

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Mémoire de Magister

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

Spécialité : Structure, Sol et Hydraulique

Option : Risques naturels et vulnérabilité des ouvrages

Présenté par : BOUAOUD MOHAMED

L'EVALUATION DE LA VULNERABILITE ET DU RISQUE SISMIQUE DE LA VILLE DE CONSTANTINE

JURY

Prof. GUENFOUD Mohamed	Université de Guelma	Président
Dr. BENMARCE Abdelaziz	Université de Guelma	Rapporteur
Prof. NOUAOURIA M-Salah	Université de Guelma	Examineur
Dr. GOUASMIA A/HACINE	Université d'Annaba	Examineur

Année 2011

Remerciements

Louanges à Dieu le tout puissant notre créateur et notre juge.

Comme guise de reconnaissance, j'adresse mes sincères remerciements, mon grand respect et ma noble gratitude à mon encadreur Dr. BENMARCE Abdelaziz pour son aide, ses encouragements et à l'aide précieuse qu'il m'a apporté en me faisant profiter largement de ses connaissances.

Ma sincère reconnaissance va au Professeur GUENFOUD Mohamed, pour m'avoir fait l'honneur d'être le président de mon jury de soutenance.

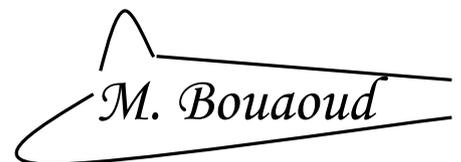
J'adresse mes remerciements à messieurs les membres du jury :

- Prof. NOUAOURIA M-Salah
- Dr. GOUASMIA A/HACINE

Pour l'intérêt bienveillant qu'ils ont accordé à ce travail. Je voudrais encore une fois leur exprimer ma profonde gratitude.

Mes remerciements vont également à mes collègues du Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique « CGS » pour leurs conseils, leur aide, leur amitié et l'excellente ambiance de travail.

Enfin je voudrais remercier mes parents, mon frère et mes sœurs, pour leur soutien constant qu'ils m'ont apporté ainsi que tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont participé à la réalisation de ce travail.

M. Bouaoud

RESUME

Evaluer la vulnérabilité constitue un élément essentiel de l'analyse des risques sismiques et une gageure lorsque cette analyse porte sur une ville. Depuis plusieurs années maintenant, différentes équipes travaillent à l'élaboration de méthodes d'approche de cette vulnérabilité des villes face à l'aléa sismique. Différents niveaux d'analyse sont ainsi disponibles dans la littérature, depuis l'analyse grande échelle (toute la ville de Constantine) jusqu'à l'analyse d'un bâtiment particulier (l'unité principale de la protection civile de la nouvelle ville Ali Mendjeli).

Les méthodologies utilisées ont été choisies de façon à tenir compte des spécificités de la zone d'étude et à permettre leur application à d'autres villes de la région.

MOTS CLES

Vulnérabilité des bâtiments existants ; Aléa sismique ; Risque sismique ; Séisme ; Dynamique des structures ; Tectonique des plaques.

SUMMARY

To evaluate the vulnerability constitutes an essential component of the analysis of the seismic risks and a challenge when this analysis relates to a city. For several years now, different teams are working to develop methods of approach to the vulnerability of cities facing earthquake hazard. Various levels of analysis are thus available in the literature, since large-scale analysis (the city of Constantine) to the analysis of a particular building (the main unit of the civil protection of the new city Ali Mendjeli).

The methodologies used were chosen to reflect the specificities of the study area and to allow their application to other cities in the region .

ملخص

تقييم الهشاشة هو عنصر أساسي من عناصر تحليل المخاطر الزلزالية وتحديا عندما يركز التحليل على مدينة. لعدة سنوات، و فرق بحث مختلفة تعمل على تطوير أساليب النهج في دراسة تقييم هشاشة المدن التي تواجه خطر الزلازل. مستويات مختلفة من التحليل تتوفر الآن ، من تحليل واسع النطاق (مدينة قسنطينة) إلى تحليل مبنى معين (الوحدة الرئيسية للحماية المدنية بالمدينة الجديدة علي منجلي).

وقد تم اختيار المنهجيات المستخدمة لتعكس خصوصيات منطقة الدراسة والسماح بتطبيقها على المدن الأخرى في المنطقة.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

RESUME

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. INTRODUCTION.....	4
I.2. LE SEISME.....	4
I.2.1. Origine du séisme.....	4
I.2.2. Ondes sismiques.....	6
I.3. ACTION SISMIQUE.....	8
I.4. INTENSITE ET MAGNITUDE D'UN SEISME.....	9
I.5. SEISMES LES PLUS PUISSANTS ET MEURTRIERS DEPUIS 1900.....	11
I.6. LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE.....	11
I.6.1. Objectif principal.....	11
I.6.2. Evolution de la réglementation en Algérie	11
I.6.3. Classification des zones sismiques en Algérie.....	12
I.7. RISQUE ET VULNERABILITE SISMIQUE.....	13
I.7.1. méthodes disponibles pour une analyse de vulnérabilité	14
I.7.1.a. Méthodes suivant les échelles d'analyse	14
I.7.1.b. Méthodes suivant l'approche d'analyse	15
I.7.2. Choix d'une méthode de vulnérabilité	15
I.7.2.a. Systèmes de pointage ou indice de vulnérabilité	17
I.7.2.b. Analyses détaillées	18
I.7.2.c. Procédure rapide d'évaluation sismique visuelle (FEMA-154)	18
I.7.2.d. Méthodologie de RISK-UE	20
I.7.2.e. Description de l'EMS-98	22
I.8. CONCLUSION.....	23

CHAPITRE II : ESTIMATION DE L'ALEA SISMIQUE DE LA VILLE DE CONSTANTINE

II.1. INTRODUCTION.....	25
II.2. METHODOLOGIE SUIVIE POUR L'ESTIMATION DE L'ALEA SISMIQUE.....	25
II.3. ANALYSE DE LA SISMICITE.....	25
II.3.1. Sismicité historique.....	25
II.3.2. Les séismes dans la région de Constantine avant 1900.....	26
II.3.3. Les séismes destructeurs dans la région de Constantine depuis 1900.....	27
II.3.4. Intensités historiques maximales.....	28
II.4. ANALYSE GEOLOGIQUE.....	29
II.4.1. Cadre géologique régional.....	29
II.4.2. Caractères généraux du domaine sismique.....	31
II.4.3. Failles actives et soupçonnées actives.....	31
II.5. SYNTHESE DE L'ALEA SISMIQUE.....	32
II.5.1. Identification des sources sismiques.....	33
II.5.2. Caractérisation des sources sismiques.....	35
II.6. CALCUL ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA SISMIQUE.....	39
II.7. CONCLUSION.....	41

CHAPITRE III : ESTIMATION DU TISSU URBAIN ET DE LA VULNERABILITE SISMIQUE DE LA VILLE DE CONSTANTINE

III.1. INTRODUCTION.....	43
III.1.1. Historique de l'urbanisation de la ville de Constantine.....	43
III.1.2. Recensement de la population et de l'habitat	46
III.2. PRESENTATION DES QUARTIERS DU PERIMETRE URBAIN	48
III.3. METHODES DE REALISATION DES CARTES PREVISIONNELLES DE RISQUE SISMIQUE.....	50
III.3.1. Facteur naturel.....	50
III.3.2. Facteurs entropiques.....	53
III.4. ESTIMATION DU TISSU URBAIN DE LA ZONE D'ETUDE.....	57
III.5. PARAMETRES AFFECTANT LA VULNERABILITE.....	59
III.5.1. Matériau de construction.....	59
III.5.2. Année de construction.....	60
III.5.3. Hauteur de la structure.....	60
III.5.4. Etat général.....	62
III.5.5. Régularité.....	63
III.5.6. Position.....	64
III.5.7. Type du sol.....	65
III.5.8. Topographie du sol « pente ».....	65
III.6. VULNERABILITE SISMIQUE DE LA ZONE D'ETUDE.....	67
III.7. CONCLUSION	70

CHAPITRE IV : L'ETUDE D'UN BATIMENT A RISQUE SPECIAL

IV.1. INTRODUCTION.....	72
IV.2. DESCRIPTION ET EXPERTISE DE L'OUVRAGE.....	72
IV.2.1. Description de l'ouvrage.....	72
IV.2.2. Expertise de l'ouvrage.....	75
IV.3. PARAMETRES DE L'ANALYSE DYNAMIQUE NON-LINEAIRE.....	77
IV.3.1. Critères de sécurité.....	77
IV.3.2. Analyse statique et dynamique.....	78
IV.3.2.a. Charges Permanentes et Surcharges d'exploitations.....	79
IV.3.2.b. Caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés	79
IV.3.3. Analyse modale.....	79
IV.3.4. Analyse par la méthode statique équivalente.....	80
IV.4. CAPACITES DE RESISTANCE ET DE DEFORMABILITE.....	82
IV.4.1. Vérification de l'effort de cisaillement.....	84
IV.5. ANALYSE DYNAMIQUE NON-LINEAIRE.....	86
IV.5.1. Résultat de l'analyse dynamique non linéaire.....	88
IV.5.2. Vérification des déplacements par rapport au RPA 99/version 2003.....	89
IV.5.3. Vérification des critères de sécurité proposés par la méthodologie de capacité	89
IV.5.3.a. Vérification des déplacements	89
IV.5.3.b. Vérification des ductilités.....	94
IV.6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	98

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE

La menace engendrée par les risques naturels reste présente partout dans le monde accentuée par la croissance exponentielle de la vulnérabilité au niveau mondial.

Parmi les catastrophes naturelles, les séismes ont été la cause des désastres les plus meurtriers, affectant plus de 80 pays et causant la mort de plus de 1,6 millions de personnes.

Le Nord de l'Algérie a connu plusieurs séismes forts à modérés. Le plus violent séisme enregistré le 10 octobre 1980 à El-Asnam (Chlef actuellement), d'une magnitude $M = 7.3$ a causé plus de 5000 victimes.

Cette activité sismique est due principalement à la nature géologique de la région maghrébine et à ses caractéristiques tectoniques à la frontière des plaques Africaine et Eurasienne qui sont en mouvement permanent.

La ville de Constantine est l'une des villes de l'est algérien les plus vulnérables au risque sismique, car elle a une grande concentration en habitation vétuste.

Pour faire face à une telle éventualité et maîtriser cette catastrophe nous avons élaboré une étude de la ville de Constantine dont la finalité est la prévention d'un tel risque.

- ✚ Le premier chapitre présente dans un premier temps un aperçu sur le phénomène sismique et la réglementation parasismique et son évolution en Algérie. Dans un deuxième temps, un aperçu sur quelques méthodes d'analyse de vulnérabilité sismique.
- ✚ Dans le deuxième chapitre nous avons réalisé une analyse de la sismicité historique et instrumentale de l'activité sismique régionale et locale, l'identification des failles actives, qui a fourni le cadre nécessaire de la définition de l'aléa sismique de la ville de Constantine.
- ✚ Dans le troisième chapitre nous avons présenté une étude à grande échelle de la vulnérabilité sismique de la ville de Constantine qui a abouti à une cartographie du risque sismique. Ensuite, nous avons réalisé une étude plus raffinée sur une partie du tissu urbain de la ville en utilisant l'une des méthodes d'analyse de la vulnérabilité sismique.

- Le quatrième chapitre comporte une étude détaillée d'un bâtiment ayant une importance vitale lors d'un séisme.

- Enfin, nous présentons une conclusion générale qui résume l'essentiel de notre travail.

1^{er} CHAPITRE :
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. INTRODUCTION

Le séisme est le risque naturel majeur le plus meurtrier et qui cause le plus de dégâts. De 1990 à aujourd'hui, les séismes ont fait plus de 700 000 victimes dans le monde. Si le mécanisme du séisme est aujourd'hui mieux connu, tant du point de vue de son origine, que de sa propagation, il reste encore un phénomène imprévisible.

Faute de prévisibilité, c'est donc par une approche statistique probabiliste que le problème est appréhendé. Plus encore, pour les autres catastrophes naturelles, la connaissance des phénomènes passés est la clef de l'avenir.

Les populations ne sont toutefois pas égales devant le danger. À magnitude équivalente, un séisme sera moins destructeur dans un pays préparé et qui a intégré dans sa culture la construction parasismique, que dans un pays défavorisé ou trop laxiste, où les règles de l'art ne sont pas respectées.

Cela ne signifie pas que les pays industrialisés sont à l'abri pour autant (séisme de Kobé de 1995, Japon). Le propre de la construction parasismique n'est pas de protéger à tout prix, mais seulement de limiter les dégâts. Aucune ville au monde n'est réellement à l'abri d'un séisme majeur dépassant en intensité les prévisions initiales.

L'Algérie n'est pas à l'abri d'un tremblement de terre de grande intensité susceptible de provoquer des dégâts énormes. Or, le pays est actuellement encore mal préparé à cette éventualité. Il est pourtant possible d'atténuer les effets des séismes, notamment en protégeant mieux les constructions et les infrastructures, et en instaurant un système de prévention ou d'intervention très performant.

I.2. LE SEISME

I.2.1. Origine du séisme

Le séisme est un phénomène lié à l'existence des mouvements tectoniques continuellement en action qui soulèvent des chaînes de montagnes et creusent des tranchées océaniques à la surface de la terre.

Ces mouvements affectent une quinzaine de plaques et engendrent des contraintes sur les lignes de contact des plaques. Lorsque ces contraintes deviennent trop élevées et supérieures à la résistance au frottement, une rupture brutale se produit : c'est un tremblement de terre, à la suite duquel un nouvel état provisoire de stabilité est réalisé.

Il résulte de cette description qu'il existe des régions du monde à plus ou moins haut risque sismique, suivant leurs localisations géographiques par rapport à ces zones de jonctions des "plaques". La figure (I.1) nous montre la répartition de ces différentes plaques constituant la surface du globe.

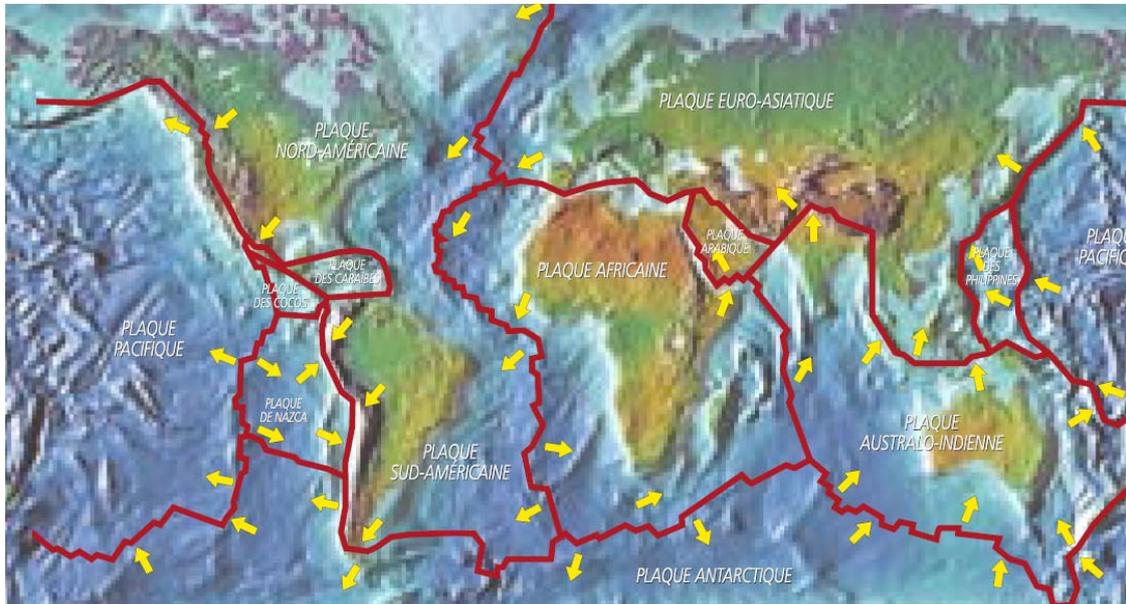


Figure I.1 : Répartition de la tectonique des plaques

D'après la figure (I.2), nous pouvons observer la localisation des zones de sismicité élevée, nous pouvons très bien constater que celles-ci se situent au niveau des zones frontalières de ces plaques tectoniques. Cependant il faut savoir aussi, qu'il peut y avoir des phénomènes sismiques dans les failles à l'intérieur de ces plaques engendrant des mouvements de terre, on parlera alors de séismes inter plaques.

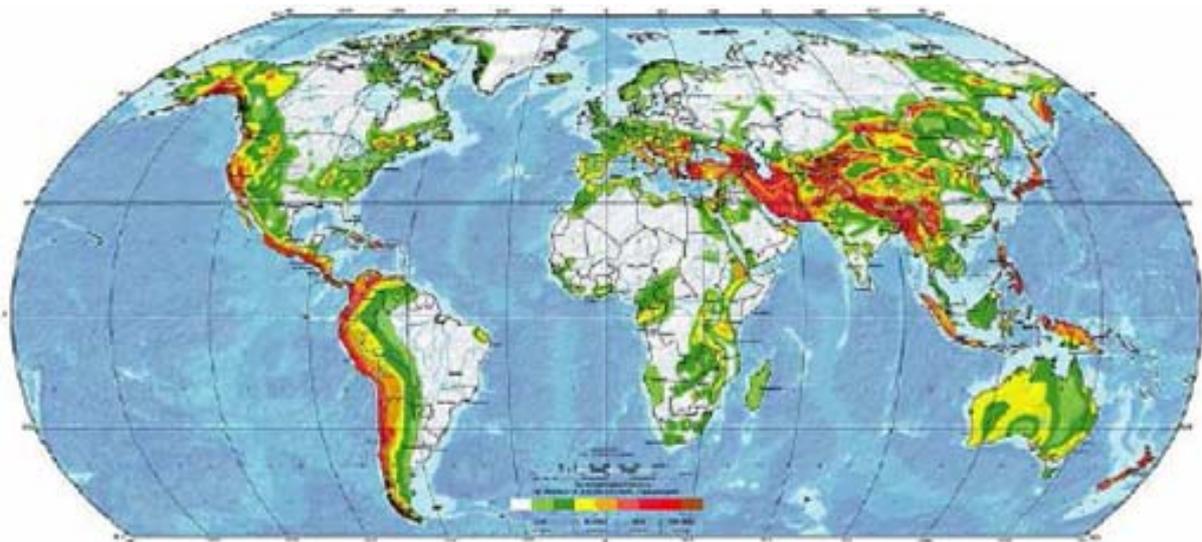


Figure I.2 : Cartographie des zones de sismicité élevée

Le globe terrestre est constitué de couches concentriques dont la plus externe est l'écorce qui se divise en écorce continentale et océanique. La croûte continentale possède une épaisseur d'environ 30 à 40 km, allant jusqu'à 70 km sous certaines chaînes de montagne. La croûte océanique, quant à elle, est plus réduite en épaisseur allant de 10 à 15 km. Cette enveloppe externe est soumise à des mouvements perpétuels liés à la création de matières en certaines zones, ces mouvements impliquent alors la disparition de pans entiers d'écorce en d'autres zones. Ce phénomène engendre des contraintes qui vont provoquer des déformations soit souples, soit cassantes. Dans ce dernier cas la rupture, provoquée lorsque la contrainte dépasse la résistance au cisaillement de la croûte terrestre, va se développer à partir d'un point et se propager sur un plan de faille, de l'énergie va ensuite se libérer. Celle-ci sera sous forme de :

- Déplacement d'un compartiment de la faille par rapport à un autre,
- Chaleur émise lors de ce déplacement,
- Vibrations qui vont se propager dans la croûte et atteindre la surface.

I.2.2. Ondes sismiques

Le point d'origine d'un tremblement de terre est appelé hypocentre ou foyer, il peut se trouver entre la surface et 700 km en dessous de la surface terrestre. On parle souvent aussi de l'épicentre qui est le point situé à la surface de la Terre, à la verticale du foyer (Voir figure I.3).

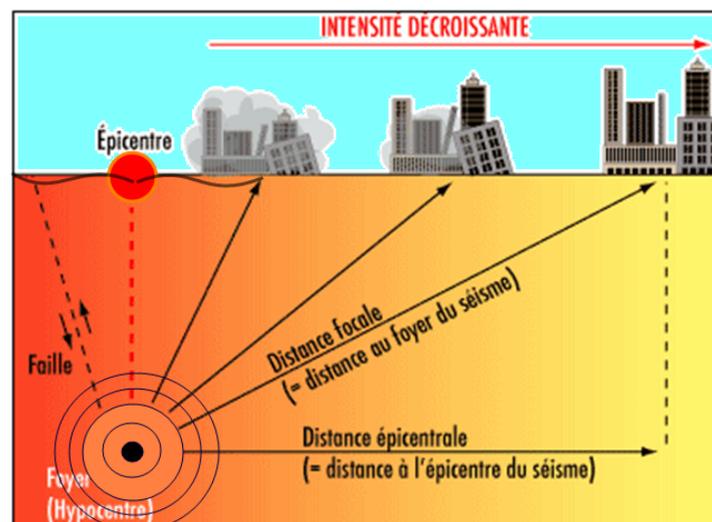


Figure I.3 : Origine du séisme

La secousse sismique se propage sous forme d'ondes sismiques. Ces ondes sismiques sont des ondes élastiques qui peuvent traverser un milieu sans le modifier durablement. Il existe 2 types d'ondes sismiques : les ondes de volume et les ondes de surface.

➤ Les ondes de volume

Les ondes P ou ondes Primaires sont des ondes de compression (ou longitudinales) : elles compressent puis dilatent successivement le sol, parallèlement à la direction de leur propagation (Voir figure I.4).

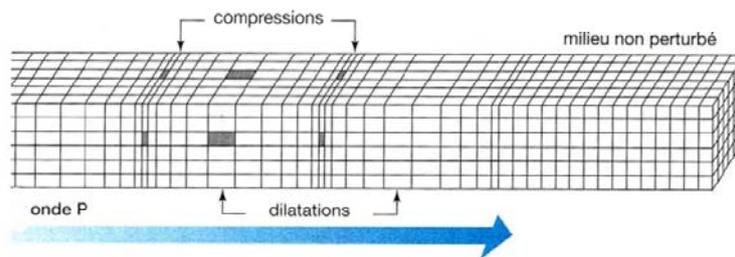


Figure I.4 : Ondes de type P

Ce sont les ondes les plus rapides pouvant atteindre jusqu'à 14km/s. On les enregistre bien sur la composante verticale du sismomètre.

Les ondes S ou ondes Secondaires (Voir figure I.5) sont des ondes de cisaillement (ou transversales). A leur passage, les mouvements du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde.

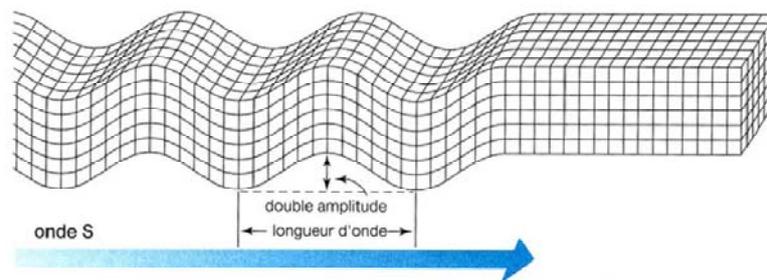


Figure I.5 : Ondes de type S

Ces ondes ne se propagent pas dans les milieux liquides. Leur vitesse est plus lente que celle des ondes P (environ 1.7 fois plus lentes). Elles apparaissent en second sur les sismogrammes.

La différence des temps d'arrivée des ondes P et S suffit, connaissant leur vitesse, à donner une indication sur l'éloignement du séisme. En confrontant les résultats de plusieurs stations, on peut alors localiser l'épicentre du séisme.

