Le marché couvert	0.2	0.27	0.47
BORDJ ETTORK	0.5	0.31	0.81
Algérie Poste	0.4	0.32	0.72
CEM Amaros Muammar	0.3	0.29	0.59
Mosquée Badr	0.3	0.29	0.59
La Clinique médicale Habib Qara	0.3	0.31	0.61
La mosquée Sidi Yahia	0.5	0.29	0.79
Tribunal Quartier matmar	0.35	0.27	0.62
École Mahdi Ibn Khadda	0.3	0.27	0.57
Le Centre Commercial	0.35	0.37	0.72
	0.35	0.37	0.72
	0.35	0.37	0.72
	0.35	0.37	0.72
Banque Nationale D'Algérie	0.2	0.3	0.5
Réservoir d'eau (matmar)	0.4	0.23	0.63
Mairie de Mostaganem	0.15	0.27	0.42

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

Structure	Indice de vulnérabilité V	Indice d'endommagement
Le marché couvert	0.47	Dégâts importants
BORDJ ETTORK	0.81	Dégâts importants
Algérie Poste	0.72	Dégâts importants
CEM Amaros Muammar	0.59	Dégâts importants
Mosquée Badr	0.59	Dégâts importants
La Clinique médicale Habib Qara	0.61	Dégâts importants
La mosquée Sidi Yahia	0.79	Dégâts importants
Tribunal Quartier matmar	0.62	Dégâts importants
École Mahdi Ibn Khadda	0.57	Dégâts importants
Le Centre Commercial	0.72	Dégâts importants
Banque Nationale D'Algérie	0.5	Dégâts importants
Réservoir d'eau (matmar)	0.63	Dégâts importants
Mairie de Mostaganem	0.42	Dégâts importants

D'après le tableau III.3, on constate que toutes les constructions étudiées ont une vulnérabilité importante, et ce, grâce à leurs caractéristiques de comportement sismique, généralement ce sont les bâtiments **Auto stables** pour lesquels on n'a pas respecté les règles de conception parasismique lors de la construction. Alors, Les variations de l'indice de vulnérabilité pour une même typologie de bâtiments sont dues aux effets négatifs des irrégularités en plan et en élévation, à la présence d'étage souple, à la hauteur relativement importante des bâtiments (nombre d'étages), à la position défavorable dans l'ilot, au type de fondations et à la topographie du site d'implantation (présence de pente).

Il faut bien garder à l'esprit que cette méthode ne permet pas de manière absolue de prendre une décision sur les interventions à mener. En effet, les résultats se basent sur des relevés effectués sur dossiers techniques et parfois sur la base d'observations visuelles assez rapides. Il n'est pas justifié de se baser uniquement sur ces résultats pour déterminer les bâtiments nécessitant une intervention. Cependant, ils donnent une bonne idée des bâtiments requérant une analyse dynamique plus approfondie.

Tableau 6: Comparisons entre la méthode CETE Méditerranée (1990) et la méthode du RISK-UE(2003)

Structure	Méthode du CETE Méditerranée	Méthode RISK-UE(2003)
Le marchécouvert	0.47	0.422
BORDJ ETTORK	0.81	0.816
Algérie Poste	0.42	0.376
CEM Amaros Muammar	0.59	0.542
Mosquée Badr	0.59	0.662
La Clinique médicale Habib Qara	0.61	0.516
La mosquée Sidi Yahia	0.79	0.696
Tribunal Quartier matmar	0.62	0.516
École Mahdi Ibn Khadda	0.57	0.656
Le Centre Commercial	0.72	0.642
	0.72	0.602
	0.72	0.702
	0.72	0.562
Banque Nationale D'Algérie	0.5	0.502
Réservoir d'eau (matmar)	0.63	0.406
Mairie de Mostaganem	0.42	0.502

L'analyse de treize constructions disponibles dans la ville de Mostaganem par les deux méthodes indiquées précédentes montre qu'il n'existe pas de méthode idéale. Ces approches ont toutes un principe général commun, à savoir l'identification de la typologie constructive et de facteurs de vulnérabilité permettant d'estimer un niveau global de vulnérabilité présumée. Cependant, leurs fondements scientifiques, leur niveau de validation opérationnelle, leur complexité, leur coût etc. sont variables de l'une à l'autre.

Le choix d'une méthode plutôt qu'une autre est donc dépendant des objectifs de la démarche que l'on souhaite engagé et des moyens à disposition. Sur ce point, le tableau de synthèse fourni dans le présent document constitue une aide à la décision pour effectuer ce choix.