➤ Les ondes de surface

Les ondes de surface ne sont pas créées au foyer comme les ondes de volume. En fait, lorsque les ondes de volume sont réfléchies sur les différentes discontinuités du globe, celles-ci sont modifiées et deviennent des ondes de surface. Ces ondes ont la particularité de ne se propager que dans la croûte et le manteau supérieur. Les deux types les plus connus sont les ondes de Love (Voir figure I.6) et les ondes de Rayleigh (Voir figure I.7).

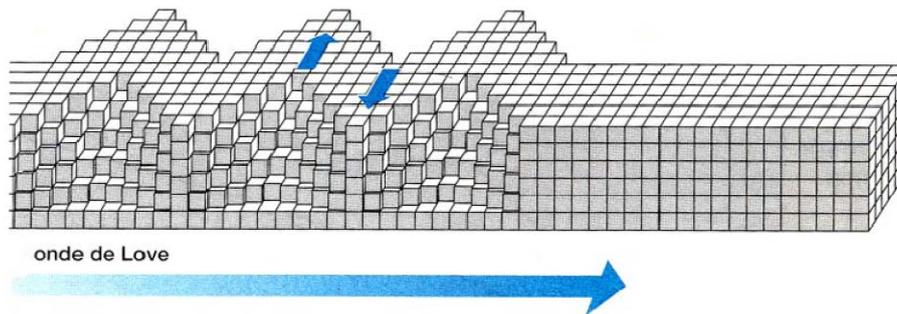


Figure I.6 : Ondes de Love

Les ondes de Love provoquent un ébranlement horizontal qui est la cause de nombreux dégâts aux fondations des édifices.

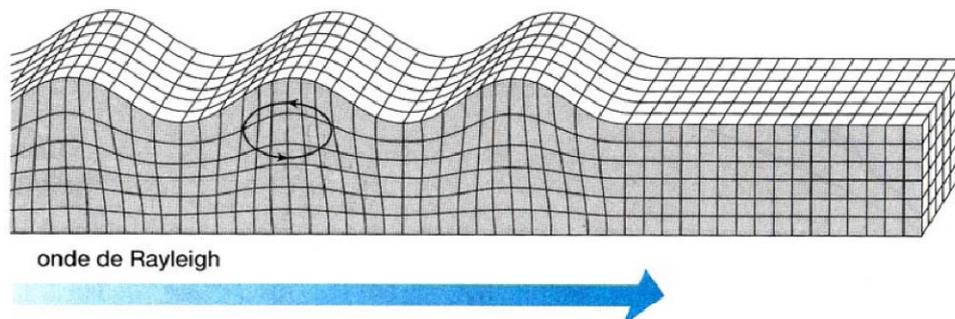


Figure I.7 : Ondes de Rayleigh

Dans les ondes de Rayleigh le déplacement est complexe, assez semblable à celui d'une poussière portée par une vague, un mouvement à la fois horizontal et vertical, elliptique.

Les ondes de Love se propagent à environ 4 km/s, elles sont plus rapides que les ondes de Rayleigh.

I.3. ACTION SISMIQUE

Le mouvement sismique (ou action sismique) peut se décomposer en la somme d'une composante horizontale (suivant deux directions principales H_x et H_y) et d'une composante verticale V_z . Il est utile de savoir que la composante verticale est, à l'aplomb de l'épicentre, égale à la composante horizontale.

Plus nous nous éloignons de cet épicentre, plus la composante verticale est importante par rapport à la composante horizontale, elle perd environ 50 à 70% de son influence. L'importance du mouvement vertical est souvent négligeable, car moins dommageable que le mouvement horizontal. D'autant plus, du fait que les structures soient réalisées pour supporter leur poids propre, cette composante verticale est moins importante, alors que la composante horizontale, elle, sera préférée pour dimensionner les structures à la résistance aux efforts horizontaux.

I.4. INTENSITE ET MAGNITUDE D'UN SEISME

On peut caractériser l'importance d'un séisme par l'intermédiaire de différents paramètres, à savoir :

❖ L'intensité I qui mesure l'importance d'un séisme en un lieu donné d'après les manifestations ressenties par la population et les dégâts qu'il a pu provoquer. Pour un séisme donné, l'intensité dépend de la distance à l'épicentre, elle décroît quand cette distance augmente, mais des anomalies peuvent apparaître, dues à des conditions géologiques particulières et topographiques du site donné.

Différentes échelles sont utilisées pour évaluer cette intensité, le tableau (I.1) nous montre celui de Mercalli.

Tableau I.1 : Echelle d'intensité de Mercalli

Intensité	Dégâts Matériels
Degré I	secousse imperceptible par l'homme, inscrite seulement par les sismographes.
Degré II	secousse ressentie par un petit nombre de personnes, surtout par ceux situés aux étages supérieurs des maisons.
Degré III	secousse faible ressentie par un certain nombre d'habitants, comme le serait l'ébranlement produit par une voiture lancée à grande vitesse; la direction et la durée de la secousse peuvent parfois être appréciées.
Degré IV	ébranlement constaté par quelques personnes en plein air, mais beaucoup à l'intérieur des maisons; vibration de vaisselle, craquement de planchers et des plafonds.
Degré V	ébranlement constaté par toute la population; réveil des dormeurs; ébranlement de meubles et de lits.
Degré VI	des personnes effrayées sortent des habitations; tintement général des sonnettes, arrêt des pendules, crépis fendillés, vaisselle brisée, cloches mises en branle, chute de plâtras.
Degré VII	maisons légèrement endommagées, lézardes dans les murs, chutes de cheminées isolées en mauvais état; écroulement de minarets, de mosquées ou d'églises mal construites.
Degré VIII	sérieux dommages, fentes béantes dans les murs, chute de la plupart des cheminées, des clochers; renversement ou rotation des statues, des monuments funéraires; fissures dans les pentes raides ou dans les terrains humides; chutes de rochers en montagne.
Degré IX	de solides maisons en construction européenne sont sérieusement endommagées, un grand nombre, rendues inhabitables; d'autres s'écroulent plus ou moins complètement.
Degré X	la plupart des bâtiments en pierre et en charpente sont détruits avec leur fondations; fentes dans les murs en briques; rails de chemins de fer légèrement recourbés; dommages aux ponts; tuyaux de conduites brisés, fentes et plis ondulés dans les rues; éboulements; l'eau des rivières et des lacs est projetée sur le rivage
Degré XI	destruction totale des bâtiments en pierre, des ponts, des digues; larges déchirures et crevasses dans le sol; grands éboulements de terrain
Degré XII	rien ne demeure plus des œuvres humaines; changement dans la topographie; formations de grandes failles, dislocations horizontales et cisaillement du sol; rivières détournées de leur cours.

❖ La magnitude « notée M », qui selon Richter est désigné par un chiffre sans dimension représentant l'énergie libérée lors de la rupture. La magnitude est unique pour un séisme donné et indépendante du lieu d'observation.

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

Le tableau (I.2) donne une corrélation entre les ordres de grandeur de la rupture sismogène et la magnitude du séisme.

Tableau I.2 : La magnitude et ordres de grandeur de la rupture sismogène

MAGNITUDE	NBRE MOYEN SEISMES ANNUEL	LONGUEUR CARACTERISTIQUE DE LA RUPTURE	DEPLACEMENT SUR LE PLAN DE RUPTURE	DUREE DE LA RUPTURE	ENERGIE LIBEREE
9		800KM	8 m	250 s	E x 36 000 000
8	1	250KM	5 m	85 s	E x 1 100 000
7	18	50KM	1 m	15 s	E x 33 000
6	125	10KM	20 cm	3 s	E x 1000
5	1500	3KM	5 cm	1 s	E x 33
4	5000	1KM	2 cm	0,3 s	E

La magnitude mesure donc l'énergie totale libérée et ne doit évidemment pas être confondue avec l'intensité qui évalue les effets destructeurs en un lieu particulier. Ainsi un séisme de magnitude élevée peut ne pas avoir des effets destructeurs si son foyer est profond, et inversement un séisme de magnitude faible peut être très dévastateur (intensité se rapprochant des degrés IX, X voire plus) si son foyer est très proche de la surface terrestre.

L'habitude fait que l'on parle souvent de l'échelle de Richter (par exemple dans les médias) pour caractériser un séisme alors que celle-ci peut être trompeuse si l'on ne se réfère pas à l'échelle de Mercalli.

I.5. SEISMES LES PLUS PUISSANTS ET MEURTRIERS DEPUIS 1900

Dans le tableau (I.3) on a quelques séismes des plus destructeurs.

Ville / Zone	Pays	Date	Magnitude	Victimes
Kangra	Inde	04/04/1905	M=8,6	19 000 morts
Santiago du Chili	Chili	17/08/1906	M=8,6	20 000 morts
Messine	Italie	28/12/1908	M=7,5	100 000 morts
Avezzano	Italie	13/01/1915	M=7,5	29 980 morts
Bali	Indonésie	21/01/1917	M=7,0	15 000 morts
Gansu	Chine	16/12/1920	M=8,6	200 000 morts
Tōkyō	Japon	01/09/1923	M=8,3	143 000 morts
Xining	Chine	22/05/1927	M=8,3	200 000 morts
Gansu	Chine	25/12/1932	M=7,6	70 000 morts
Quetta	Pakistan	30/05/1935	M=7,5	45 000 morts
Chillán	Chili	24/01/1939	M=8,3	28 000 morts
Erzincan	Turquie	26/12/1939	M=8,0	30 000 morts
Achgabat	Turkménistan	05/10/1948	M=7,3	110 000 morts
Dashti Biaz Khorasan	Iran	31/08/1968	M=7,3	16 000 morts
Chimbote	Pérou	31/05/1970	M=7,8	66 000 morts
Yibin	Chine	10/05/1974	M=6,8	20 000 morts
San Andres Sajcabaja	Guatemala	04/02/1976	M=7,5	23 000 morts
Michoacán	Mexique	19/09/1985	M=8,1	20 000 morts
Région de Spitak	Arménie	07/12/1988	M=7,0	25 000 morts
Zangan	Iran	20/06/1990	M=7,7	45 000 morts
Kocaeli	Turquie	17/08/1999	M=7,4	17 118 morts
Bhuj	Inde	26/01/2001	M=7,7	20 085 morts
Bam	Iran	26/12/2003	M=6,6	26 200 morts
Sumatra	Indonésie	26/12/2004	M=9,3	227 898 morts
Muzaffarabad	Pakistan	08/10/2005	M=7,6	79 410 morts
Province du Sichuan	Chine	12/05/2008	M=7,9	87 149 morts
Port-au-Prince	Haïti	12/01/2010	M=7,2	230 000 morts

Tableau I.3 : Les séismes les plus puissants et meurtriers dans l'ordre chronologique.

I.6. LA REGLEMENTATION PARASISMIQUE

I.6.1. Objectif principal

L'objectif principal des règles parasismiques consiste à sauvegarder le plus grand nombre possible de vies humaines. Il s'agit de concevoir, de dimensionner des structures capables de résister aux actions sismiques sans effondrement local ou général de celle-ci. La structure doit en quelque sorte se conserver au maximum dans son intégralité afin d'éviter toute chute de celle-ci.

I.6.2. Evolution de la réglementation en Algérie

En Algérie, le problème sismique n'était pas pris en compte jusqu'à l'indépendance car, il n'y avait aucune obligation vis-à-vis du calcul sismique, du fait de la non disponibilité de règles parasismiques Algériennes. Sauf pour la ville de Chlef qui a été victime d'un séisme

destructeur en 1954, qui a causé de gros dégâts aux constructions. Les Français ont alors élaboré un règlement propre « les règles A.S 55 ». Ces règles ainsi que les règles PS69 ont servi de document de référence pour le calcul des structures de 1962 à 1980.

En 1975, en collaboration avec l'université de Stanford (Californie, USA) l'aléa sismique a été introduit pour la première fois, et le territoire Algérien a été découpé, en différentes zones sismiques.

Après le séisme de Chlef en 1980, les règles de calcul sismique ont été rendues obligatoires.

En 1981, est apparu le premier règlement parasismique intitulé RPA 81.

Par la suite, en 1983, une nouvelle version a été publiée (RPA 83), avec l'introduction des chapitres sur le dimensionnement, et la vérification des éléments de la structure en béton armé.

En 1988 arrive le RPA 88 avec tentative de réduction des coefficients, ainsi que la méthode d'analyse spectrale.

Le RPA 99 paru en 2000, est certes une continuité des documents précédents, mais il a l'avantage de donner une mise à jour actualisée des règles Techniques, en ayant essayé de tirer des leçons des séismes, survenus entre temps en Algérie.

Le RPA concerne essentiellement les constructions en maçonneries et en béton armé.

I.6.3. Classification des zones sismiques en Algérie

Le règlement parasismique Algérien (version 2003), divise le territoire national en cinq (05) zones de sismicité croissante, définies comme suit:

- ❖ Zone 0: sismicité négligeable
- ❖ Zone I: sismicité faible
- ❖ Zones (II a – II b): sismicité moyenne
- ❖ Zone III: sismicité élevée

La carte des zones sismique de l'Algérie, et le zonage global des différentes Wilayas est représenté sur la Figure (I.8).

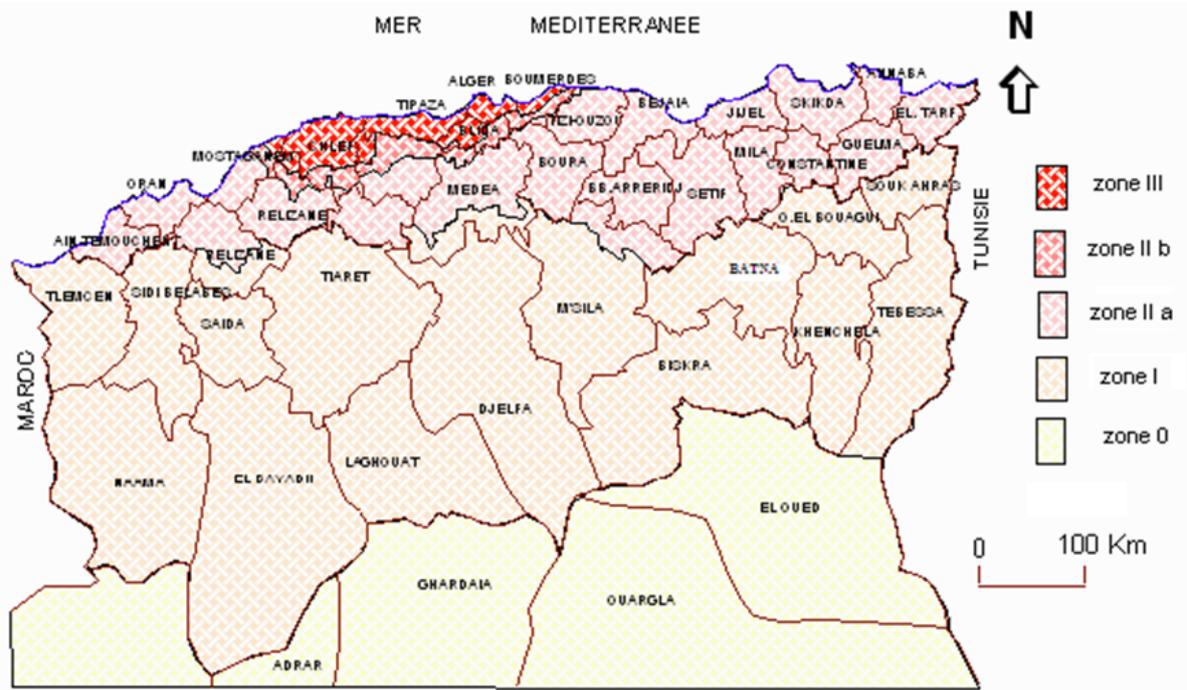


Figure I.8 : Classification des zones sismiques en Algérie (RPA99 version 2003)

I.7. RISQUE ET VULNERABILITE SISMIQUE

Si l'on se réfère à la terminologie proposée en 1980 par l'UNDRO « United Nations Disaster Relief Organization » on entend par **Aléa sismique**, la probabilité d'occurrence d'un évènement en terme d'intensité, au cours d'une période de référence, une secousse sismique atteigne ou dépasse en ce site une certaine valeur.

On entend par **Risque sismique** le degré de pertes, de destructions ou de dégâts sur une période de référence (en général un an) sur une région donnée. Les pertes se réfèrent aux vies humaines et aux biens exposés.

On définit la **Vulnérabilité sismique** par le degré d'endommagement pour différents évènements. La vulnérabilité dépend des caractéristiques physiques et géométriques des bâtiments.

Enfin on définit la valeur, le terme représentant la valeur de l'élément exposé. Cette valeur est de nature socio-économique. Dans le cas d'un danger sismique naturel, la valeur exposée au risque est avant tout celle du bâtiment, de leurs occupants, de leurs contenus ainsi que de leurs coûts.

Finalement, le risque peut être exprimé comme le produit de l'aléa sismique (probabilité d'occurrence), de la vulnérabilité (degré d'endommagement) et de la valeur de l'élément exposé.

$$\text{Risque sismique} = \text{Aléa sismique} \times \text{Vulnérabilité sismique} \times \text{Valeurs}$$

La vulnérabilité représente le comportement intrinsèque de la structure vis-à-vis de la probabilité d'occurrence d'un séisme. Pour mesurer les dégâts possibles que pourraient souffrir les bâtiments en cas de séismes, une échelle des dommages serait considérée variable de 0 pour un dommage nul à 1 pour la destruction complète de la structure.

I.7.1. Méthodes disponibles pour une analyse de vulnérabilité

Les premières méthodes d'analyse de la vulnérabilité sismique d'un bâti existant se sont développées essentiellement aux Etats-Unis (ATC21, 1988 ; FEMA, 1997 ; Hazus, 1999), au Japon (Otani, 2000), en Turquie (e.g., Ergunay and Gulkan, 1991), au Canada (Ventura et al., 2005 ; Onur et al., 2005), en Italie (Benedetti and Petrini, 1986 ; GNDT, 1993, Seismocare, 1998 ; Faccioli et al., 1999 ; Dolce et al., 2003), mais aussi plus largement en Europe (D'ayala et al., 1997), en Belgique (Jongmans et Plumier, 2000), au Portugal (Oliveira, 2003), en Suisse (Steimen et al., 2004 ; Lang, 2003) ou en Espagne (Roca et al., 2006). Récemment, un projet européen (RiskUE, 2003) s'est focalisé sur la vulnérabilité de 7 grandes villes européennes et un consensus a été atteint pour la définition d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité.

Des similitudes apparaissent entre les méthodes :

- ❖ Toutes définissent différents niveaux d'analyse traduisant la qualité de l'estimation ;
- ❖ Elles utilisent une échelle de dommage et une classification des constructions suivant une typologie prédéfinie ;
- ❖ Elles se basent sur la recherche visuelle d'indicateurs structuraux qui modulent la vulnérabilité.

En général, sur la base d'observations post-sismiques, ces indicateurs ont été reliés de façon statistique aux dommages, grâce à un indice de vulnérabilité IV_i et une pondération W_i , permettant l'établissement de courbes d'endommagement (ou de vulnérabilité). Ces dernières permettent d'estimer le niveau de dommage atteint le plus probable en fonction de l'agression sismique.

I.7.1.a. Méthodes suivant les échelles d'analyse

On distingue plusieurs échelles d'investigation comme il est illustré sur la figure (I.9).

Elles dépendent de l'échelle pays, région, commune, du nombre de bâtiments à analyser ainsi que du budget et du temps disponibles.

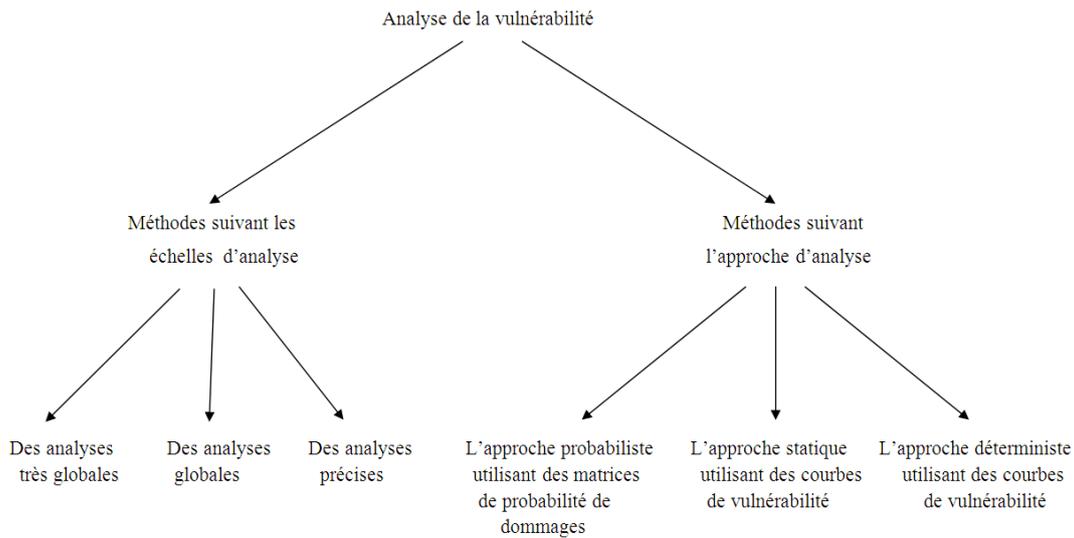


Figure I.9 : Schéma des différentes méthodes d'analyse de la vulnérabilité sismique

I.7.1.b. Méthodes suivant l'approche d'analyse

Une fois l'échelle de l'analyse définie, les méthodes d'évaluation des dommages (Figure I.9) en cas de séisme, s'appuient généralement sur l'utilisation de matrices probabilistes de dommages, ou de courbes de vulnérabilité, qui donnent le pourcentage d'une famille de bâtiments, ayant atteint un certain niveau de dommages. Ces méthodes se basent sur le retour d'expérience et des estimations de dommages après plusieurs séismes ou sur les données de dommages moyens subis par la structure en fonction du niveau sismique.

I.7.2. Choix d'une méthode de vulnérabilité

Les méthodes d'analyse de la vulnérabilité sismique diffèrent par leur complexité leur précision et leur objectif. La méthode choisie pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique dépendra de la qualité et de la quantité de données disponibles et de l'objectif visé, que se soit pour obtenir la vulnérabilité sismique d'un bâtiment unique ou d'un ensemble de bâtiment.

L'évaluation de la vulnérabilité 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 approches empiriques ou à des analyses dynamiques théoriques des structures à l'étude.

Il convient donc ainsi de proposer des méthodes alternatives, pour évaluer une vulnérabilité qui puisse être faite, à un coût raisonnable. Il faut donc identifier pour chaque méthode proposée ses limites et ses incertitudes de façon à avoir une vision claire des résultats produits par chacune.

Une valeur de vulnérabilité d'un bâtiment ou d'une zone urbaine, doit être accompagnée d'une incertitude. Cette évaluation doit s'améliorer avec l'augmentation des moyens mis en œuvre, depuis l'évaluation sommaire jusqu'à la plus sophistiquée, c'est-à-dire que l'incertitude doit se réduire au fur et à mesure des moyens mobilisés.

Dans les études de la vulnérabilité, on peut distinguer les méthodes d'estimation et les méthodes de calculs. Le tableau (I.4) illustre ces méthodes en fonction de la difficulté et du temps de calcul.

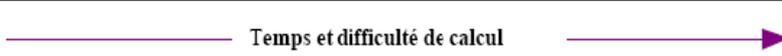
<i>Investissement</i>					
<i>Application</i>	Ensemble de bâtiments			Bâtiment unique	
<i>Méthodes</i>	Observation de la vulnérabilité résultant de séismes	Jugement expert	Modèles analytiques simples	Attribution de pointage	Analyses détaillées

Tableau I.4 : Classification selon le temps et la difficulté de calcul

Ce tableau, a été revu par le groupe de travail AFPS en 2005 en rajoutant quelques méthodes qui peuvent être utilisées, avec leurs applicabilités et les moyens humains mis en œuvre, ce qui a donné le tableau (I.5).