D'une façon générale et quelle que soit la méthode sélectionnée, il est fondamental de garder à l'esprit que les résultats de ces approches sommaires sont à utiliser avec précaution.

III.7 Techniques de renforcement des structures vulnérables

Les techniques de renforcement des structures vulnérables vis-à-vis du séisme sont des techniques de réhabilitation permettant d'acquiescer la performance sismique recherchée.

Le renforcement des structures existantes est une opération qui vise à améliorer leur comportement sismique en augmentant leur résistance et leur ductilité soit par la modification soit par l'ajout d'éléments structuraux. On cite quelques techniques de renforcement :

III.7.1 Renforcement par chemisage

Elle consiste à reconstituer ou à augmenter la section d'un élément en service, en le gainant par du béton (chemisage) ou de métal (gainage).



Figure 43: Chemisage en Béton armé d'un poteau



Figure 44: Chemisage métallique d'un poteau

III.7.2 Renforcement par mur en maçonnerie rigide

Cette technique consiste à ajouter ou à remplacer les murs de remplissage existants par des murs en maçonnerie rigides. Ces derniers seront réalisés dans les plans des portiques et doivent participer au contreventement de la structure.

III.7.3 Renforcement par voiles en béton armé

Cette technique est incontestablement la meilleure méthode pour augmenter la résistance aux efforts sismiques d'une construction. Ces voiles peuvent être placés à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment.



Figure 45: Renforcement avec voile

III.7.4 Renforcement par palées de stabilité (triangulées)

Cette méthode consiste à insérer des palées de stabilité dans les plans des portiques. Ce sont généralement des profilés métalliques et dimensionnés soit en compression simple, soient traction simple.



Figure 46: Renforcement par palées de stabilité triangulées

III.7.5 Renforcement des fondations

Le renforcement des éléments de la superstructure engendre automatiquement le renforcement de l'infrastructure pour une bonne transmission des efforts à la construction.



Figure 47: Renforcement d'une fondation

III.7.6 Renforcement par tôles collées

Cette technique permet de renforcer ou de réparer localement une structure présentant soit des dommages locaux (fissures), soit des insuffisances locales de résistance.

La surface du béton doit subir, avant tout, une préparation soignée ayant pour but d'éliminer toutes les parties peu adhérentes et de supprimer les imperfections locales afin de la rendre la plus plane possible.

III.7.7 Renforcement à l'aide de matériaux composites

Ces matériaux composites sont renforcés par des fibres telles que la fibre de verre, la fibre de carbone, ou polymère renforcé de fibres PRF.

La technologie du renforcement par les fibres est l'une des technologies les plus efficaces d'accroissement de la résistance des poteaux aux séismes.



Figure 48: Renforcement d'un poteau avec des chemises en matériaux composites

III.7.8 Renforcement à l'aide de chemises en acier

Le renforcement des poteaux et des zones nodales avec des chemises en acier permettent d'améliorer considérablement la résistance au séisme des poteaux.

III.7.9 Renforcement par précontrainte transversale

C'est une nouvelle technique. Elle utilise des bandes d'acier à haute résistance placées autour des poteaux.

III.7.10 Renforcement à l'aide d'amortisseurs

Depuis quelques années, une attention considérable a été accordée à une technologie nouvelle et en évolution, principalement au Japon et aux États-Unis, qui introduit des dispositifs amortisseurs.

III.8 Conclusion

Afin d'évaluer les indicateurs de vulnérabilité sismique, nous avons utilisé l'approche CETE Méditerranée (fin 1990). La vulnérabilité sismique et le risque de dommages aux bâtiments particuliers de la ville de Mostaganem sont évalués dans ce chapitre nous avons maintenant une compréhension générale des types de construction structurellement saine et des variables affectant la vulnérabilité structurelle d'un bâtiment grâce à cette étude. La nature du bâtiment, le type de fondation employé, la topographie du sol et sa hauteur ont tous été déterminés pour avoir le plus d'effets sur cette sur cette susceptibilité. À travers des études d'indicateurs, nous constatons que les bâtiments ne présentent pas un grand danger, à l'exception du centre commercial, car il est menacé d'effondrement si un violent tremblement de terre le frappe le bâtiment doit répondre à toute l'exigence antisismique pour être considéré comme vulnérable de manière acceptable, y compris la régularité du schéma et de la hauteur, le renforcement des solives flexibles, le zonage des bâtiments en forme de l à l'aide de joints antisismiques, en évitant de poser des fondations à haute altitude. Plusieurs niveaux et choisissez la meilleure fonction de l'importance de la tâche.



CONCLUSION GENERALE



Conclusion générale

Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique des structures sont généralement développées sur la base des observations post-sismiques des pays à forte sismicité. Dans la littérature, il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des centres urbains. Elles diffèrent les unes des autres en coût, en moyens utilisés et en précision. Le type de la méthode choisie dépend de l'objectif de l'évaluation, de la disponibilité des données, du matériel et de la technologie utilisés.

A ce jour, il n'existe pas de méthode de référence nationale ou de norme concernant les approches qualitatives de la vulnérabilité au séisme des constructions.

Pour autant, plusieurs méthodes ont été développées au niveau national et international. Si la majorité de ces approches appartiennent au domaine de la recherche et peuvent être qualifiées d'expérimentales, l'usage de certaines d'entre elles pour la conduite d'étude opérationnelle est en expansion.

L'analyse de treize méthodes disponibles au niveau national et international montre qu'il n'existe pas de méthode idéale. Ces approches ont toutes un principe général commun, à savoir l'identification de la typologie constructive et de facteurs de vulnérabilité permettant d'estimer un niveau global de vulnérabilité présumée. Cependant, leurs fondements scientifiques, leur niveau de validation opérationnelle, leur complexité, leur coût etc. sont variables de l'une à l'autre.

Le choix d'une méthode plutôt qu'une autre est donc dépendant des objectifs de la démarche que l'on souhaite engager et des moyens à disposition.

D'une façon générale et quelle que soit la méthode sélectionnée, il est fondamental de garder à l'esprit que les résultats de ces approches sommaires sont à utiliser avec précaution.

Notre étude permet d'avoir une connaissance approfondie du comportement des constructions sous l'action sismique pour cela on illustre les différentes étapes de calcul des ouvrages vis-à-vis de l'action sismique. En s'inspirant des approches développées par le CETE Méditerranée à la fin des années 90, pour la première fois, une méthode d'estimation de la qualité sismique des constructions, classés par le règlement parasismique algérien comme des ouvrages d'art d'importance socioéconomique. Cette méthode, offre la possibilité d'une mise à jour pratiquement continue de la qualité sismique. Cette méthodologie à base

d'indice de vulnérabilité présentée, permet une évaluation simplifiée et rapide de la vulnérabilité des constructions en béton armé.

Cette évaluation nous a permis constater que les bâtiments non construits selon les règles parasismiques présentent une vulnérabilité importante vis –à-vis les séismes, comme on la vue pour certains bâtiments. Ces derniers qui sont défailants, ne vérifient pas les critères de construction parasismique ; à savoir la typologie, la régularité, le contreventement, la hauteur et le type de fondation utilisé. Par contre, les bâtiments qui sont réguliers en plan et en élévation, contreventé par des voiles en béton armé sont le meilleur model de construction qui présente une résistance parfaite en zone de moyenne sismicité.

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

De plus, l'utilisateur individuel ainsi que les entités étatiques ou les compagnies d'assurance immobilière peuvent trouver de la valeur dans les résultats de l'analyse. Que même si l'approche empirique est de nature qualitative, elle pourrait fournir une idée consciente de la menace sismique et bien informé de la situation sécuritaire dans la région. La méthode de CETE Méditerranée (fin des années 1990), bien que plus précise en raison de sa capacité à quantifier le comportement des structures en termes de dommages, est limitée aux applications individuelles

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 XVIIIème 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 Hoceima 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, paléo séismologie 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 .Geol. France, p: 789-786

7 AMBRASEYS, N.N. and J. VOGT (1988): Material for the investigation of the seismicity of theregion of Algiers, Eur. Earthquake Eng., 3, 16-29.

8 CRAAG, les séismes en Algérie de 2002 à 2006.

9 Idem

10 BADDARI .K ; DJEDDI.M (2002) : Les séismes et leur prévision .Ed : OPU. Alger, p : 255, pp : 42-44.

11 CRAAG : les séismes en Algérie de 2002 à 2006

12 BADDARI.K ; DJEDDI.M (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 ; DJEDDI.M (2002) : Op.cit. pp : 35-45

15 Service des Risques Naturels, Protection civile d'Alger « Hydra, Parados » (2007) : Le séisme 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.