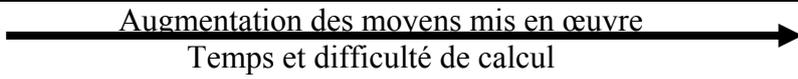
					
<i>Echelle d'analyse</i>	Plusieurs centaines de Bâtiments		quelques bâtiments	bâtiment individuels	
<i>Méthodes</i>	Vulnérabilité -EMS98 -Hazu -Radius -EMS98 -RISK-UE	-Indice de vulnérabilité	-Avis d'experts	-Calculs analytiques simples	-Analyse numérique Modélisation
<i>Applicabilité</i>	Ville - commune- quartier		parcs immobiliers	bâtiments stratégiques	
<i>Moyen humain</i>	Sans formation- étudiant		techniciens - ingénieur	ingénieur confirmé	

Tableau I.5 : Les différentes échelles d'analyse et leur applicabilité

Alors pour choisir une méthode d'évaluation de la vulnérabilité, il faut trouver un compromis entre le coût de l'analyse, l'échelle de précision et la qualité de l'évaluation, tout

en gardant à l'esprit que la meilleure analyse peut être atteinte par étapes successives ; chacune d'entre elles, contribuant à l'amélioration de la suivante.

Voilà en résumé les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité existantes dans la littérature.

I.7.2.a. Systèmes de pointage ou indice de vulnérabilité

Les systèmes de pointage ou de calcul d'indice de vulnérabilité, ont pour objectif principal, la sélection rapide des bâtiments, aux fins d'un classement dans un inventaire. Des données nombreuses permettent d'avoir une approche statistique, à l'interprétation des résultats.

Le principe de base de cette approche, est l'attribution d'un pointage aux différents systèmes structuraux selon leur classe de vulnérabilité. L'observation de déficiences vient modifier le pointage de base, jusqu'à l'obtention d'une cote finale, se voulant le reflet de la vulnérabilité sismique du bâtiment, par rapport à d'autres bâtiments du même type. Les cotes ou points attribués aux systèmes structuraux et aux déficiences sont généralement calibrées par des experts.

Le grand avantage des méthodes par système de pointage, est qu'il s'agit d'une méthode simple de la mesure de la vulnérabilité, mais sa valeur est essentiellement statistique.

On doit également vérifier que des pointages égaux, représentent réellement le même niveau de vulnérabilité, indépendamment de la typologie des bâtiments et de leurs caractéristiques mécaniques.

De même que des pointages différents doivent refléter l'écart réel de vulnérabilité, cette approche ouvre la porte à l'estimation des pertes en la jumelant à des matrices de dommages probables. C'est ce qui a été fait entre autre pour l'estimation des pertes de la ville de Portland en Oregon (USA).

Les méthodes utilisées par un pays ou un autre, se différencient sommairement par le type de structures considérées, les éléments modifiant la performance, l'inclusion ou non des éléments non-structuraux et de la valeur économique des bâtiments. Parmi les pays possédant une méthodologie établie, on retrouve entre autre les États-Unis, le Japon, le Canada, la Suisse et l'Italie.

I.7.2.b. Analyses détaillées

Les analyses détaillées (figure I.10) font partie des méthodes d'évaluation les plus complexes et sont par conséquent mieux adaptées pour l'évaluation d'un bâtiment unique. Les différentes méthodes d'analyse détaillées, peuvent être classées parmi les procédures linéaires et non linéaires (statique et dynamique).

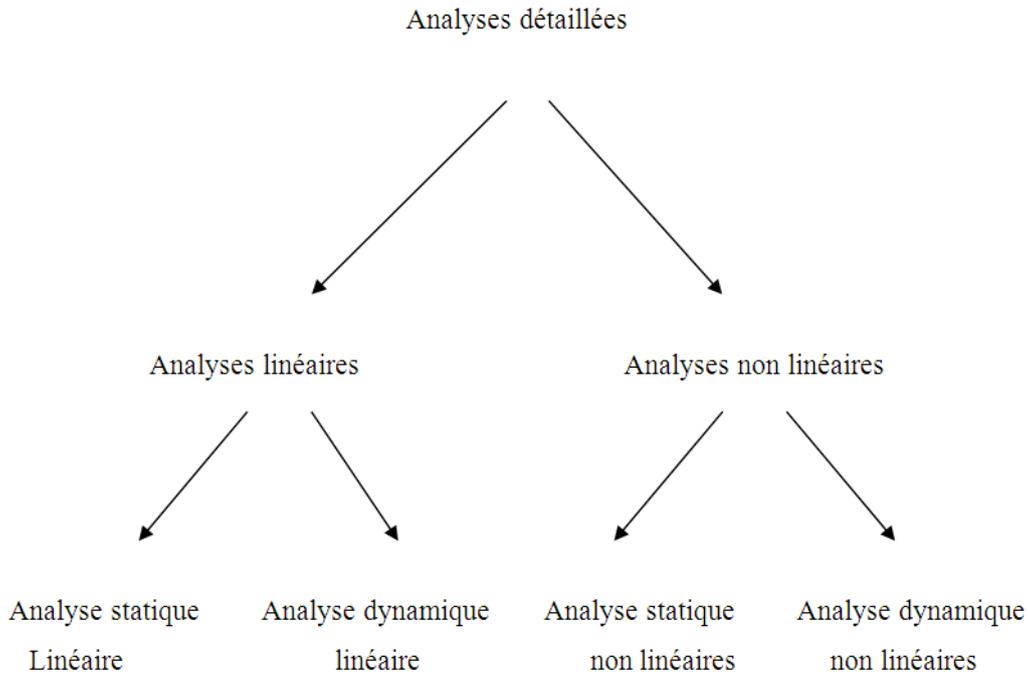


Figure I.10 : Types d'analyses détaillées

I.7.2.c. Procédure rapide d'évaluation sismique visuelle (FEMA-154)

Suite au rapport ATC-21 la Federal Emergency Management Agency proposait en 1988 une procédure rapide d'évaluation sismique, pour identifier les systèmes de résistance latérale primaire, et les déficiences sismiques des bâtiments. Le principe de cette méthode est que la suite à une évaluation visuelle rapide d'un bâtiment, on lui attribue une cote structurale de base (**BSH** : Basic Structural Hazard) selon sa typologie parmi 15 types de bâtiments définis au Tableau (I.6) et selon la sismicité de la région définie par l'accélération maximale au sol.

Type de structure	Description	Sismicité		
		Faible Sismicité	Moyenne Sismicité	Sismicité Élevée
Structure en bois	W1: Charpente de bois (< 5000 pi ²)	7.4	3.2	4.4
	W2: Charpente de bois (> 5000 pi ²)	6	4.8	3.8
Ossature en acier	S1: résistant au moment	4.6	3.6	2.8
	S2: contreventée en acier	4.8	3.6	3.0
	S3: légère en acier	4.6	3.8	3.2
	S4: avec murs de cisaillement en béton	4.8	3.6	2.8
	S5: avec murs de remplissage en maçonnerie	5.0	3.6	2.0
Béton	C1 : Ossature en béton résistant aux moments	4.4	3.0	2.5
	C2 : Murs de béton travaillant en cisaillement	4.8	3.6	2.8
	C3 : Ossature avec murs de remplissage en maçonnerie	4.8	3.2	1.6
	PC1 : Murs en béton préfabriqué	4.4	3.2	2.6
	PC2 : Ossature en béton préfabriqué	4.6	3.2	2.4
Maçonnerie	RM1 : M. porteuse armée ; diaphragmes flexibles	4.8	3.6	2.8
	RM2 : M. porteuse armée ; diaphragmes rigides	4.6	3.4	2.8
	URM : Maçonnerie non armée	4.6	3.4	1.8

Tableau I.6 : Classification typologique et cotes structurales de base du FEMA-154 2002

Sismicité	PGA (T = 0,2 sec)	PGA (T = 1 sec)	MMI*
Faible	<0,167g	<0,067g	VI
Moyenne	0,167g à 0,5g	0,067g à 0,2g	VII, VIII
Élevée	= 0,5g	= 0,2g	IX

Tableau I.7 : Sismicité définie dans le FEMA-154 2002

Dans la première édition du FEMA-154 en 1988 (ou ATC-21), la cote structurale de base (**BSH**) était développée à partir des matrices de dommages probables définies dans le rapport ATC-13 (ATC, 1985) pour 12 types de bâtiments. Dans ce rapport, les probabilités de dommages étaient établies, à partir de l'opinion d'experts pour différentes intensités sismiques de l'échelle de Mercalli modifiée (MM). Dans la deuxième édition du FEMA - 154 (BSSC, 2002a) on intègre les nouvelles connaissances sur l'aléa sismique et sur la performance des bâtiments. La cote **BSH** est maintenant établie, à partir des courbes de fragilité obtenues par le logiciel HAZUS, qui caractérise l'aléa sismique, en termes d'accélération spectrale maximale.

Dans le FEMA-154 2002, la cote **BSH** correspond à la probabilité d'effondrement d'un type de bâtiment pour le séisme maximum probable. La cote structurale de base est ensuite modifiée par l'ajout ou la soustraction de facteurs de modification de la performance **SM** établis selon les déficiences observées pour les différentes classes de bâtiment. La cote finale **S** est la mesure de la probabilité d'effondrement du bâtiment à l'étude.

Les caractéristiques structurales considérées par les facteurs de modification **SM** sont les suivantes :

- Hauteur du bâtiment : moyenne ou élevée
- Irrégularités : horizontales ou verticales
- Année de conception et de construction
- Types de sol

La cote finale varie théoriquement entre 0 et 9.8, et on recommande de procéder à une analyse détaillée pour tout bâtiment, ayant obtenu une cote inférieure à 2.

Dans cette approche, la cote structurale de base **BSH** dépend de la zone d'aléa sismique et de la vulnérabilité reliée à la tenue au séisme du bâti (typologie et déficiences structurales). Il s'agit donc d'une cote donnant la classification du risque sismique associé au bâtiment, sans considération de la valeur des pertes économiques ou humaines.

I.7.2.d. Méthodologie de RISK-UE

RISK-UE, est un projet utilisé pour l'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments courants. Ce projet repose sur l'évaluation d'un indice de vulnérabilité pour un bâtiment donné, indice qui est fonction de la typologie constructive 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 EMS98 des courbes de vulnérabilité et de fragilité qui permettent d'évaluer la répartition des probabilités de dommages sur un bâtiment. Deux niveaux d'évaluation des constructions ont été développés : le niveau 1 ou LM1 et le niveau 2 ou LM2.

La méthode de niveau 2, dite LM2, basée sur l'analyse de la capacité d'une structure à dissiper de l'énergie. Cette méthode nécessitant des moyens et des compétences plus large pour une analyse à grande échelle.

La méthode de niveau 1, consiste à définir pour chaque élément de la typologie RISK-UE, un indice de vulnérabilité la plus probable IV^* qui représente l'appartenance d'un bâtiment à une classe de vulnérabilité. Elle est basée sur la classification des structures en fonction de leur système de contreventement et sur les modèles de chargement afin d'avoir des types de dommages semblables lors d'un séisme. Cette méthode a surtout l'avantage de donner les limites de l'intervalle probable de l'indice de vulnérabilité IV^+ , IV^- et aussi les limites minimales IV^{\min} et maximale IV^{\max} de chaque élément de la typologie. Cette méthode revient à définir un indice de vulnérabilité de base et un intervalle de confiance quant à la définition de cette vulnérabilité. Cet indice est compris entre 0 et 1. A partir de cet indice, des courbes de vulnérabilité ont été proposées par l'université de Gènes.

Les principaux inconvénients de la méthodologie RISK-UE résident :

- Pour la LM2 : Les estimations faites surestiment les pertes qui peuvent être réellement occasionnées. C'est ce qui ressort des principales validations faites de la méthode.
- Pour LM1 : Le problème réside dans le fait que, pour certaines constructions leur indice de vulnérabilité peut être négatif ou bien supérieur à un (1). Or dans cette méthode, l'indice est compris par hypothèse entre zéro (0) et un (1), d'où la difficulté d'interpréter des valeurs négatives ou supérieur à un (1).

L'indice de vulnérabilité de base lié à la typologie, va ensuite être modulé en fonction de critères structuraux propres à chaque construction.

Puis, la recherche des indices de vulnérabilité, se fait bâtiment par bâtiment.

I.7.2.e. Description de l'EMS-98

L'Échelle Macrosismique Européenne (Grünthal, 1998) contient 12 intensités évaluées à partir des dommages observés sur les bâtiments et l'effet des secousses sur les gens et l'environnement. Créée en 1992 sous la recommandation de la XXIIIe assemblée générale de la Commission Sismologique Européenne et révisée en 1998, elle se distingue des échelles existantes, comme l'échelle MSK qui lui a servi de point de départ, par l'utilisation des classes de vulnérabilité et des structures calculées.

On distingue 15 types de structures, auxquelles on assigne la classe de vulnérabilité la plus probable parmi un total de six classes. L'attribution de la classe la plus probable, est généralement faite à partir d'opinion d'experts. Cette classification est donnée au tableau (I.8).

Tableau I.8 :
Classes de vulnérabilité
de l'E.M.S 98

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

Afin de définir l'intensité sismique correspondant à une secousse, on utilise les dommages observés sur les différentes classes de vulnérabilité de structures. Cinq degrés de dommages sont considérés.

I.8. CONCLUSION

Dans le présent chapitre nous avons décrit le phénomène sismique, mis en relief une analyse historique de l'évolution de la réglementation parasismique en Algérie ainsi qu'une revue de l'état de connaissances sur l'évaluation de la vulnérabilité sismique et les méthodes utilisées pour l'évaluation de celle ci.

Afin de trouver un compromis entre ces méthodes, nous nous proposons d'adopter une approche dite l'approche par indice de vulnérabilité que nous appliquerons dans notre travail.

2^{ème} CHAPITRE :

ESTIMATION DE L'ALEA SISMIQUE DE LA VILLE DE CONSTANTINE

II.1. INTRODUCTION

Dans cette partie nous allons faire une estimation de l'aléa sismique de la wilaya de Constantine et ses environs, Elle comprend une synthèse de la sismicité historique de la région, une compilation des intensités historiques maximales traduisant les séismes destructeurs dans la région, une analyse géologique et une définition des structures actives ou ayant une activité probable de la région ainsi que leurs caractéristiques, une synthèse de l'aléa sismique et de sa cartographie pour un séisme modéré et un autre majeur ayant respectivement des périodes de retour de 100 et 500 ans.

II.2. METHODOLOGIE SUIVIE POUR L'ESTIMATION DE L'ALEA SISMIQUE

L'aléa sismique selon l'approche probabiliste est défini comme le niveau d'un paramètre des mouvements du sol (vitesse ou l'accélération au sol) qui a une probabilité définie de dépassement au cours d'un intervalle de temps spécifié.

L'approche renferme les étapes suivantes:

- ❖ localisation et caractérisation des sources sismiques ;
- ❖ détermination des paramètres de chaque source (fréquence d'occurrence, la magnitude maximale) ;
- ❖ calcul de la loi d'atténuation des mouvements du sol à partir des sources jusqu'au site ;
- ❖ calcul de l'aléa sismique sous forme de cartes d'iso-accélération maximale au rocher pour les périodes de retour de 100 et 500 ans.

Ainsi, la détermination de l'aléa sismique des différents sites de la ville de Constantine, consiste en la résolution de l'ensemble de ces paramètres, les plus importants sont l'emplacement et la géométrie des sources sismiques, les relations de récurrence des séismes et la relation d'atténuation.

II.3. ANALYSE DE LA SISMICITE

II.3.1. Sismicité historique

L'histoire sismique de la région de Constantine est incontestablement un élément de base dans l'évaluation de l'aléa sismique. En effet, la sismicité historique permet de localiser les sources sismiques, du moins des zones sources qui auraient engendré des séismes durant l'histoire récente (en termes de centaines d'années). Ainsi, les données de sismicité présentent un intérêt certain dans ce cadre, surtout après les dernières mises à jour des catalogues traitant de la sismicité en Algérie du Nord. Les catalogues récemment compilés et homogénéisés par Harbi (2001, 2007) pour la région de l'Est algérien, par Benouar (1994) pour la région du

Maghreb, incluant l'Algérie, Le Maroc et la Tunisie, pour la période de 1900 à 1990 et par le CRAAG (1994) pour la sismicité algérienne de 1365 à 1992, constituent des sources d'informations indispensables à l'analyse de la sismicité et Bezzeghoud et al. (1996), ainsi qu'un CD-Rom de l'ISC (International Seismological Center), pour la période de 1994 à 2000.

La carte des épacentres ou sismicité historique est établie sur la base des documents relatifs à la sismicité de cette région. Il s'agit notamment des séismes destructeurs de 1908, de 1947 et le plus récent, celui de 1985.

La méthodologie suivie dans l'élaboration de cette carte est la suivante:

1. La compilation des catalogues et autres listings existants par une combinaison cohérente de l'ensemble des catalogues de sismicité.
2. La complétude par la définition d'un catalogue de base qui est souvent le plus récent et le plus complet et, le cas échéant, le compléter dans ses parties manquantes par des données qui peuvent se trouver dans d'autres documents et archives.
3. L'homogénéisation en utilisant les mêmes paramètres, tels que la magnitude et l'échelle des intensités. Dans ce qui suit nous allons utiliser la magnitude de surface M_s , par ailleurs, les intensités ont été estimées dans l'échelle MSK.

L'ensemble des épacentres listés dans le tableau est ainsi utilisé pour l'élaboration de la carte des épacentres ou de sismicité historique (voir Figure II.1).

La distribution de ces épacentres révèle des indications importantes sur la localisation des sources sismiques ou de failles actives potentiellement sismiques du Nord –Est algérien. Il est ainsi attesté que des concentrations de foyers sismiques dans certaines zones, particulièrement Constantine- Guelma dans le Tell, la région de Tébessa dans l'Atlas et la zone côtière entre Jijel et Skikda.

II.3.2. Les séismes dans la région de Constantine avant 1900

- Le séisme de Constantine du 11 janvier 1860 d'intensité MSK de IV (Hée, 1950 *in* Harbi, 2001).
- Le séisme du 17 octobre 1865 d'intensité MSK de III (Harbi, 2006).
- Le séisme de Constantine du 07 octobre 1866 (Hée, 1950 *in* Harbi, 2001).
- Le séisme du 7 mai 1871 qui se serait produit à Constantine et ressenti à Philippeville (Mme Hée, 1950). L'intensité MSK serait de IV et la magnitude M_s de 3.2 (CRAAG, 1994).

- Le séisme de Constantine du 20 janvier 1876.
- Le séisme de Constantine du 26 novembre 1893 produit à Constantine suivis par deux secousses ressenties à Collo. La deuxième secousse aurait été la plus forte et a été ressentie à Ain Abid, Regada et Renier. L'ensemble des sources ne s'accorde pas sur une intensité donnée et le type de dégâts.
- Le séisme de Constantine du 19 septembre 1894 signalé par Hée (1950) et Mokrane et al, (1994) donnent l'intensité MSK de VI, Harbi (2001) la ré-estime à V MSK.

II.3.3. Les séismes destructeurs dans la région de Constantine depuis 1900

On ne connaît pas durant la période précédant l'année 1900, un séisme fort dans la région de Constantine. Ce qui n'est pas le cas de la période instrumentale où au moins 3 séismes d'intensité maximale VIII MSK ont touché la région : le premier est celui du 4 août 1908 de magnitude $M_s = 5.2$, le deuxième celui du 6 août 1947 de magnitude $M_s = 5.3$ et enfin le troisième de mémoire assez récente le 27 octobre 1985 de magnitude $M_s = 6$. On signalera aussi la crise sismique (33 séismes) de janvier à avril 1925 qui aurait selon Hée (1950) frappé la ville de Constantine.

Tableau II.1 : Séismes destructeurs dans la région de Constantine

Date	Epicentre instrumental	Epicentre macrosismique	Magn. (Ms)	Intensité maximale (Io)	Rayon de perception	Prof.	Observations
04/08/1908	36° 40'N 6.65 E	-	5.2	VIII	175Km	10Km	Io = V (La calle), Io= VIII (Constantine), VI à Skikda, Collo et Guelma, V à Annaba et Souk Ahras
06/08/ 1947	36°.31'N; 6.68°E	36°.30'N; 6.68° E	5.3	VIII- IX	-	-	Io=VIII- IX à Oued Hamimime (El Khroub), Io= V (région de Constantine). Magnitude évaluée (Strasbourg).
27/10/1985	36°.40'N ; 6.65°E.	36°. 39' N ; 6.85° E	6.0	VIII	10Km	-	Io: VIII (MSK) à El Aria, Béni Yacoub, Kef- Tassenga ; Io=VII dans les régions de Constantine, El Khroub et El Meridj ; Io= V à Skikda,

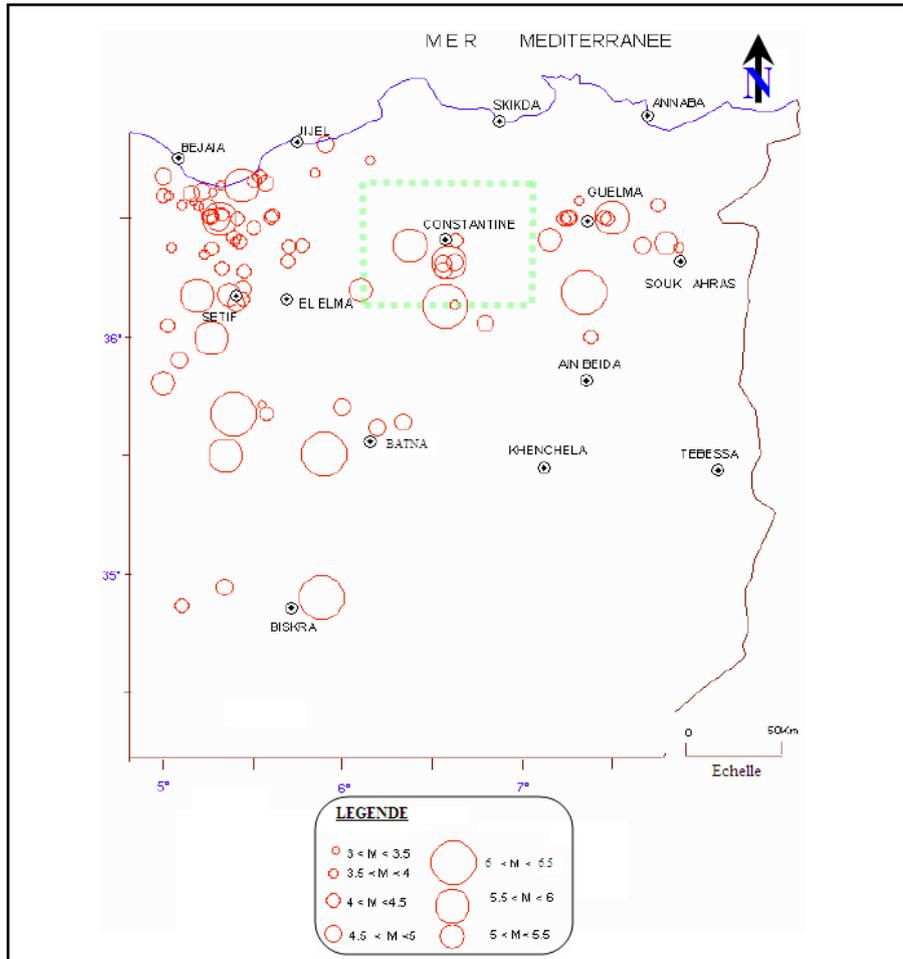


Figure II.1 : Carte des épacentres dans la région de Constantine de 1860 à 2004

II.3.4. Intensités historiques maximales

Les descriptions des effets des séismes sur l'environnement bâti et humain sur la base de la carte des intensités macrosismiques sont parmi les techniques utilisées dans l'évaluation de l'aléa sismique. La description se fait sur les échelles proposées et elles sont désignées par les échelles macrosismiques. En fait, l'intensité est une grandeur qualitative qui donne une idée sur l'ampleur des dégâts et qui varie en fonction des conditions locales du sol et avec la distance épacentrale du séisme. Cette grandeur qui est fondée sur des observations empiriques reflète au mieux les effets du mouvement du sol généré par le tremblement de terre et constitue des informations plus efficaces dans le domaine du génie civil. Ces effets sont représentés autour des surfaces affectées par chaque intensité correspondant à l'échelle MSK. La méthodologie d'élaboration de la carte des intensités historiques maximales est faite sur la base d'une compilation des effets induits sur le sol par les séismes historiques importants ayant affecté la ville de Constantine et ses alentours sur un rayon de 50 Km. Par superposition des courbes isoséistes des plus grands séismes historiques et aussi par la représentation des

courbes iso-intensités des événements aux intensités isolées, décrits dans le tableau ci dessus. La procédure permet de retracer de nouvelles courbes d'iso intensités qui délimitent des aires d'égales valeurs en intensité macrosismique.