Annexe

I. Annexe Méthode du CETE Méditerranée (fin des années 1990)

I.1. Le marchéouvert :

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		...	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)	.....		15	15
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	.....		15	15
I	Étages de hauteur différente		.....	10	0
J	Retraits en façades		....	15	0
K	Transparence complète		.....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli		....	20	0
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts	...		25	25
P	Présence de poteaux élancés		...	10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture		...	5	0
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)		...	10	0
				500	135
					0.27

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.10
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.05
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.05
VA + VM + VE = V1	0.20

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.2 + 0.27 = 0.47$$

I.2. BORDJ ETTORK :

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)		....	15	0
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente	...		10	10
J	Retraits en façades	....		15	15
K	Transparence complète		.....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli		....	20	0
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts	...		25	25
P	Présence de poteaux élancés		...	10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture		...	5	0
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)	....		10	10
				500	155
					0.31

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.2
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.15
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.15
VA + VM + VE = V1	0.5

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.5 + 0.31 = 0.81$$

I.3. Algérie Poste :

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)		....	15	0
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes		....	15	0
I	Étages de hauteur différente		....	10	0
J	Retraits en façades	....		15	15
K	Transparence complète		.....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli		....	20	0
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts		....	25	0
P	Présence de poteaux élancés		...	10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture	...		5	5
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)	....		10	10
				500	110
					0.22

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.10
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.05
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.05
VA + VM + VE = V1	0.20

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.2 + 0.22 = 0.42$$

I. 4. CEM Amaros Muammar

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)	....		15	15
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente		...	10	0
J	Retraits en façades		...	15	0
K	Transparence complète		....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli		....	20	0
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts	...		25	25
P	Présence de poteaux élancés		...	10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	5
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses	...		5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses	...		5	5
U	Antenne hertzienne en toiture		..	5	0
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)		...	10	0
				500	145
					0.29

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.10
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.05
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.15
VA + VM + VE = V1	0.40

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.3 + 0.29 = 0.59$$

I.5. Mosquée Badr :

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)	....		15	15
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente		...	10	0
J	Retraits en façades		...	15	0
K	Transparence complète		....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli		....	20	0
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts	...		25	25
P	Présence de poteaux élancés	...		10	10
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture		..	5	0
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)		...	10	0
				500	145
					0.29

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.20
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.05
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.05
VA + VM + VE = V1	0.40

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.3 + 0.29 = 0.59$$

I.6. La Clinique médicale Habib Qara

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)	....		15	15
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente		...	10	0
J	Retraits en façades	....		15	15
K	Transparence complète		....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli		....	20	0
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts		..	25	25
P	Présence de poteaux élancés		..	10	10
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture		..	5	0
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)	...		10	10
				500	155
					0.31

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.10
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.15
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.05
VA + VM + VE = V1	0.30

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.3 + 0.31 = 0.61$$

I.7. La mosquée Sidi Yahia au quartier Tobana (Mostaganem)

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)	....		15	15
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente		...	10	0
J	Retraits en façades		...	15	0
K	Transparence complète		....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli		....	20	0
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts		..	25	25
P	Présence de poteaux élancés		..	10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture		..	5	0
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)	...		10	10
				500	145
					0.29

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.20
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.15
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.15
VA + VM + VE = V1	0.5

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.5 + 0.29 = 0.79$$

I.8.Tribunal Quartier matmar

1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)	....		15	15
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente		...	10	0
J	Retraits en façades	....		15	15
K	Transparence complète		....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli		....	20	0
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts		..	25	25
P	Présence de poteaux élancés		..	10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture		..	5	0
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)		..	10	0
				500	135
					0.27

I.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.15
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.15
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.05
VA + VM + VE = V1	0.35

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.35 + 0.27 = 0.62$$

I.9. École Mahdi Ibn Khadda

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)	....		15	15
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente		...	10	0
J	Retraits en façades	....		15	15
K	Transparence complète		....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli		....	20	0
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts		..	25	25
P	Présence de poteaux élancés		..	10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture		..	5	0
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)		..	10	0
				500	135
					0.27

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.10
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.15
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.05
VA + VM + VE = V1	0.30

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.3 + 0.27 = 0.57$$

I.10 .le Centre Commercial B1

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)	....		15	15
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente	...		10	10
J	Retraits en façades	....		15	15
K	Transparence complète		.....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli	...		20	20
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts	....		25	25
P	Présence de poteaux élancés		...	10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture	...		5	5
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)		..	10	0
				500	185
					0.37

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.20
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.05
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.10
VA + VM + VE = V1	0.35