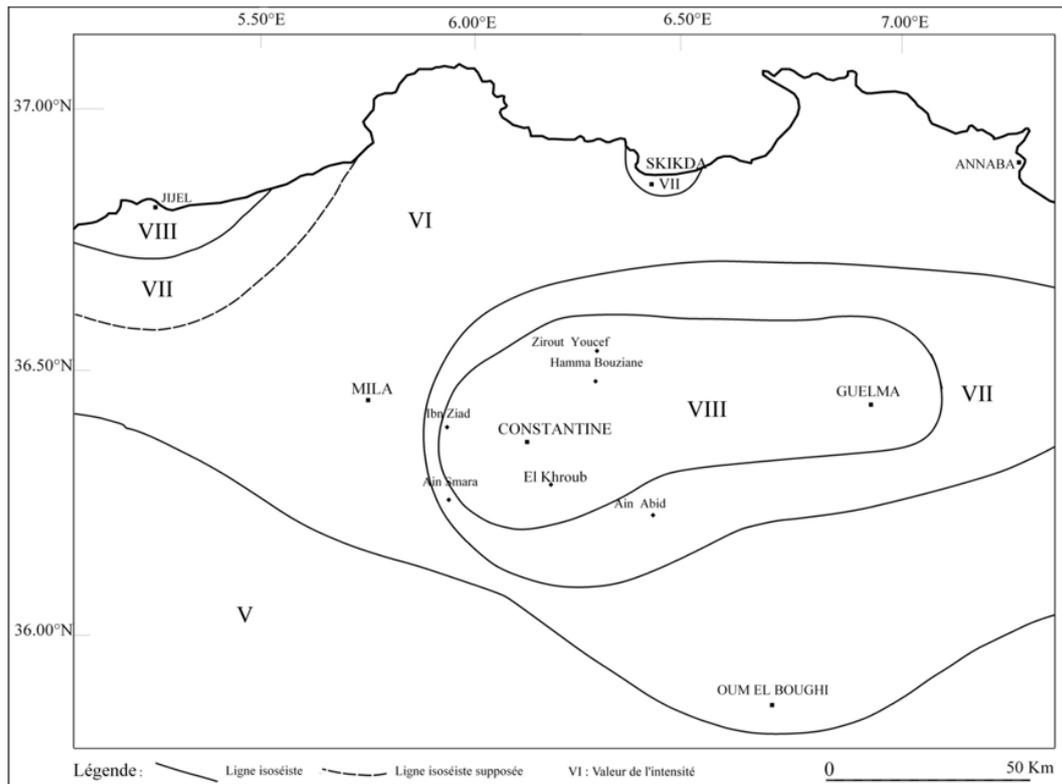


Figure II.2 : Carte des intensités historiques maximales

II.4. ANALYSE GEOLOGIQUE

II.4.1. Cadre géologique régional

Le domaine oriental de l'Algérie du nord exhibe un certain nombre de domaines morpho-structuraux qui sont du Sud au Nord:

- **L'Atlas saharien** apparaît du côté de Tébessa et au sud de Souk Ahras et il est formé de terrains géologiques allant du Trias à l'Eocène avec le Mio-Plio-Quaternaire discordant. L'Atlas est séparé des hauts plateaux par des failles en échelon d'orientation E-W, formant l'accident Nord Atlasique (ANA).
- **Les Hauts Plateaux** connu sous les appellations «zone para-autochtone» et «l'autochtone sud tellien». Les Hautes Plaines constantinoises qui se terminent en pointe à la frontière algéro-tunisienne, apparaissent du côté d'Oum Bouaghi, Khenchla, de Guelma et Sétif.

- La zone dite «**Avant fosse sud tellienne**» correspond aux bassins molassiques synorogéniques et recevant le front des nappes telliennes en chevauchant l'avant-pays pré-atlasique.
- **L'Atlas tellien** correspond à l'allochtone désolidarisé de son substratum et mis en place par gravité au cours du Miocène inférieur et il est subdivisé en trois ensembles :
 - Tell méridional (zones externes) représenté par l'autochtone à schistosité ou parautochtone des Babors dans la région de Jijel.
 - Flysch caractérisés par des dépôts silico-clastiques d'âge crétacé en position structurale infra, supra ou intermédiaire.
 - Tell septentrional représenté par les massifs de Petite Kabylie de Jijel, Skikda et voire peut être le massif de l'Edough ; il regroupe le socle cristallin, le Paléozoïque non métamorphique et la Dorsale kabyle.

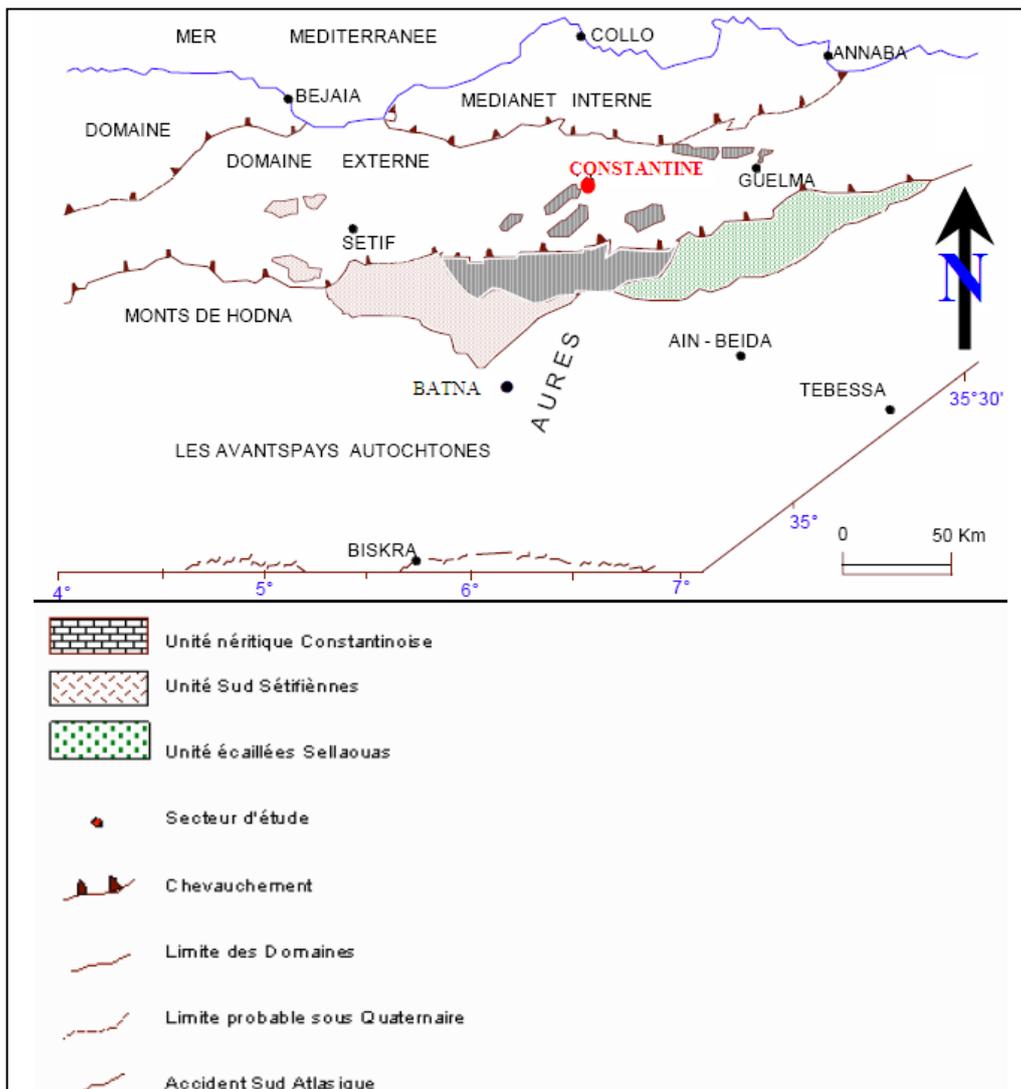


Figure II.3: Schéma structural du Nord- Est algérien (Wildi, 1963)

II.4.2. Caractères généraux du domaine sismique

Le Tell constantinois appartient à un espace hérité de la collision alpine, déformé durant le Tertiaire au cours du paroxysme éocène et miocène inférieur. Aussi, et depuis le Miocène supérieur, la marge est soumise à une dynamique de convergence induisant des structures tectoniques en compression associées à une tectonique en fracturation distensive. A cet ensemble de structures tectoniques, s'intègrent de nombreuses failles qui sont actives (sismiques), particulièrement la faille d'Ain Smara à Constantine.

Les mécanismes aux foyers déterminés pour certains séismes de la région de Constantine se caractérisent par des solutions focales en décrochement (Bounif et al., 1987; Bounif, 1990; Deschamps et al., 1991).

Le Tell semble être le domaine le plus sismique de l'Algérie alpine, occupant déjà un espace géographique à partir du Paléozoïque (400Ma et plus ancien), il était mobile à partir du Trias et par conséquent, a subi plusieurs phases tectoniques en relation avec la tectonique globale existant aux temps secondaires:

- Au Jurassique, le domaine a subi une distension liée à des mouvements sénestres associés à l'ouverture de l'Atlantique central.
- Au Crétacé inférieur, l'ouverture de l'Atlantique nord provoque le coulissage de l'Ibérie vers le Sud, et début de fermeture par transpression sénestre des bassins nord-africains.
- Au Crétacé terminal-Eocène, le domaine tellien subit les effets d'une inversion tectonique, nouvelle, alors les cisaillements Est- Ouest sénestres deviennent transpressifs dextres.
- Au Miocène inférieur, la mise en place des nappes de charriage par gravité du domaine externe du Tell semble contemporaine de l'ouverture de la Méditerranée.
- À partir du Miocène supérieur à l'Actuel, dans un contexte de convergence N-S puis NNW-SSE deux grandes plaques tectoniques Eurasienne et Africaine, le Tell subit des chevauchements à vergence sud accommodés par des décrochements conjugués NW-SE dextres et NE- SW sénestres.

II.4.3. Failles actives et soupçonnées actives

❖ Faille de Ain Smara

C'est une faille de direction Nord Est- Sud Ouest, sub-verticale avec un fort plongement vers le Sud Est. Il s'agit en fait d'un décrochement senestre d'environ 25 km de longueur, segmenté en trois segments.

❖ Faille d'El Kantour

La faille est localisée dans la localité d'El Kantour située à l'entrée de Skikda. C'est une faille de chevauchement de direction E-W à plongement vers le Nord, bien visible sur la route menant vers la ville, à partir du col jusqu'à l'ancien pont ainsi qu'au niveau de la région de Béni Haroun. Du point de vue sismicité, quelques secousses sismiques faibles lui semblent être liées.

❖ Faille de Temlouka

La faille met en contact le Quaternaire du bassin de Guelma avec les terrains anciens du massif tellien, dans la localité de Temlouka (ex Montcalm). Le contact est matérialisé par un escarpement d'environ 60 cm et il est orienté globalement à N040-N060. En fait, la faille s'étend sur plus d'une vingtaine de kilomètres et montre un jeu en décrochement senestre (Vila, 1980). Par ailleurs, le catalogue de sismicité compilé pour la période de 1850 à nos jours par Harbi, révèle une activité sismique dans la région de Guelma.

❖ Faille de Sigus

La faille est orientée globalement E-W (N80E) puis NE-SW dans sa partie ouest, suggérant ainsi la présence d'au moins deux segments et elle est d'une trentaine de kilomètres environ. C'est une faille inverse et met en contact les terrains du Secondaire avec les formations récentes du Mio-Pliocène et du Quaternaire dans la région d'Oum Bouaghi. Des indices d'activité quaternaire de cette faille sont visibles dans les niveaux alluvionnaires de l'oued Sigus situé à l'Est de la ville, qui présentent un fort pendage à son passage. Du point de vue sismicité, quatre secousses sismiques faibles semblent être liées à son activité.

II.5. SYNTHÈSE DE L'ALÉA SISMIQUE

La synthèse de l'aléa sismique de la ville de Constantine est réalisée sur la base de l'approche probabiliste qui se base sur les études géologiques, sismologiques et les mouvements du sol. Les investigations géologiques fournissent l'information sur la configuration régionale des contraintes qui produisent les failles, sur les localisations probables de futurs séismes importants (identification des failles actives). Les investigations sismologiques fournissent l'information sur la localisation et la fréquence des événements sismiques au cours des dernières centaines d'années. Les résultats des investigations géologiques et sismologiques sont alors combinés pour obtenir un modèle de sources sismiques pour la région.

II.5.1. Identification des sources sismiques

Trois critères sont pris en considération dans la définition des sources sismiques à savoir la présence de structures géologiques actives, la distribution de la sismicité historique et l'état de nos connaissances sur les failles dans le contexte tectonique en collision.

Selon leur géométrie, on distingue trois modèles de sources sismiques : point source, ligne source et zone source. Néanmoins, le modèle le plus réaliste pour modéliser une source sismique est une ligne source. Les zones sources sont souvent utilisées afin de prendre en charge la sismicité aléatoire qui ne semble pas être associée à une faille donnée ainsi que les éventuelles failles masquées ou cachées.

Dans la région d'étude, deux types de sources sont définis :

Les lignes sources qui correspondent à une modélisation de failles connues actives dans la région (par exemple : faille de Ain Smara, faille de Sigus). Les zones sources régionales déterminées sur les bases de données géologiques (par exemple : la zone de Ain Smara, la zone de Sigus –Temlouka et la zone nord Constantine).

La définition de la géométrie d'une source sismique est nécessaire surtout pour évaluer la distance entre le site et l'endroit où le futur séisme est supposé se produire (épicerne). On entend par la géométrie d'une source sismique (faille active), sa longueur, son pendage, sa largeur ainsi que l'épaisseur de sa croûte sismogénique.

Les séismes sont modélisés comme des ruptures des blocs de la croûte terrestres le long d'un plan de faille dont la largeur est proportionnelle à la magnitude maximale (Wyss, 1979 ; Wells et Coppersmith, 1994).

La détermination du pendage d'une source se fait essentiellement à la lumière des données de sismologie et de sismotectonique suite aux séismes récents qui ont eu lieu dans la région. Ainsi, selon le modèle tectonique actuel admis pour l'Algérie du Nord, les séismes importants se produisent habituellement sur des failles inverses de direction NE-SW et dont le pendage varie de 45° à 65°; pour les sources sismiques de type décrochements qui sont généralement de direction E-W dans l'Est algérien, présentent un pendage proche de la verticale. Quant à la profondeur de la couche sismogénique, elle est généralement inférieure à 20 Km.

Ainsi, quatre (04) sources sismiques dont trois(03) zones sources (Z1, Z2, Z3) et une ligne source (Faille S1) sont à prendre en considération dans le micro zonage sismique:

➤ **Zone source de Ain Smara (Z1)**

La zone regroupe les trois (03) segments de la faille en raison de la présence assez remarquée de nombreuses secousses sismiques historiques. Les trois fractures sont indiquées sur la carte des sources sismiques par S2, S3 et S4, de longueur respectivement de 8.70 km, 14.2 km et 14.7 km, particulièrement, la faille S4 qui affecte vraisemblablement les dépôts quaternaires. La zone source Z1 est orientée Nord Est – Sud Ouest et a une superficie de 176.64 km².

➤ **Zone source nord Constantinois (Z2)**

La zone correspond au domaine géologique situé au nord de la ville de Constantine caractérisée par une faille active segmentée et elle est d'une superficie de 220.32 km². L'activité de cette faille est attestée par la présence d'un certain nombre de secousses sismiques historiques faibles mais vraisemblablement capable de produire à l'avenir des séismes.

➤ **Zone source Sigus-Temlouka (Z3)**

La zone regroupe la faille de Temlouka et la faille de Sigus qui sont respectivement un décrochement sénestre et une faille inverse. Bien qu'il existe dans la zone, des évidences de déformation tectonique dans les terrains quaternaires, il reste difficile quant l'activité de ces deux failles du fait que la sismicité de cette région est faible et diffuse. Ce qui ne permet pas de caractériser ces failles individuellement; c'est pourquoi nous avons défini une zone source Z3, d'une superficie de 407.88 km², comme une probable source de futurs séismes afin de l'intégrer dans l'évaluation de l'aléa sismique de la région.

➤ **Lignes sources**

Quatre lignes sources correspondant aux failles d'Ain Smara, Sigus, Temlouka et le front des nappes sont capables de générer des séismes dans la région de Constantine:

- La ligne source de **Sigus** localisée dans la wilaya d'Oum El Bouaghi, à environ 50 km de la ville de Constantine. trois secousses sismiques semblent être liées à son activité.
- La ligne source de **Temlouka** située dans la wilaya de Guelma, c'est une faille probablement active puisqu'elle affecte les dépôts quaternaires. Quant à sa sismicité historique, deux épacentres sont localisés à proximité de cette faille.
- La ligne source du **front des nappes** qui semble avoir produit quelques petites secousses sismiques durant ce siècle.

- La ligne source d'**Ain Smara** est la mieux identifiée, elle est composée de quatre principaux segments ou branches, dont la branche NE, a produit le séisme du 27 Octobre 1985 qui a montré des évidences géologique de la faille d'Ain Smara ainsi que des ruptures de surface qui ont été observées sur une longueur totale de 4.5 km et sont apparues en échelon dans la région de Kef Tassenga. La distribution des répliques de l'évènement montre que c'est la partie nord de la faille d'Ain Smara qui présente une longueur 36 km, qui a rejoué durant ce séisme (Bounif et al, 1987). La plupart des séismes enregistrés dans la région sont liés à l'activité de cette faille. De ce fait, elle constitue la première menace en terme sismique pour la ville de Constantine et ses environs.

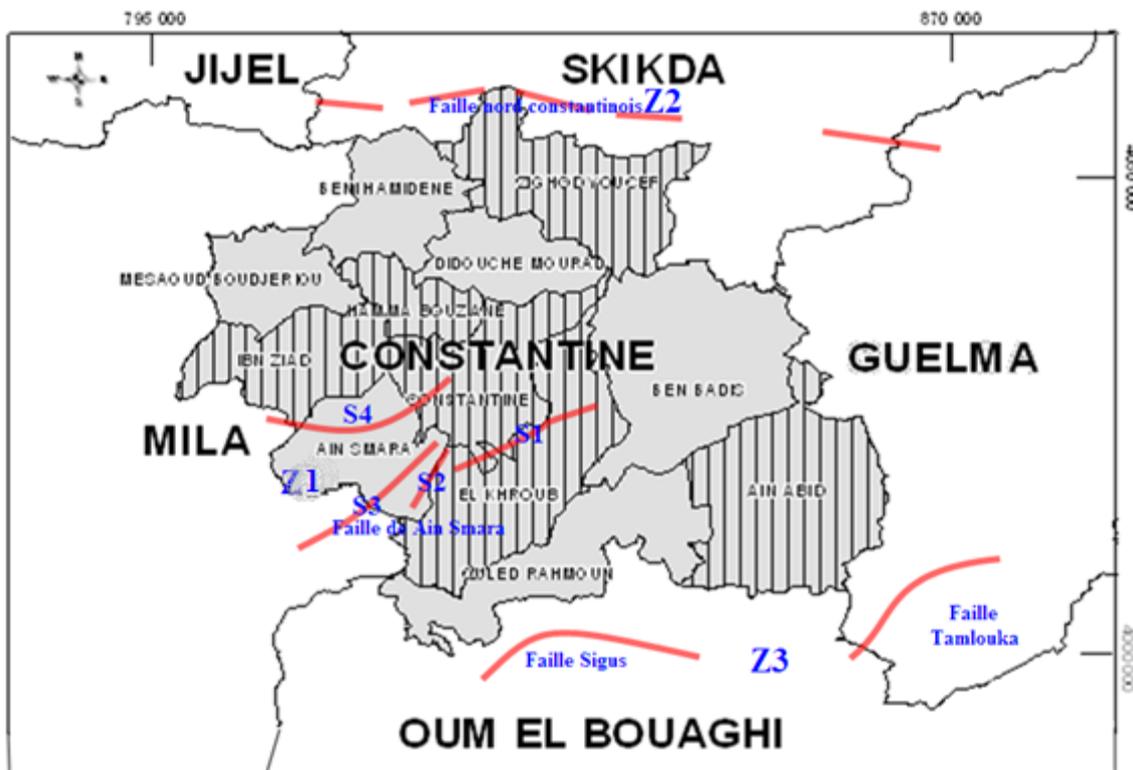


Figure II.4: Sources sismiques (zones et lignes sources)

II.5.2. Caractérisation des sources sismiques

La détermination des paramètres (sismologiques, sismotectonique et géométrique) des sources servent dans l'analyse de la récurrence des séismes tels que le paramètre b de la relation de Gutenberg-Richter, le taux d'activité (λ), la magnitude maximale (M_{max}) probable des séismes futurs, la géométrie des sources sismiques (longueurs, pendages) ainsi que la profondeur sismogénique.

▪ Estimation de la magnitude maximale

Il existe deux méthodes pour estimer le potentiel sismique des failles en termes de la magnitude maximale probable:

- ❖ la magnitude maximale estimée à partir de l'analyse statistique d'un échantillon d'épicentres représentant la sismicité historique de la région (Kijko-Selleveoll, 1989, 1992); Dans les régions qui ont connu des séismes majeurs, où le maximum d'énergie est libéré, le séisme maximal est donc considéré comme tel.
- ❖ La magnitude maximale estimée à partir des observations géologiques de terrain, on distingue les méthodes basées sur les longueurs et les largeurs de ruptures (Wells et Coppersmith, 1994; Slemmons, 1982; Bonilla et al., 1984; Wyss, 1979) et celles basées sur la paléosismologie ou sur les déplacements cosismiques observés sur le terrain dont la géomorphologie et/ou la géologie (Slemmons, 1982).

Par ailleurs, il est d'usage de considérer comme séisme maximal, notamment dans les études de microzonage sismique, la sismicité historique majorée de **0.5**. Ainsi, pour le cas de Constantine, on prend le séisme de 27 octobre 1985 de magnitude $M_s = 6.0$, ainsi le séisme maximal historique est estimé : $SMH = 6.0 + 0.5 = 6.5$

Les magnitudes maximales des différentes zones sources définies ont été calculées à partir des données sismologiques et à partir des données géologiques en utilisant les relations suivantes de Wells et Coppersmith (1994):

Cas de décrochement:

$$M_w = 5.16 + 1.12 * \log(SRL) \quad (1)$$

$$M_w = 3.98 + 1.02 * \log(RA) \quad (2)$$

Cas de faille inverse:

$$M_w = 5.00 + 1.22 * \log(SRL) \quad (3)$$

$$M_w = 4.33 + 0.90 * \log(RA) \quad (4)$$

M_w = la magnitude du moment,

SRL = longueur de la surface de rupture (Surface Rupture Length)

et **RA** = largeur de rupture. Les écarts types pour les relations (1), (2), (3) et (4) sont respectivement 0.28, 0.23, 0.28 et 0.25.

La magnitude maximale indiquée sur le tableau II.2, représente la moyenne des magnitudes obtenues par les relations (1) et (2) ou (3) et (4). Il est à signaler que le terme de magnitude

maximale est à vrai dire une magnitude maximale moyenne (Abrahamson, 2000), car il existe une variabilité aléatoire associée à ces relations empiriques.

Sachant que les longueurs maximales des failles telles que cartographiées sont mesurées et introduites dans la formule (1) et (3) comme SRL.

La surface de rupture (RA) utilisée dans les formules (2) et (4) c'est la longueur de rupture SRL qui est multipliée par la profondeur sismogénique (une profondeur moyenne de 10 km est considérée, selon les données de la sismicité historique).

Il est à signaler que l'échelle des magnitudes utilisée dans les catalogues de la sismicité historique, est la magnitude de surface M_s par conséquent les magnitudes maximales calculées à partir des données de la sismicité historique sont des magnitudes de surface (M_s). En revanche, les magnitudes estimées à partir des lois d'échelle de Wells et Coppersmith (1994) sont des magnitudes de moment (M_w). Dans la pratique il est admis que dans l'intervalle de magnitudes 4.5 et 7.5 la magnitude M_s est assumée égale à la magnitude du moment (M_w).

▪ Taux de glissement

Le taux de glissement d'une source sismique est évalué directement sur le plan d'une faille active. Ainsi, les données relatives aux taux de glissement d'une telle source sont obtenues à partir :

- déformations à court terme calculées lors des investigations paléosismologiques,
- déformations à long terme à travers les mouvements verticaux des terrasses marines et ou alluviales (Merritts et al., 1989 ; Swan, 1995).

Dans cette étude, les valeurs du taux de glissement des sources sismiques entourant la ville de Constantine, sont compilées des études réalisées sur l'aléa sismique de la région de Constantine.

▪ Fréquence et récurrence des séismes

La récurrence des sources sismiques concerne la fréquence des séismes (événement /an) de différentes magnitudes. Les paramètres qui déterminent la récurrence des séismes sont le *paramètre b* et λ .

Dans la pratique de l'analyse de l'aléa sismique deux modèles de récurrence sont utilisés, il s'agit du : i) Modèle de récurrence exponentiel (Cornell, 1968 & Van Marke, 1969) appliqué pour les zones sources ; ii) Modèle caractéristique de Youngs et Coppersmith (1985) appliqué pour les lignes sources.

Le modèle caractéristique considère que la récurrence des séismes majeurs est supérieure à ce que peut prédire le modèle de récurrence exponentielle.

Il est démontré qu'il existe pour chaque faille « active », un séisme caractéristique qui est proche du séisme maximal. Le taux d'activité est obtenu pour cette source sismique par l'utilisation des données de sismicité [(b-value et $N(m_0)$)] et le taux de glissement cosismique. Les catalogues de sismicité historiques du CRAAG et Bennouar sont utilisés pour calculer ces deux paramètres sismologiques.

▪ Profondeur de la couche sismogénique

Les profondeurs hypocentrales disponibles pour les séismes de Constantine en particulier et de l'Algérie du Nord de façon générale montrent que 95 % des séismes ont eu lieu à des profondeurs de moins de 33 km et environ 60% d'entre eux se sont produits à des profondeurs de moins de 20 km (Ouyed et al, 1981; Benouar, 1994). Le caractère superficiel de ces séismes est en accord avec le contexte tectonique régional en collision. Dans l'analyse probabiliste trois alternatives de profondeurs sismogéniques sont considérées à savoir 10 km, 15 km et 18 km.

Le tableau II.2 résume les caractéristiques sismotectoniques des zones et lignes sources et les paramètres de calcul de l'aléa sismique et les poids qui leur sont accordés (CGS, 2003). Les chiffres entre parenthèses indiquent les poids accordés aux valeurs de ces paramètres. Par ailleurs, les lois d'atténuation d'Ambraseys et Bommer (1991) et Sadigh et al. (1993) ont été utilisées avec des poids égaux de 0.5 chacune.

Tableau II.2: paramètres de calcul de l'aléa sismique

<i>Source</i>	<i>Profondeur focale (Km)</i>	<i>Pendage (°)</i>	<i>Magnitudes maximales (M_s)</i>	<i>Taux d'activité</i>	<i>Paramètre b</i>
Zone d'Ain Smara (Z1)	10	85 vers SE	6.5 (0.6)	0.11 (0.6)	0.86 (0.2)
	15	75 vers SE	6.3 (0.2)	0.18 (0.3)	0.36 (0.4)
	18		5.7 (0.2)	0.03 (0.1)	0.61 (0.4)
Zone Nord Constantine (Z2)	10	70 vers NW	6.4 (0.5)	0.028 (0.6)	0.87 (0.7)
	15	80 vers NW	5.7 (0.5)	0.03 (0.2)	0.59 (0.2)
	18			0.026 (0.2)	0.31 (0.1)
Zone Sigus Temlouka (Z3)	10	65 vers NW	6.6 (0.2)	0.096 (0.6)	0.87 (0.7)
	15	75 vers NW	6.3 (0.6)	0.051 (0.4)	0.59 (0.2)
	18		5.7 (0.2)		0.31 (0.1)
Faille d'Ain Smara (S1)	10	85 vers SE	7.0 (0.2)	0.07 (0.2)	0.46 (0.4)
	15	75 vers SE	6.6 (0.6)	0.10 (0.6)	0.69 (0.4)
	18		6.2 (0.2)	0.04 (0.2)	0.27 (0.2)

▪ Atténuation des mouvements forts

Les lois d'atténuation du mouvement du sol décrivent la variation du pic d'accélération du sol avec la magnitude du séisme et la distance entre la source et le site. Les mouvements forts du sol produits par les tremblements de terre sont influencés par les caractéristiques de la source sismique, du trajet de propagation des ondes et de la géologie locale du site.

Les lois d'atténuation usuellement utilisées pour le calcul d'un séisme fort affectant le Nord de l'Algérie, sont développées dans d'autres régions du monde qui présentent des similitudes avec le contexte sismotectonique algérien.

Ces relations sont appropriées pour les conditions en surface correspondant aux sites rocheux. La relation développée d'Ambraseys & Bommer, 1991: $\log_{10}(a_h) = -0.87 + 0.217(M_s) - \log_{10}(r) - 0.00117(r) \pm 0.26P$ semble la mieux adaptée et elle a été dérivée à partir de plus de 500 enregistrements accélérométriques obtenus principalement sur de la roche meuble et le sol, provenant de 219 séismes superficiels comprenant les données méditerranéennes et quelques données algériennes.

II.6. CALCUL ET CARTOGRAPHIE DE L'ALEA SISMIQUE

- 1- Le paramètre choisi pour le calcul de l'aléa sismique est l'accélération maximale au rocher pour des périodes de retour de 100 et 500 ans.
- 2- La carte d'iso-accélération pour une période de retour donnée est obtenue à partir du calcul des accélérations au rocher pour un maillage de 6 km x 6 km.
- 3- Les résultats de l'évaluation de l'aléa sismique présentés sur le tableau 3 en termes de pics d'accélération du sol pour les périodes de retour de 100 et 500 ans ont été tirés des courbes d'iso-accélérations (Figure II.5 et II.6).
- 4- Pour la période de retour de 100 ans, la valeur d'accélération est modérée et elle est en moyenne de 0.11g. Pour la période de retour de 500 ans, la valeur d'accélération est assez forte et elle est en moyenne de 0.34g.

Tableau II.3: Les valeurs de l'accélération horizontale maximale (PGA)

Période de retour	100 ans	500 ans
Accélération	0.11 g	0.34 g

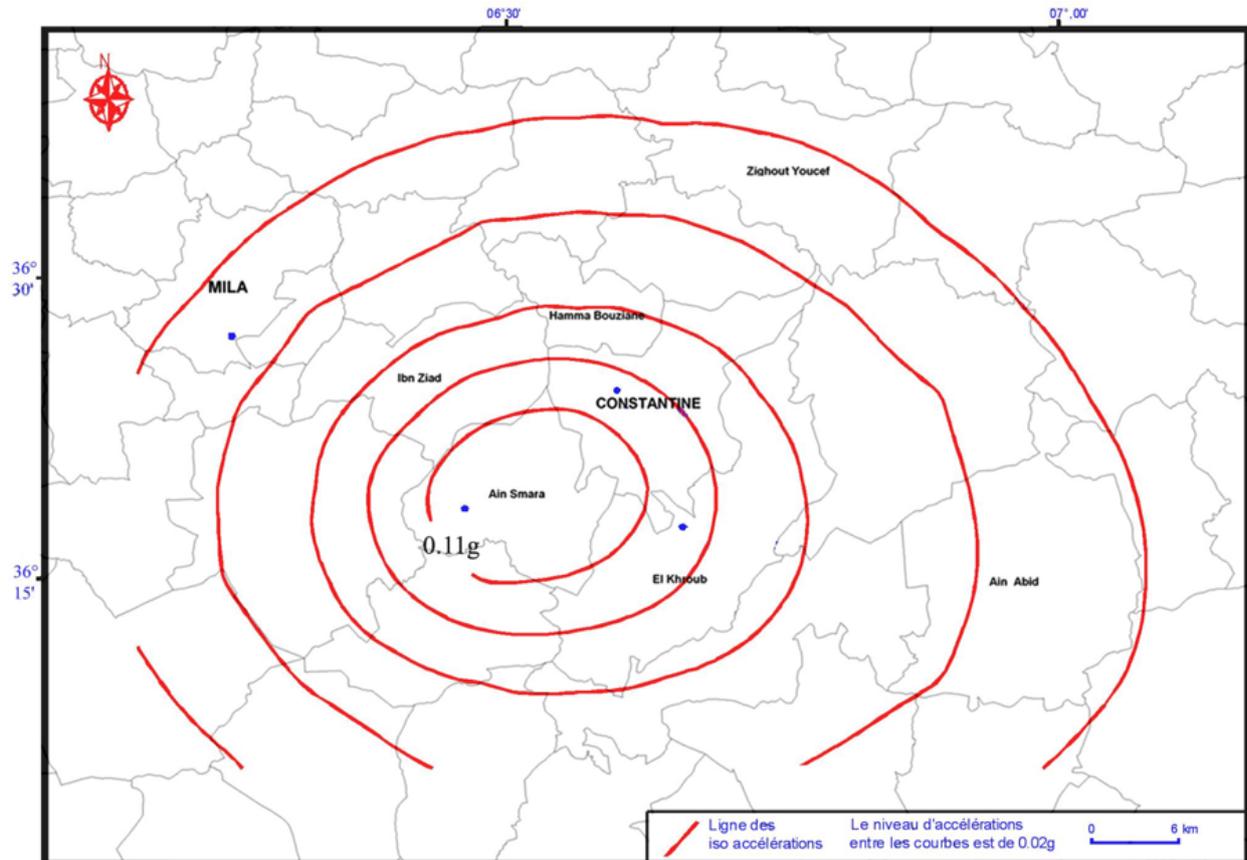


Figure II.5: Carte d'iso accélération pour la période de retour de 100 ans (CGS, 2003)

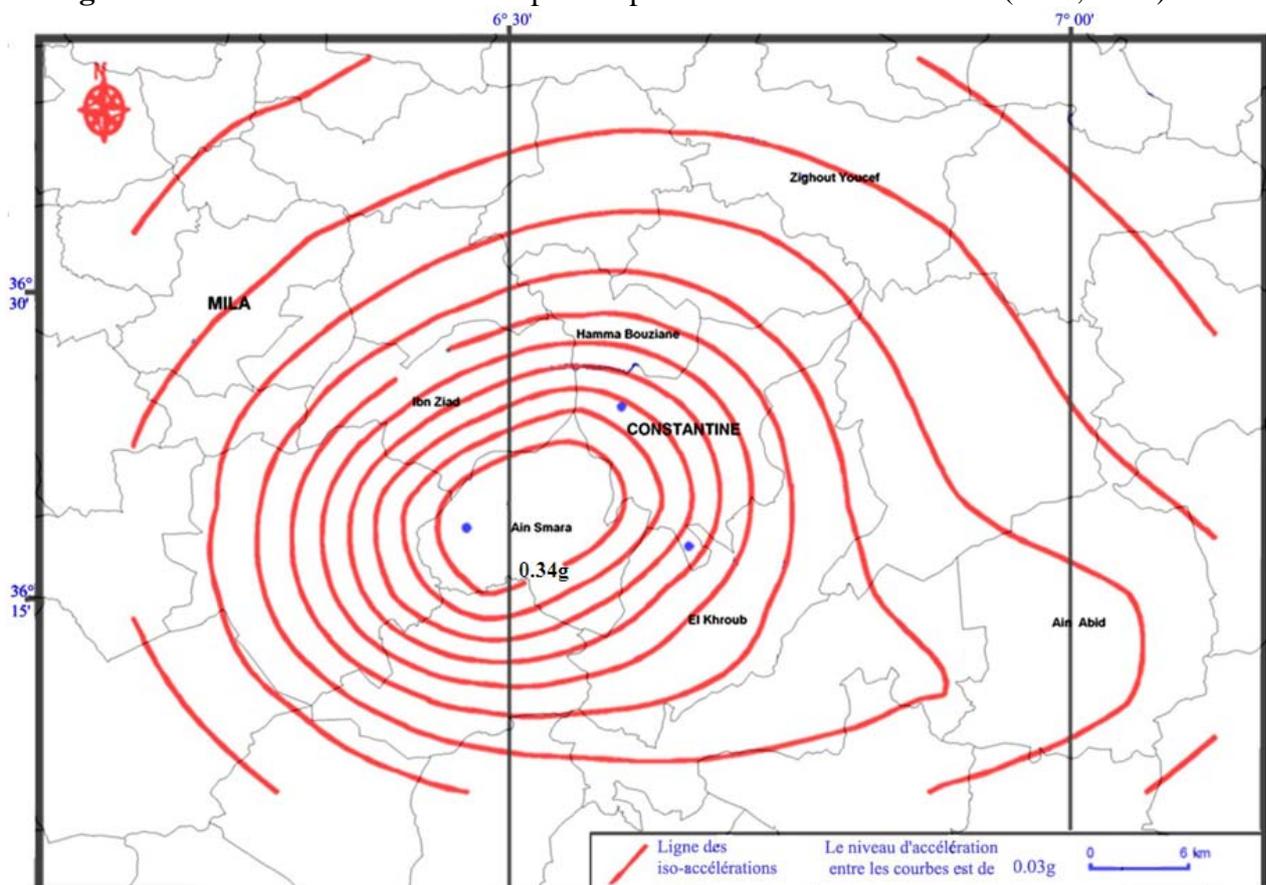


Figure II.6 : Carte d'iso accélération pour la période de retour de 500 ans (CGS, 2003)

II.7. CONCLUSION

L'étude probabiliste a montré que la ville de Constantine est bordée par des zones caractérisées par une sismicité modérée mais fréquente. Les séismes historiques ont induit des intensités maximales de l'ordre de VIII à certains endroits.

Des sources sismiques appartenant aux provinces sismotectoniques de Sigus- Temlouka, Ain Smara et El Kentour, sont caractérisées par des périodes de retour assez importantes. Cette étude a permis de déterminer les valeurs en accélérations maximales de 0.11g et 0.34g pour les périodes de retour de 100 et 500 ans.

3^{ème} CHAPITRE :

**ESTIMATION DU TISSU
URBAIN ET DE LA
VULNERABILITE SISMIQUE
DE LA VILLE DE
CONSTANTINE**

III.1. INTRODUCTION

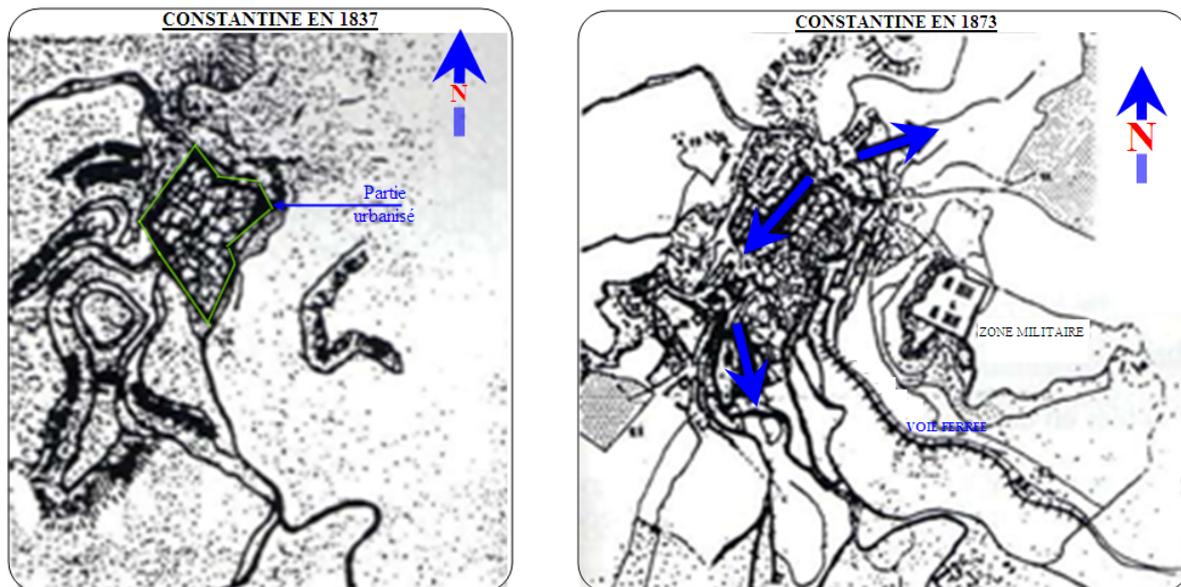
Dans ce chapitre nous allons évaluer la vulnérabilité sismique à grande et à moyenne échelle de la ville de Constantine. Ce travail se déroule en deux phases bien distinctes :

Une première phase de travail dans laquelle nous allons élaborer une série de cartes pour en arriver à une carte prévisionnelle de risque sismique du secteur urbanisé de la ville de Constantine qui sert comme aide à la décision pour l'organisation des secours.

Une deuxième phase de travail durant laquelle nous allons utiliser une méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique afin d'estimer le comportement des constructions lors d'un séisme pour une zone réduite du tissu urbain de la ville de Constantine.

III.1.1. Historique de l'urbanisation de la ville de Constantine

La croissance spatiale de la ville s'est faite selon trois grandes époques. A chaque époque correspond un développement caractérisé par une configuration spécifique et comportant des types d'unités morphologiques déterminé par des facteurs d'ordre économique, social et spatial.



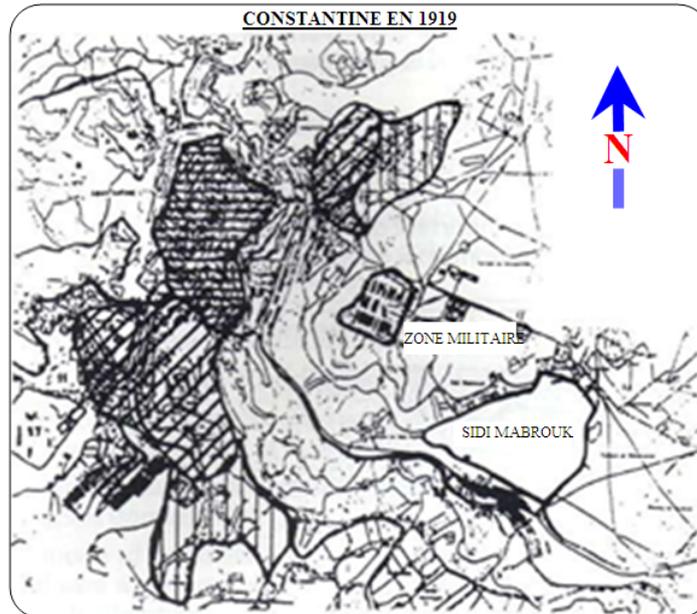


Figure III.1 : évolution du tissu urbain de la ville de Constantine durant l'époque coloniale

Durant l'époque précoloniale, le développement s'est fait essentiellement intramuros: densification en hauteur et urbanisation de ce qui devait être réservé aux jardins, ce qui expliquerait le manque d'espaces verts sur le Rocher.

✱ **De 1837 à 1962**

Le développement de la ville coloniale s'est fait de deux façons et en deux temps ; mutations sociales et fonctionnelles puis extensions, à savoir :

1ère étape : de 1837 à 1930 :

- Intervention ponctuelle : en désaffectant certains espaces comme la Casbah et le palais du Bey en les transformant en casernes et églises.
- désaffectations
- transformations
- Intervention globale
- élargissement des voies en détruisant un nombre important de constructions.
- découpage de la Médina entre trois communautés bien distinctes (Musulmane, Israélite et Européenne). Ce découpage a imposé la réalisation de services administratifs et culturels propres à chaque communauté.

2ème étape : Extension de 1930 à 1962 :

La croissance extra-muros s'est faite par :

- l'occupation des sites stratégiques (plateaux et collines) pour les équipements militaires.

- La colonisation est concrétisée par une extension de la ville dans trois directions, sur des terrains facilement urbanisables.

Cette extension a les caractéristiques de la ville européenne: elle regroupe deux types d'unités morphologiques sur les collines.

- les immeubles coloniaux avec une recherche architecturale, destinés aux populations à revenu régulier mais modestes;
- villas coloniales destinées aux Européens fortunés.

Cette période correspondant aussi à l'installation autochtone, due à la longue étape de famine qui a entraîné un exode rural (important), les nouveaux installés occupent les espaces marginalisés sur les sites défavorisés, (vallées) elle regroupe deux types d'unités morphologiques :

- cités évolutives,
- cités de recasement.

* **Période moderne**

De 1962 à 1970

Étape de stagnation, il y a eu l'achèvement de tous les projets en cours de 1965 à 1970.