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.35 + 0.37 = 0.72$$

I.10 .le Centre Commercial B2

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)	....		15	15
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente	...		10	10
J	Retraits en façades	....		15	15
K	Transparence complète		.....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli	...		20	20
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts	....		25	25
P	Présence de poteaux élancés		...	10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture	...		5	5
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)		..	10	0
				500	185
					0.37

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.20
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.05
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.10
VA + VM + VE = V1	0.35

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.35 + 0.37 = 0.72$$

I.10 .le Centre Commercial B3

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)	....		15	15
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente	...		10	10
J	Retraits en façades	....		15	15
K	Transparence complète		.....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli	...		20	20
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts	....		25	25
P	Présence de poteaux élancés		...	10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture	...		5	5
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)		..	10	0
				500	185
					0.37

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.20
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.05
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.10
VA + VM + VE = V1	0.35

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.35 + 0.37 = 0.72$$

I.10 .le Centre Commercial B4

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)	....		15	15
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente	...		10	10
J	Retraits en façades	....		15	15
K	Transparence complète		.....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli	...		20	20
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts	....		25	25
P	Présence de poteaux élancés		...	10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture	...		5	5
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)		..	10	0
				500	185
					0.37

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.20
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.05
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.10
VA + VM + VE = V1	0.35

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.35 + 0.37 = 0.72$$

I.11. Banque Nationale D'Algérie

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)	....		15	15
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente		..	10	0
J	Retraits en façades	....		15	15
K	Transparence complète		....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli	...		20	20
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts		....	25	0
P	Présence de poteaux élancés		...	10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture	...		5	5
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)		..	10	0
				500	150
					0.3

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.10
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.05
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.05
VA + VM + VE = V1	0.20

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.20 + 0.3 = 0.5$$

I.12. réservoir d'eau (matmar)

1.1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)		...	15	0
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente		..	10	0
J	Retraits en façades		...	15	0
K	Transparence complète		....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli	...		20	20
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts		....	25	0
P	Présence de poteaux élancés		...	10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture		....	5	0
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)		....	10	0
				500	115
					0.23

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.20
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.05
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0.15
VA + VM + VE = V1	0.40

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V = V1 + V2 = 0.40 + 0.23 = 0.63$$

13 Mairie de Mostaganem :

1. Calcul V2 :

Critère	Définition du critère (réponse défavorable = oui)	Oui	Non	Poids	Vi
A	Pente générale du terrain ($p > 30\%$)		....	25	0
B	Proximité de changement de pente ($d < 2$ h)		...	50	0
C	Soutènement ou talus ($d < 2$ h)		....	40	0
D	Bâtiment accolé avec joint insuffisant ou obstrué ($e < 4$ cm)	...		15	15
F	Dissymétrie en plan		...	25	0
G	Élancement en plan ($L/l > 4$)	....		10	10
H	Parties saillantes ou rentrantes	....		15	15
I	Étages de hauteur différente		..	10	0
J	Retraits en façades		...	15	0
K	Transparence complète		....	90	0
L	Demi – transparence	....		60	60
M	Angle affaibli	...		20	20
N	Non-continuité verticale des éléments porteurs		....	25	0
O	Présence de poteaux courts	...		25	0
P	Présence de poteaux élancés	....		10	0
Q	Présence de percements ou inserts dans la structure porteuse	...		10	10
R	Porte à faux > 2 m		...	5	0
S	Présence de souches de cheminées vulnérables et Dangereuses		...	5	0
T	Modénatures de façades vulnérables et dangereuses		...	5	0
U	Antenne hertzienne en toiture	....		5	5
V	Revêtement lourd agrafé ou collé (pierre, béton, verre)		....	10	0
				500	135
					0.27

1.2. Calcul (V1)

VA âge de la construction	
Après 1977	0.05
Entre 1949 et 1977	0.15
Entre 1880 et 1949	0.10
Avant 1880	0.20
Score VA	0.10
VM matériau structural	
Béton armé	0.05
Charpente métallique	0.05
Maçonnerie	0.15
Score VM	0.05
VE état d'entretien	
Bon	0
Assez bon	0.05
Assez mauvais	0.10
Mauvais	0.15
Score VM	0
VA + VM + VE = V1	0.25

1.3. Calcul indice de vulnérabilité V

$$V=V1+V2=0.15+0.27=0.42$$

I. Annexe Méthode du projet européen RISK-UE(2003)

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

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

structure	l'indice de vulnérabilité		l'indice de vulnérabilité VI
	VI *	V _m	
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	0.9
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

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

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

Structure		l'indice de vulnérabilité		l'indice de vulnérabilité VI
		VI *	V _m	
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
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