De 1970 à nos jours

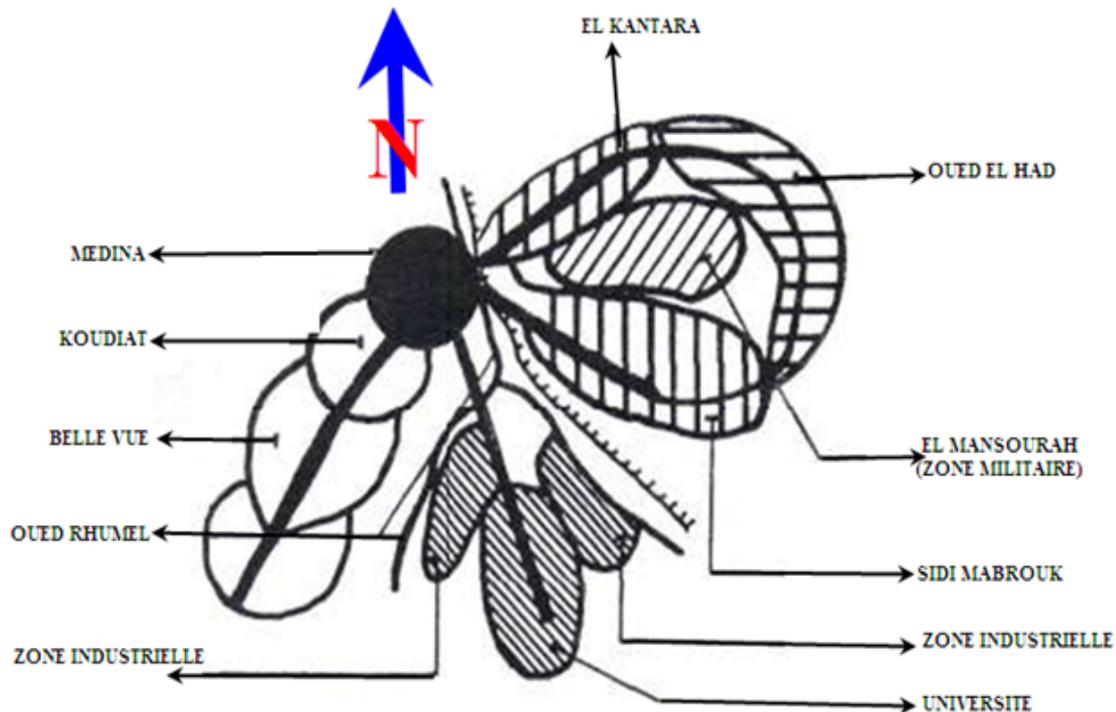
C'est l'étape d'éclatement qui a essaimé plusieurs masses urbaines toutes reliées au centre et peu ou pas entre elles:

- zones industrielles (Palma, Boumerzoug),
- zones d'équipements (université, mosquée El Amir Abdelkader),
- cités communales,
- grands ensembles (20 Août, Boussouf, etc.),
- habitat spontané récent (Bencherghi),
- lotissements communaux (Bentchikou, El Riad).

* **Principe de composition utilisé**

La ville de Constantine a évolué en occupant les différents sites (Voir figure III.2). Chaque site accueille une étape de croissance qui correspond à un ordre socioéconomique : partant du Rocher, elle a successivement occupé les plateaux, les vallées et les collines.

Par ailleurs on note l'augmentation de la densité de population dans le noyau par une sur occupation de la Médina. Celle-ci servait de résidence transitoire pour les immigrants.



* Croissance s'effectue à partir d'un pôle et selon une croissance multidirectionnelle

* Le relief est l'élément principal qui a commandé le développement

Figure III.2 : Schéma montrant les étapes de croissance du tissu urbain

III.1.2. Recensement de la population et de l'habitat

L'analyse des données sur la population et l'habitat faite pour les besoins de l'étude de vulnérabilité et d'évaluation du risque sismique de la ville de Constantine, est basée sur les résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH-08) fait par l'office National des Statistiques (ONS) en 2008.

L'analyse des données a permis d'isoler les paramètres qui intéressent l'étude en question, à savoir:

- La population et sa répartition géographique
- Les différents types de constructions et leur période de réalisation

Il ressort de ce recensement que pour la zone étudiée:

- La population est estimée à 406 360 habitants.
- La superficie est de 4 639.56 ha.
- Le parc habitation est de 83 527 logements.

La figure III. 3 donne la densité de population (nombre d'habitants à l'hectare) pour les différents districts de la commune de Constantine.

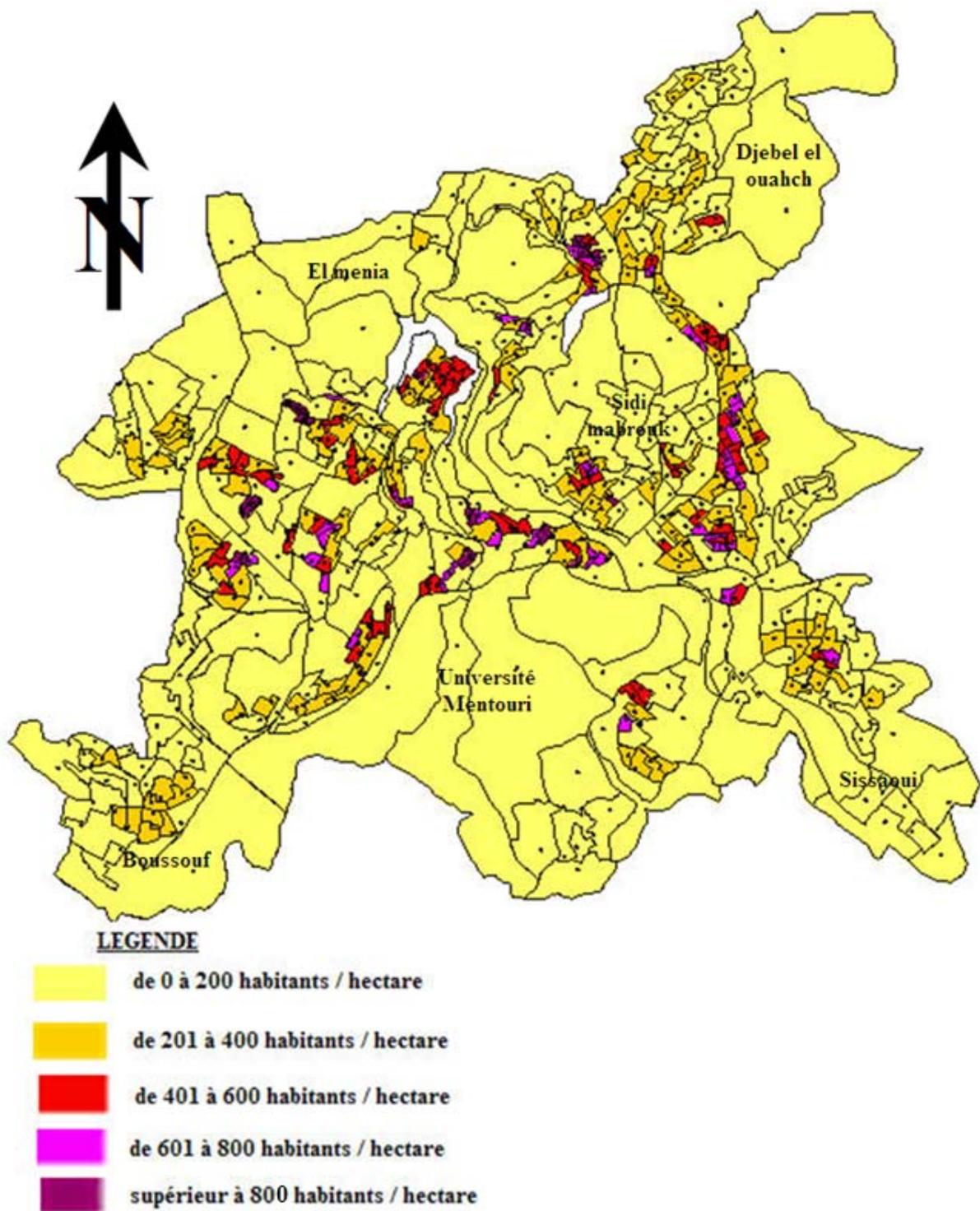


Figure III.3 : carte des densités de population dans la commune de Constantine.

III.2. PRESENTATION DES QUARTIERS DU PERIMETRE URBAIN

Dans cette phase d'étude on a partagé notre site d'étude en plusieurs secteurs comme indiqué dans la Figure (III.4)

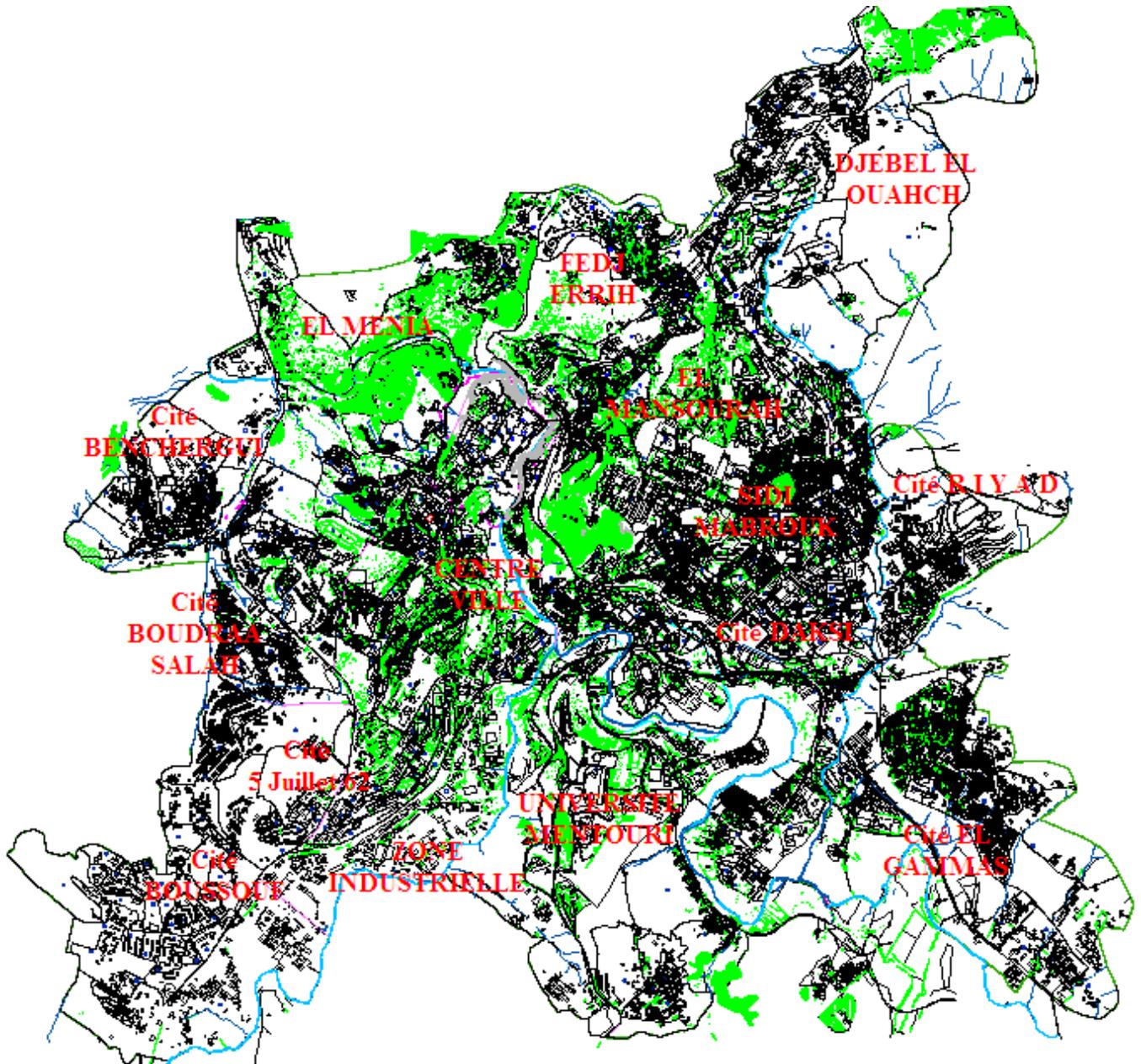


Figure III.4 : Carte du périmètre urbain de la ville de Constantine (2010)

On remarque la mal formation de plusieurs quartiers périphériques sous la pression démographique au cours des différentes étapes d'extension de la ville. En effet, de par la qualité du cadre bâti et les caractéristiques du tissu urbain, on distingue quatre groupes de tissu :

1^{er} Tissu: regroupant les cités : émir Abdel Kader, Riyad, El Gammas, El Menia, Boudraa Salah, Ben Chergui, Sidi M'cid, où l'urbanisation est caractérisée par la prédominance de l'habitat individuel de qualité moyenne à précaire.

2^{ème} Tissu: regroupant les cités : Djebel El Ouahch, Daksi, Boussouf, 5 juillet, Belle Vue, Sidi Mabrouk, caractérisé par un habitat (individuel et collectif) plus structuré architecturalement.

3^{ème} Tissu: regroupant l'ensemble de l'ancien bâti.

4^{ème} Tissu: regroupant les bidons villes (Voir figure III.5).

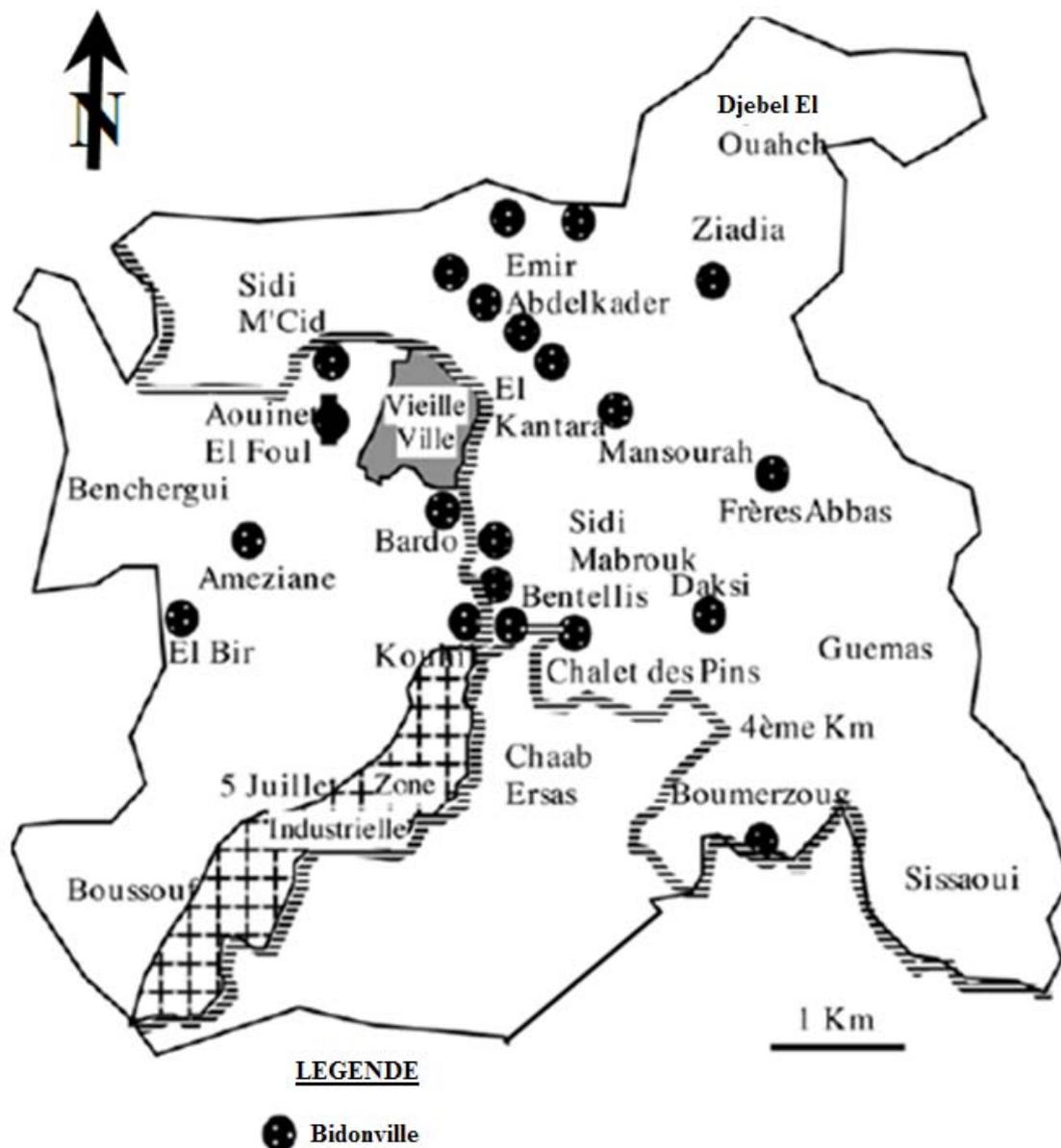


Figure III.5 : Principaux sites de bidonvilles de la ville de Constantine.

III.3. METHODES DE REALISATION DES CARTES PREVISIONNELLES DE RISQUE SISMIQUE

La méthode suivie consiste à cartographier séparément les facteurs naturels et entropiques, qui sont les indicateurs de la vulnérabilité, (l'évaluation des différents facteurs naturels, entropiques dans le sens d'une recherche de l'objectivité du rôle respectif de chacun de ces facteurs retenus).

Dans un premier temps, pour chaque carte nous avons affecté un indice déterminant dans une échelle numérique en rapport avec son importance. Cette simulation nous permet de traduire une « méthode arithmétique » qui consiste à faire la somme des indices par secteur figurant dans chaque carte et par la suite nous obtenons la carte de la somme indiciaire qui donne un minimum et un maximum de risques susceptibles de produire des préjudices ou des dommages.

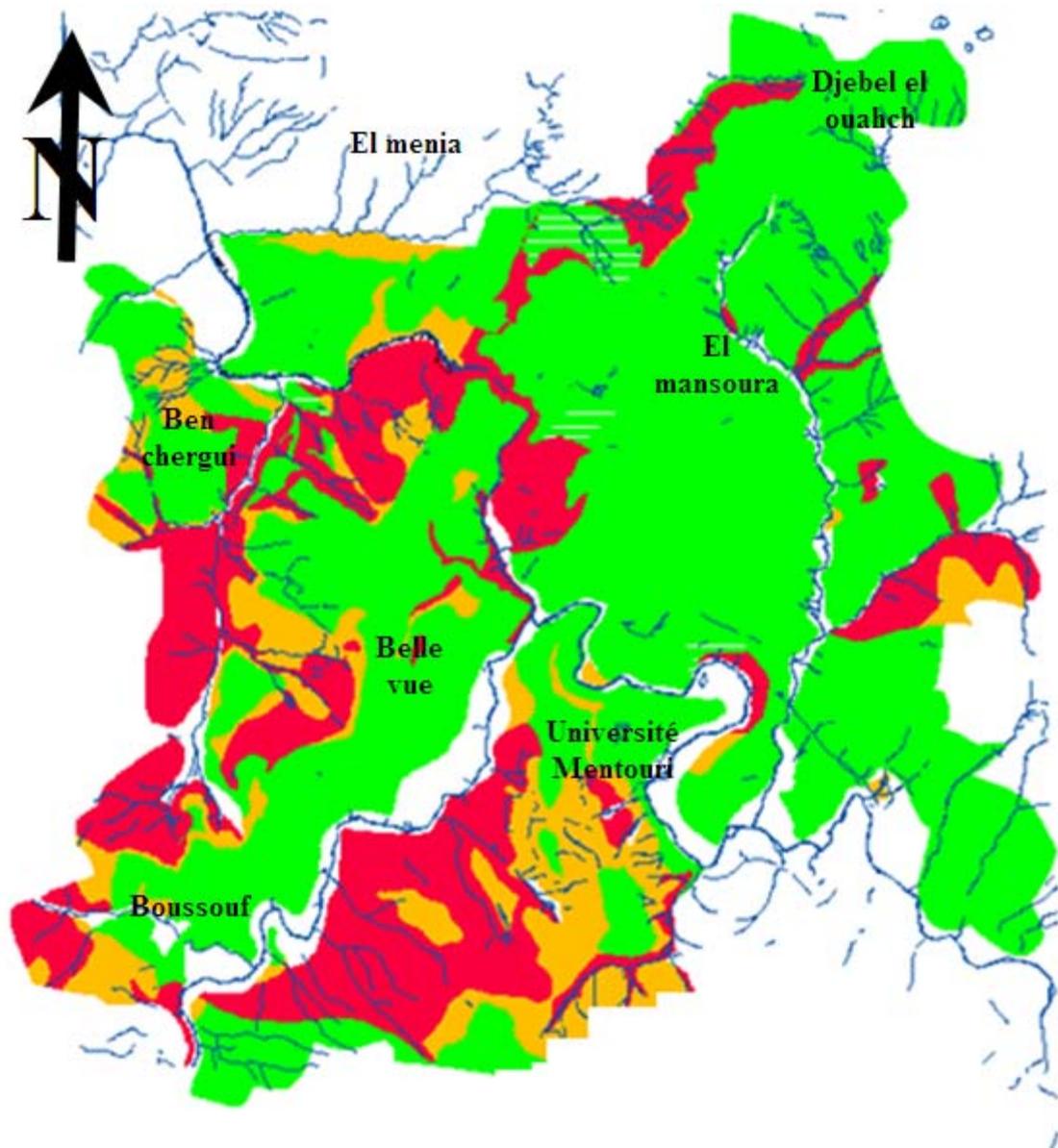
III.3.1. Facteur naturel

➤ **Le sol :**

La qualité du sol joue un rôle important et c'est pourquoi, la roche dure en place est à choisir plutôt qu'un remblai artificiel ou un terrain meuble, trop souvent gorgé d'eau et dès lors susceptible de se liquéfier sous l'effet des vibrations sinon devenir en quelques instants incapable de soutenir un bâti quelconque. Par ailleurs, il faut garder présent à l'esprit le risque des effets induits dus aux tremblements de terre : éboulements, glissements de terrain, etc., qui peuvent mettre en péril plusieurs bâtiments (Voir figure III.6).

Tableau III.1: Classification selon le facteur type du sol

Degré de risque d'Indices (IS)	IS1=1	IS2=2	IS3=3
Influence de séisme sur les fondations	Faible	Moyenne	Forte
Qualité du sol pour construction	Bonne	Moyenne	médiocre
Couleur	vert	orange	rouge



LEGENDE

- Zone stable - Sol ferme à rocheux
- Zone de stabilité incertaine - Sol meuble
- Zone instable - Sol très meuble
- Zone stable avec le risque d'inondation

Figure III.6 : Carte des différents types de sol dans la commune de Constantine.

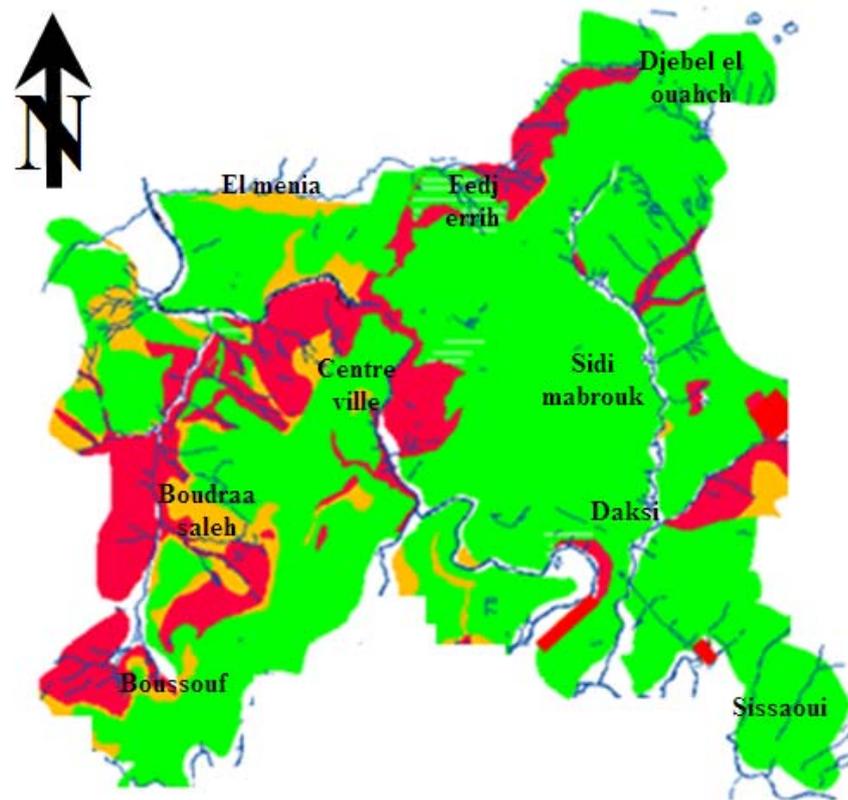
➤ **Indice de pente (IP)**

Le relief du site est reflété par l'indice de pente (IP). Cet indice permet l'élaboration d'une carte de facteur pente, faite à partir de la carte topographique de la ville de Constantine de 1993 (Voir figure III.7).

Les classes de pentes du paramètre « pente de terrain et fondation » sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Classification selon paramètre « pente du terrain de fondation »

Indice (IP1)=1	Indice (IP2)=2	Indice (IP3)=3
Catégorie (A)	Catégorie (B)	Catégorie (C)
Pente < 15%	Pente de 15% à 45%	Pente > 45%
Risque faible	Risque moyen	Risque fort
Couleur verte	Couleur orange	Couleur rouge



LEGENDE

- Terrasses alluviales d'altitude moyenne, substratum rocheux affleurant ou peu
- Terrasses alluviales basses
- Terrain de moyenne déclivité
- Versant de moyenne à forte déclivité

Figure III.7 : Carte des déclivités de la commune de Constantine

III.3.2. Facteurs entropiques

La grande diversité dans les caractéristiques structurelles fait que l'évaluation de risque sismique d'une structure existante est une tâche difficile, car elle implique plusieurs incertitudes (caractéristiques des matériaux, détails de ferrillages et rigidités des éléments).

L'importance des dégâts causés par un séisme provient souvent de la vétusté ou de la qualité des constructions.

A cet effet on a jugé de prendre l'effet d'âge des constructions comme facteur commun, pour estimer la vulnérabilité et par la suite déterminée le degré de risque en cas d'un séisme.

➤ **Indice Age de la construction :**

La carte d'indice Age de tissu urbain (Voir figure III.8), réalisée à partir du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme, puis un indice (IA) a été affecté pour chaque période comme indiquée ci dessus.

Selon le facteur âge on a localisé trois époques de construction et l'étude de son état (règle de constructions adoptées) qui nous permettent d'évaluer son comportement en cas de séisme destructeur.

Tableau III.3 : Classifications d'Indice âge de construction dans la ville de Constantine

Indices d'âge de la construction	(IA1)=1	(IA2)=2	(IA3)=3
Age de la construction	De 1988 à 2003 (Période d'apparition de la réglementation parasismique R.P.A)	1962 – 1988 (Construction anarchique menacée par la ruine)	Avant 1962 (Construction coloniale précaire)
Risque sismique	Moyen	fort	Très fort

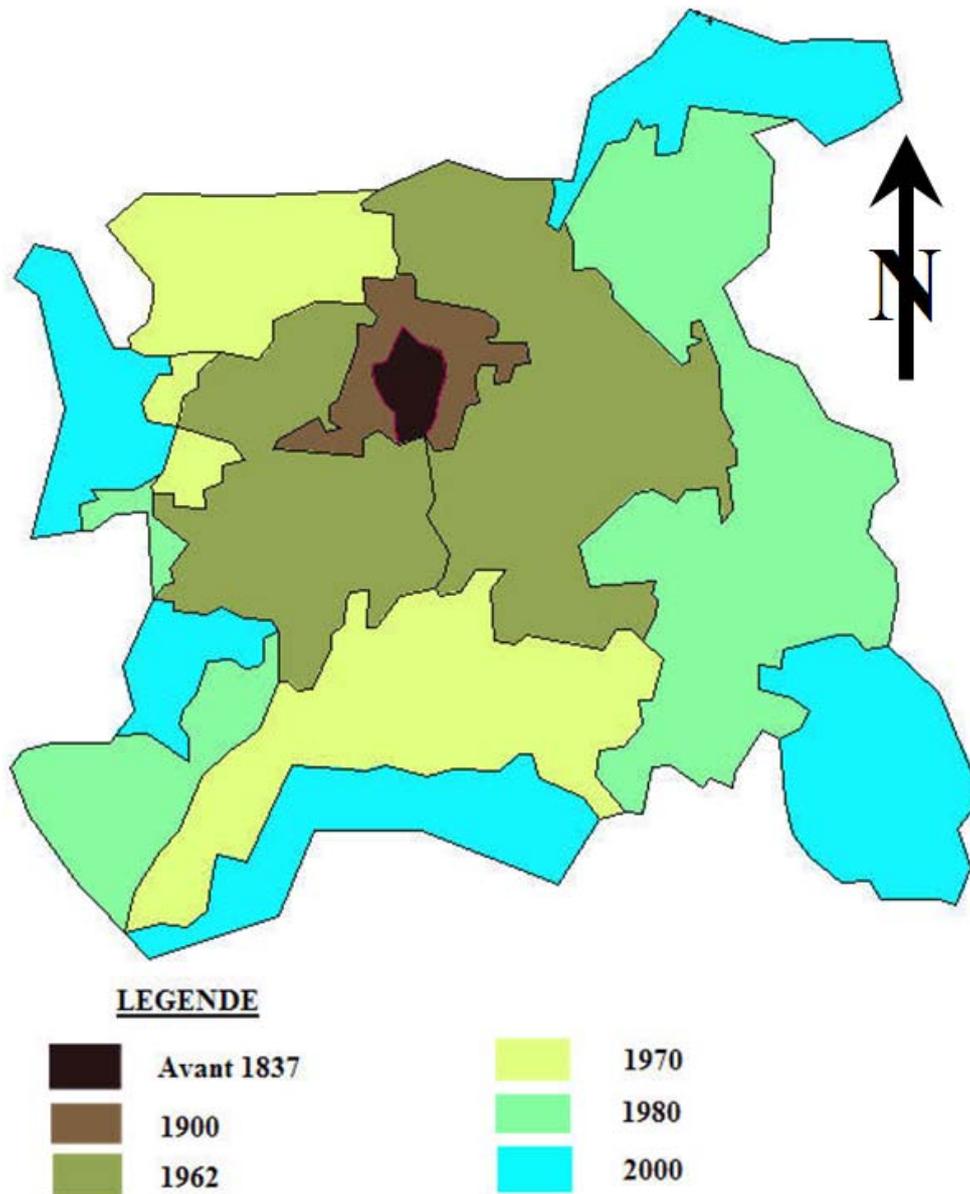


Figure III.8 : Carte des extensions urbaine de la commune de Constantine

➤ **Indice de densité d’habitat (IH)**

Tenant compte de la densité d’habitat, comme facteur d’influant sur la fréquence du risque, a été affecté l’indice (IH) par catégorie, comme indique le tableau suivant :

Tableau III.4: classification d’indice densité d’habitat dent la ville de Constantine.

L’indice (IH) d’habitat	(IH1)=1	(IH2)=2	(IH3)=3
Nombre d’habitat /ha	50-100	100-200	>200
Degré de risque	Moyen	Élevé	Très élevé
Couleur du risque	Couleur jaune	Couleur orange	Couleur rouge

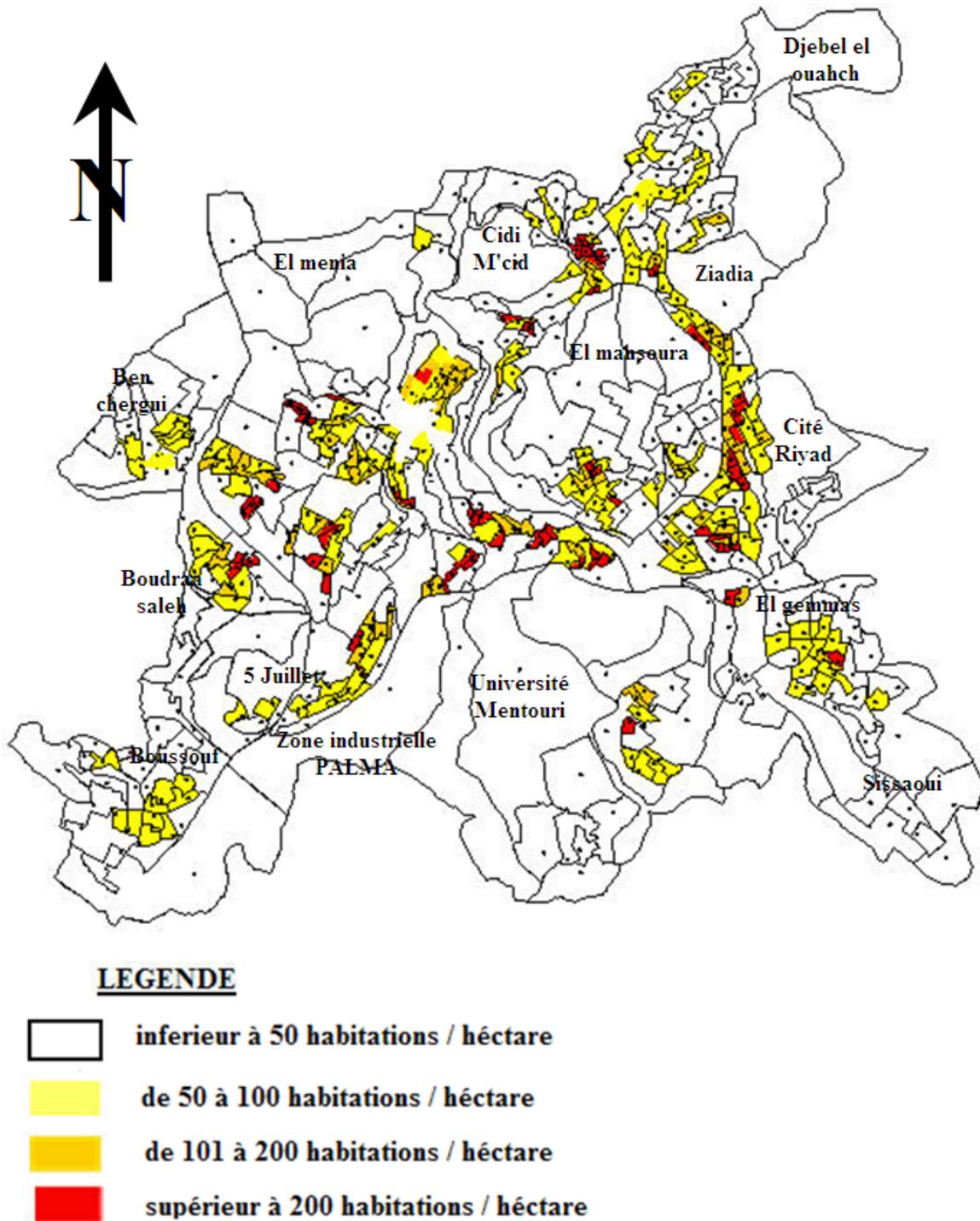


Figure III.9 : Carte des densités d’habitat de la commune de Constantine

Le degré de vulnérabilité est déterminé par un calcul arithmétique par lequel nous avons évalué l’importance de chaque indice pour les cartes suivantes (carte de pente, carte géotechnique, carte typologique, carte de densité d’habitat).

La superposition de ces cartes de même échelle va nous permettre de dégager en trois degré de niveau décroissant de risque comme suit :

- Degré III : zone de vulnérabilité élevée (couleur rouge),
- Degré II : zone de vulnérabilité moyenne (couleur orange),
- Degré I : zone de vulnérabilité faible (couleur verte).

Où cette carte (Voir figure III.10) peut représenter une aide importante pour le déroulement optimal des opérations de secours.

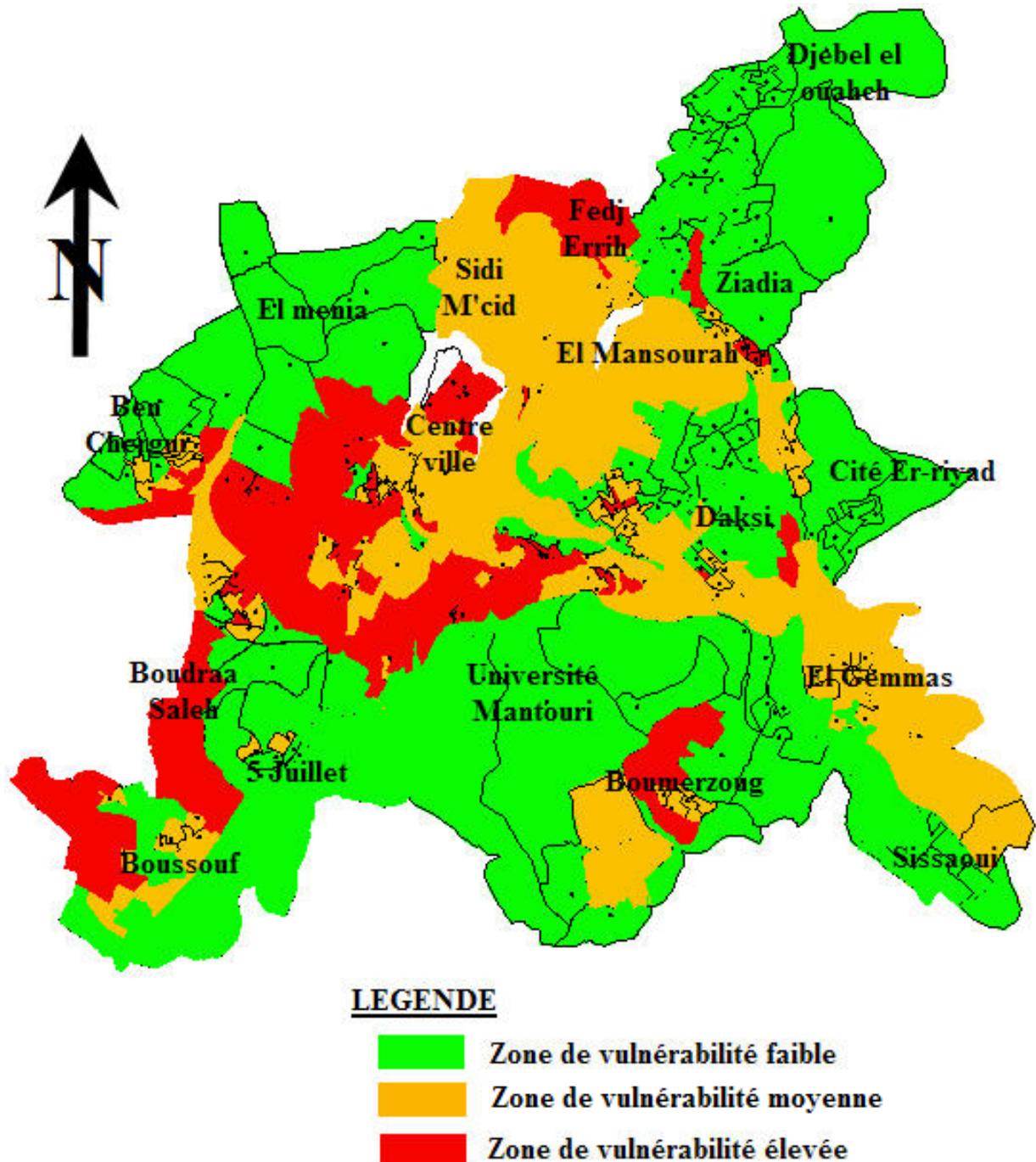


Figure III.10 : Carte du risque sismique de la commune de Constantine

III.4. ESTIMATION DU TISSU URBAIN DE LA ZONE D'ETUDE

Dans cette partie nous allons évaluer la vulnérabilité sismique d'une zone de la ville de Constantine faisant l'objet de notre étude.

Ce travail se déroule en deux phases bien distinctes : une première phase de travail sur le terrain durant laquelle les informations les plus pertinentes concernant les bâtiments composant la zone d'étude sont récoltées, puis une deuxième phase durant laquelle une méthode d'estimation de la vulnérabilité sismique est utilisée afin d'estimer le comportement des constructions lors d'un séisme.

Nous avons effectué une enquête sur les constructions du site faisant l'objet de notre étude « Cité CILOC ; Belle Vue ; Bel Air ». Les bâtiments étudiés sont situés dans les îlots : 397, 398, 399, 400, 401, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 641, 642, 645, 646, 647 (Voir figure III.11).

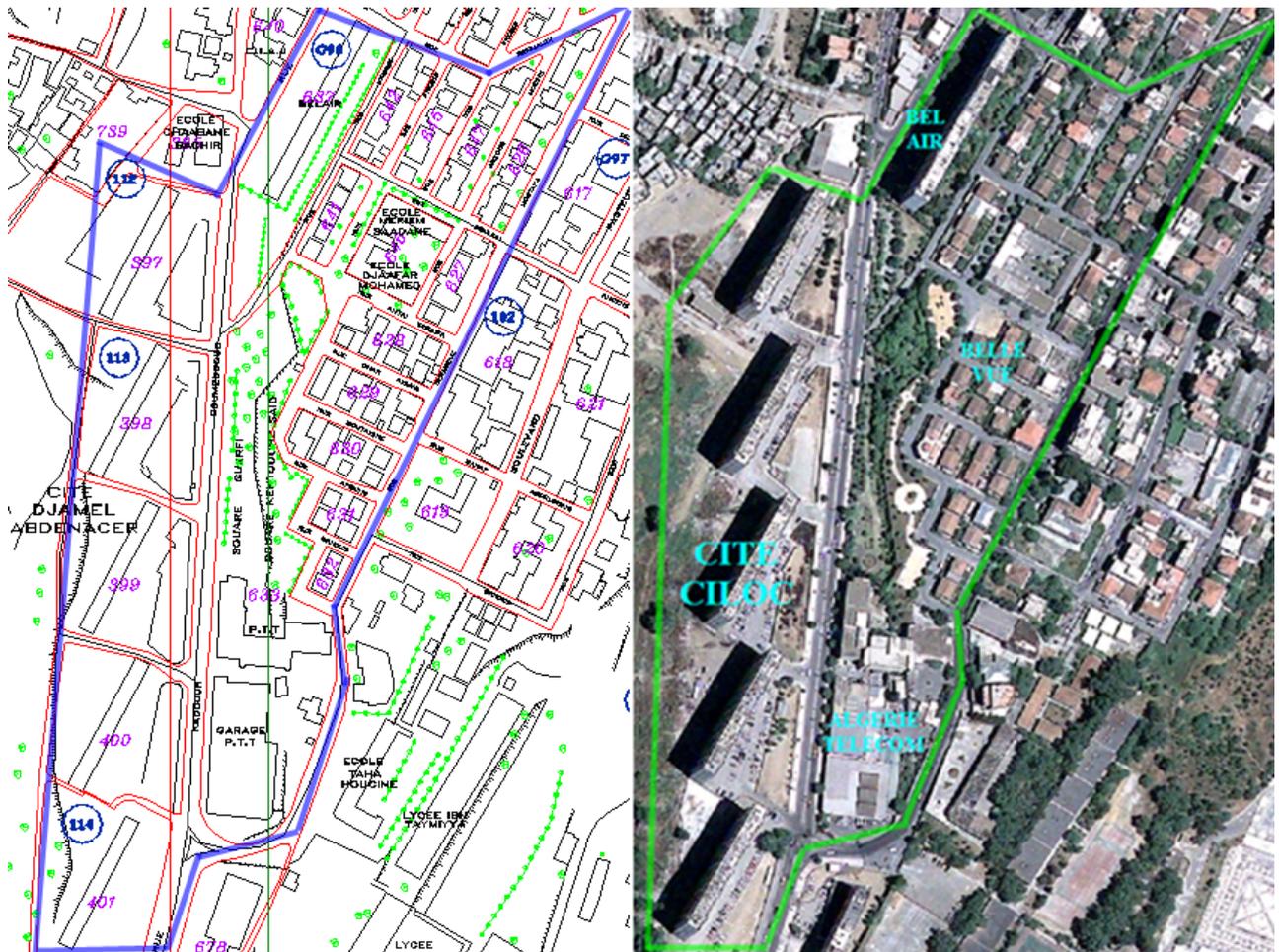


Figure III.11 : Périmètre de la zone d'étude

La récolte d'informations comprend un relevé détaillé des bâtiments: Les matériaux de construction utilisés, le nombre d'étages, l'année de construction, la régularité du bâtiment, le

système de contreventement et l'état d'entretien qui sont tous des éléments que nous avons essayé de caractériser de la manière la plus précise possible. Tous ces paramètres sont autant d'éléments qui influencent la vulnérabilité d'un bâtiment.

Cette récolte de données est faite par le remplissage des fiches d'évaluation des bâtiments du tissu urbain qui suit :

FICHE D'EVALUATION DU BATI

Adresse : Ilot :District :	
Type de construction :	
Bâtiment <input type="checkbox"/>	Maison individuelle <input type="checkbox"/> Précaire <input type="checkbox"/> Hangar <input type="checkbox"/>
Autres	
Usage de la construction :	
Habitation <input type="checkbox"/>	Commercial <input type="checkbox"/> Scolaire <input type="checkbox"/> Administratif <input type="checkbox"/> Sportif <input type="checkbox"/> Industriel <input type="checkbox"/>
Hospitalier <input type="checkbox"/>	
Autres	
Type de structure :	
Béton armé <input type="checkbox"/>	maçonnerie <input type="checkbox"/> Charpente métallique <input type="checkbox"/> Bois <input type="checkbox"/>
Autres.....	
Si Béton armé :	Portique <input type="checkbox"/> Voile <input type="checkbox"/> Mixte <input type="checkbox"/>
Si Maçonnerie :	Chaînée <input type="checkbox"/> Non chaînée <input type="checkbox"/>
Période de la construction :	
Avant 1988 <input type="checkbox"/>	Après 1988 <input type="checkbox"/> Après 2003 <input type="checkbox"/>
Nombre de niveau :	
Régularité	
* en plan : Régulier <input type="checkbox"/> Faiblement irrégulier <input type="checkbox"/> Irrégulier <input type="checkbox"/>	
* en élévation : Régulier <input type="checkbox"/> Faiblement irrégulier <input type="checkbox"/> Irrégulier <input type="checkbox"/>	
Type du sol :	
Rocheux <input type="checkbox"/>	Ferme <input type="checkbox"/> Meuble <input type="checkbox"/> Très meuble <input type="checkbox"/>
Implantation de l'ouvrage :	
- Sur un terrain instable (tassant)	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
- Sur un terrain accidenté avec changement de pente importante	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
- En haut ou en bas d'une colline	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
La construction est :	
A l'angle <input type="checkbox"/>	au milieu <input type="checkbox"/> isolée <input type="checkbox"/>
Etat général de la construction :	
Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/> Mauvais <input type="checkbox"/>
Remarques :	
.....	
.....	
.....	
.....	

III.5.2. Année de construction

Afin de quantifier l'indice de vulnérabilité lié à l'âge de chaque structure, il est nécessaire de déterminer la période de construction des bâtiments.

Les différentes périodes ont été choisies selon les années de sortie du règlement parasismique algérien qui sont: avant 1988, de 1988 à 2003, après 2003. La figure (III.13) récapitule les données concernant la période de construction.

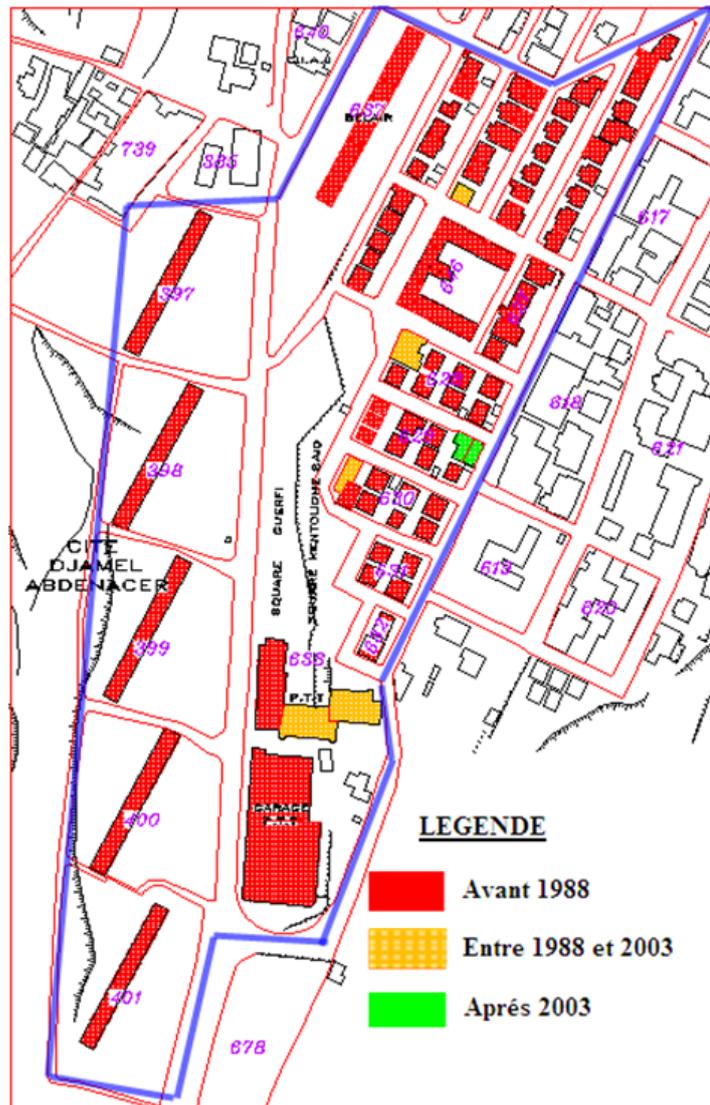


Figure III.13 : la classification des constructions suivant leurs années de construction

III.5.3. Hauteur de la structure

La hauteur de la structure, mais surtout le nombre d'étages de la structure est un paramètre primordial. On considère en effet que seuls les bâtiments dépassant les trois étages sont problématiques d'un point de vue sismique dans une ville à sismicité moyenne tel que Constantine.

Les bâtiments plus petits ne subissent que des déformations limitées dues à leurs fréquences de résonance élevée. Les grands bâtiments, quand à eux, subissent des déplacements importants mais ont l'avantage d'avoir été dimensionnés sous l'action sismique.

En ce qui concerne les bâtiments en béton, le nombre d'étages est facile à déterminer car il suffit de déterminer le nombre de planchers. Pour les bâtiments en maçonnerie, la difficulté provient du fait que les planchers ne constituent pas forcément des diaphragmes et que les combles, selon leur masse, peuvent également être comptabilisés en tant qu'étage.

La présence d'un rez de chaussée surélevé ou vide sanitaire est également notée. La figure (III.14) récapitule les données statistiques concernant le nombre de niveau.

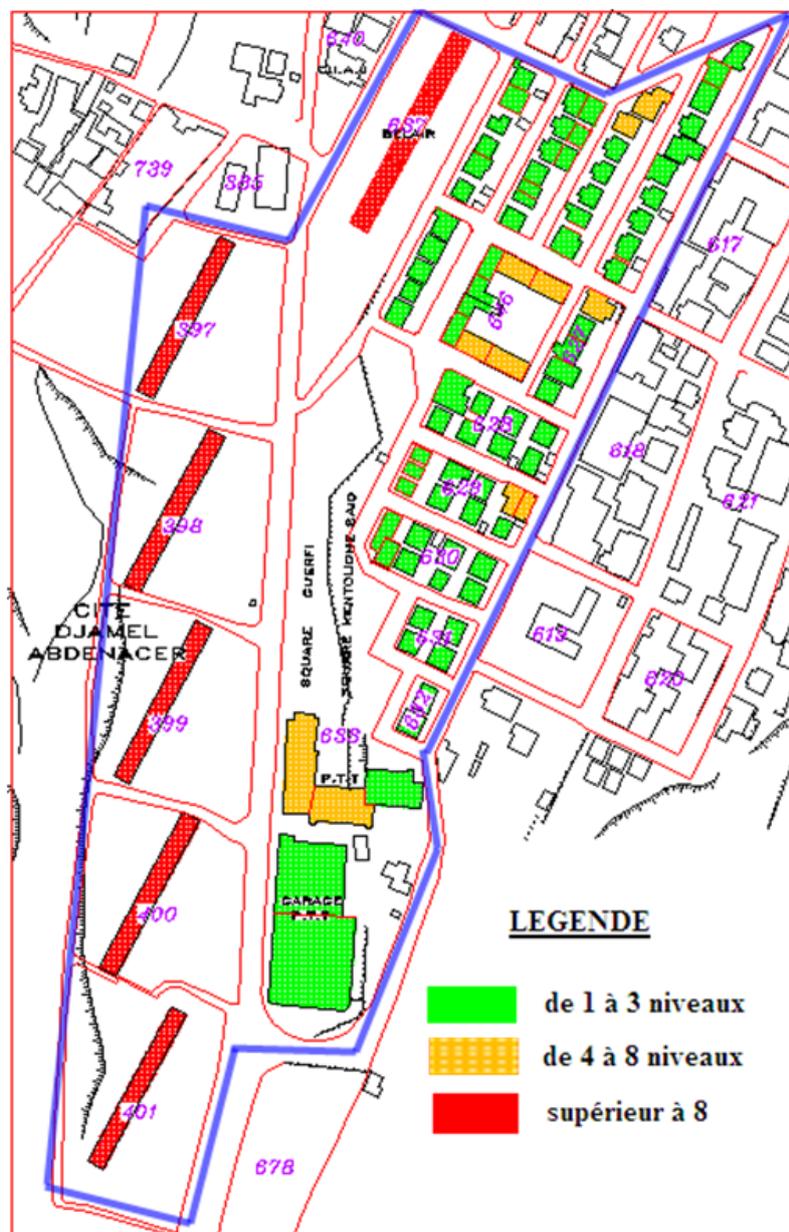


Figure III.14 : la classification des constructions suivant leurs nombres d'étage

III.5.4. Etat général

L'état d'entretien des bâtiments influence également l'indice de vulnérabilité. En effet, un bâtiment qui a fait l'objet d'un entretien régulier se comportera conformément à la résistance attendue. Alors que la résistance d'un bâtiment qu'on a laissé se dégrader pourrait être fortement réduite.

La difficulté principale dans la détermination du niveau d'entretien provient du fait qu'un bâtiment peut apparaître bien entretenu car une attention toute particulière a été portée à l'aspect extérieur alors que le système structural du bâtiment n'a fait l'objet d'aucune attention particulière.

La figure (III.15) récapitule les données concernant l'état général des constructions.

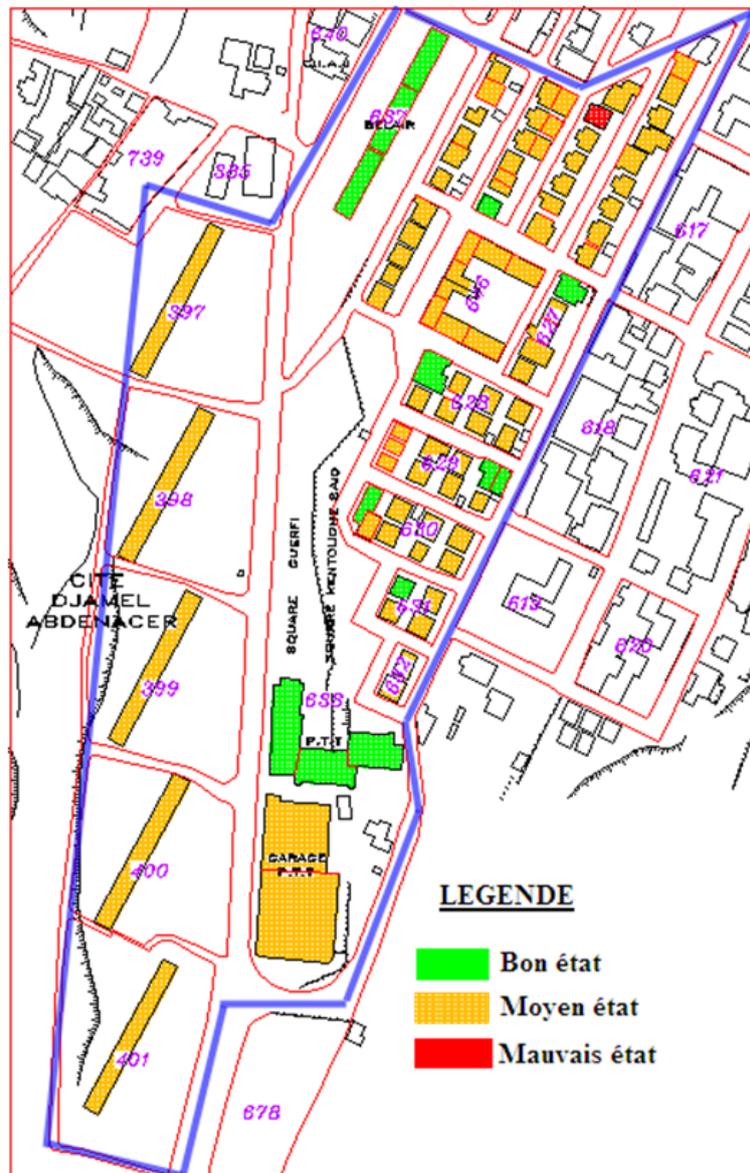


Figure III.15: la classification des constructions suivant l'état général

III.5.5. Régularité

Le bâtiment idéal d'un point de vue sismique serait un bâtiment dans lequel aucun saut de rigidité n'est présent et où les éléments internes de rigidité (cage d'escalier, cage d'ascenseur) sont disposés de manière symétrique.

Cependant, de tels bâtiments seraient incommodes d'un point de vue fonctionnel. Nous avons donc affaire, dans la quasi-totalité des bâtiments observés, à des variations plus ou moins importantes de ce plan idéal. Plus on s'en éloigne, plus la vulnérabilité du bâtiment sera grande.

Il était donc important de déterminer la régularité en plan et en élévation des différents bâtiments évalués (voir figure III.16).

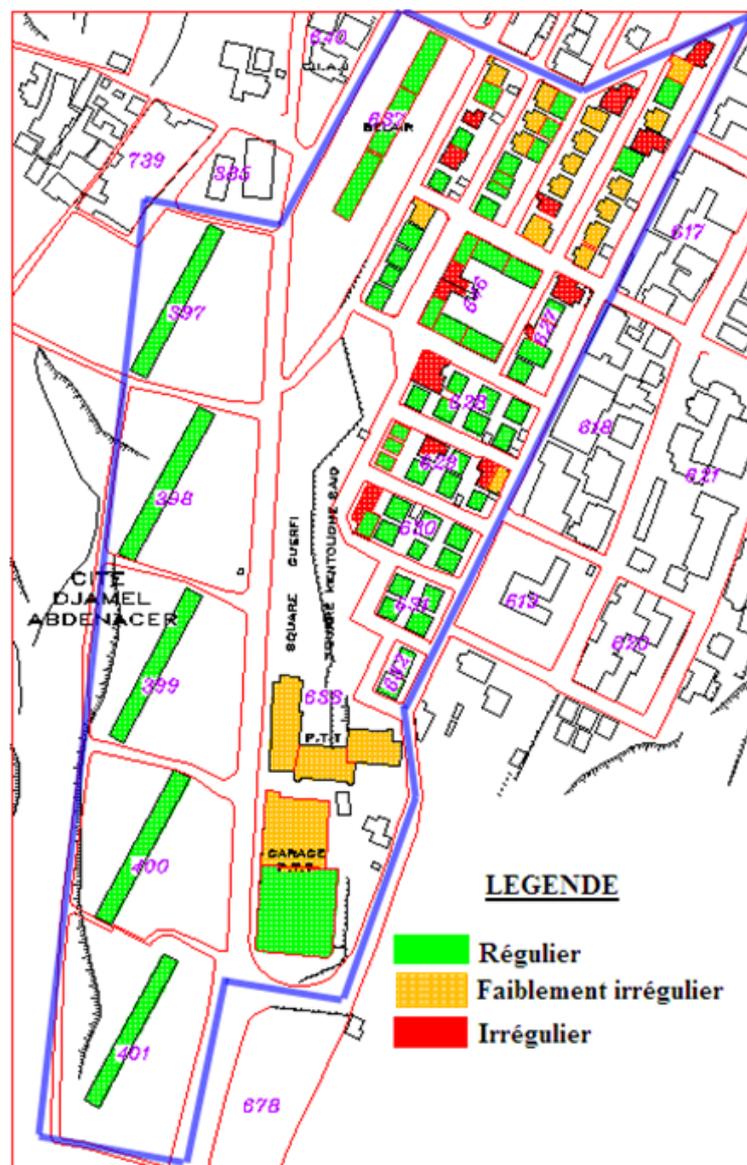


Figure III.16: la classification des constructions suivant la régularité

III.5.6. Position

La position du bâtiment par rapport aux autres revêt également une certaine importance. En effet, si deux bâtiments accolés l'un à l'autre n'ont pas la même hauteur d'étage et oscillent à des fréquences différentes des problèmes de martèlement peuvent apparaître et causer des dégâts importants.

Il est également important de relever la position relative des bâtiments lorsque ceux-ci sont accolés. En effet, les bâtiments situés dans un angle ou en bout de bloc sont plus vulnérables, car leurs déplacements sont moins entravés. La figure (III.17) récapitule les données concernant la position des constructions les unes par rapport aux autres.

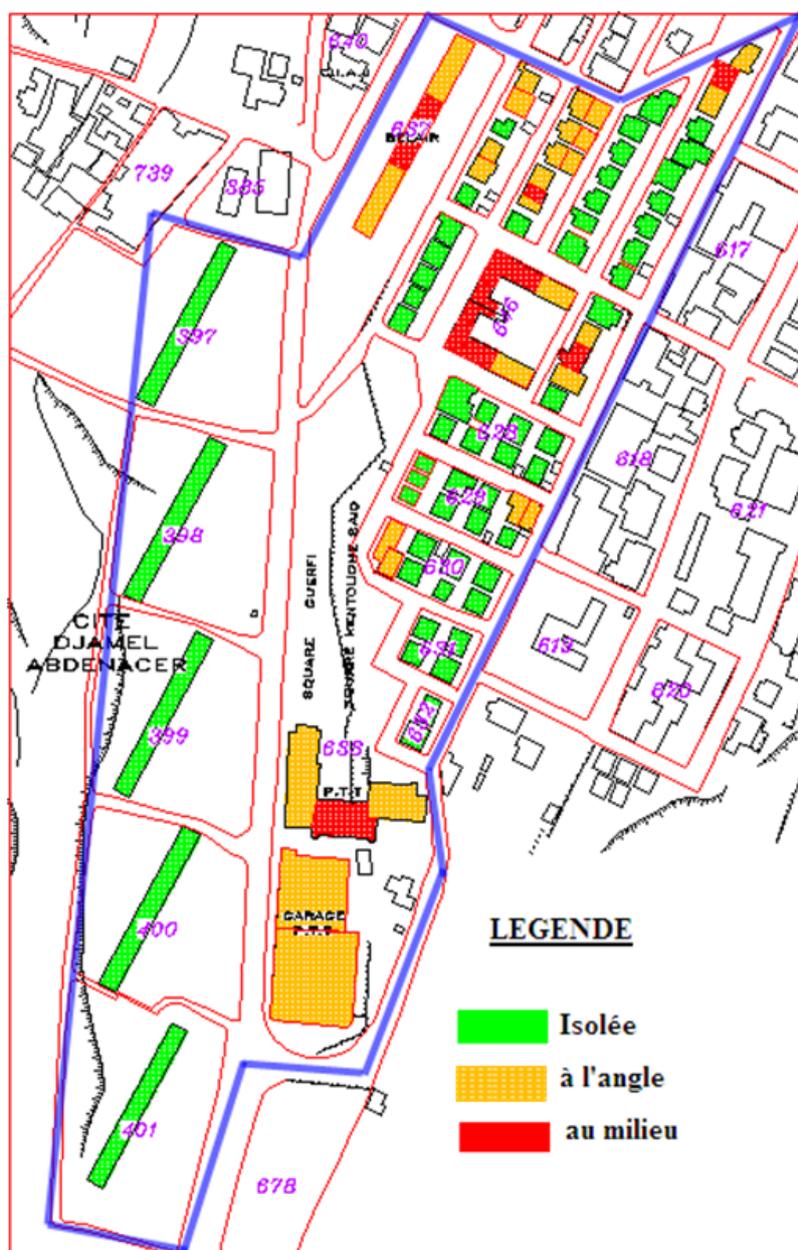


Figure III.17: la classification des constructions suivant la position

III.6. VULNERABILITE SISMIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

Cette phase nous permet, après avoir traité, trié et classé nos données, d'analyser la vulnérabilité des bâtiments de la zone d'étude face à un tremblement de terre. Pour ce faire, nous avons utilisé une méthode de calcul (RISKUE). Grâce à cette méthode de calcul, nous avons atteint l'objectif principal de notre travail : estimer la vulnérabilité sismique. En effet cette méthode de calcul a permis de calculer un indice de vulnérabilité puis de déterminer les dommages qu'un séisme d'une intensité donnée provoquerait.

La Figure (III.20) présente les résultats de l'évaluation des indices de vulnérabilités (IV). A titre de rappel, l'indice est ici présenté sous une valeur moyenne ($IV^* = IV$) et est compris entre 0 pour une vulnérabilité nulle à 1 pour une vulnérabilité sismique maximum. Cet indice fournit un premier ordre d'idée des bâtiments ou quartier les plus vulnérables, mais à lui seul il n'est pas suffisant pour caractériser un bâtiment d'un point de vue sismique. En effet, il est utilisé comme paramètre pour le calcul du degré de dommage avec un séisme d'intensité donné.

Ces indices sont tirés d'un traitement statistique des données affectant la vulnérabilité énumérée précédemment. Etant donné que tous les paramètres n'ont pas la même importance, des coefficients (w_i) sont attribués à chacun des paramètres de façon à pondérer le résultat (Voir tableau III.5). Par conséquent l'indice de vulnérabilité :

$$IV = \sum_i IV_i \cdot w_i$$

Dans notre cas, trois classes sont définies : classe A, B et C. La moins vulnérable est la classe A, elle traduit une bonne résistance de ce paramètre à l'action sismique, la plus vulnérable est la classe C, qui traduit un mauvais comportement aux effets du séisme, tandis que la classe B représente la situation intermédiaire.

Tableau III.5 : les indices de vulnérabilité proposés pour chaque paramètre en fonction de la classe

N°	Eléments	IV		
		Classe A	Classe B	Classe C
1	Matériau de construction	Béton armé = 0.02	Maçonnerie = 0.09	0.17
2	Etat général	0.02	0.11	0.17
3	Année de construction	0.02	0.09	0.13
4	Type de sols	0.04	0.06	0.09
5	Hauteur	0.04	0.06	0.09
6	Régularité en plan	0.04	0.06	0.09
7	Régularité en élévation	0.04	0.06	0.09
8	Position de la construction	0.04	0.06	0.09
9	Topographie	0.04	0.06	0.09

En fonction de la valeur de IV calculée, on définit la classe à laquelle appartient la structure en se référant au tableau (III.6) suivant :

Tableau III.6 : classification des structures en fonction de leur IV

Classe	Verte	Orange	Rouge
IV	[0 – 0.5]] 0.5 – 0.8]] 0.8 – 1.0]

L'analyse se poursuit par le calcul du dommage pour un bâtiment, causé par un séisme d'intensité donnée. Ce dommage **d** se détermine sur la base d'une relation empirique entre l'indice de vulnérabilité sismique **IV** et l'intensité **I** de séisme selon l'échelle MSK :

$$d = 2.5 \cdot [1 + \tanh ((I + 6.25 \cdot IV - 13.1) / 2.3)]$$

I : l'intensité selon l'échelle MSK

IV : Indice de vulnérabilité sismique du bâtiment

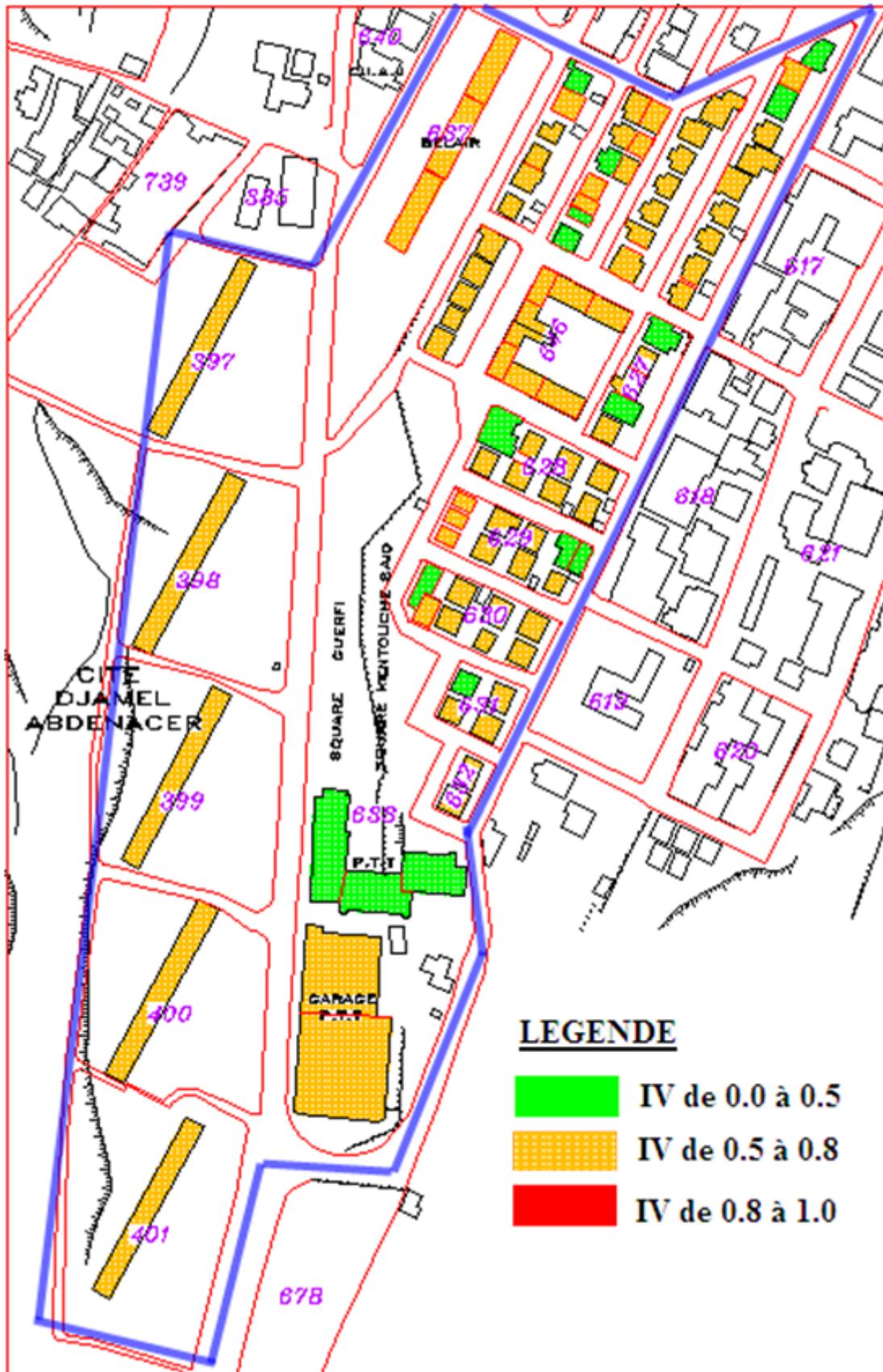


Figure III.20 : Les indices de vulnérabilité (IV) selon la méthode RiskUE.

III.7.CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté deux méthodes d'estimation de la vulnérabilité sismique. La première est globale et montre le risque sismique à grand échelle, alors que la deuxième est plus détaillée estimant la vulnérabilité pour une partie du tissu urbain de la ville de Constantine. La principale caractéristique distinctive de cette dernière, réside dans la possibilité d'une description de la qualité sismique des bâtiments, capables de tenir compte des configurations possibles, qui peuvent être estimées avant et après un séisme.

Les paramètres choisis sont reconnus comme les plus influents, pour le comportement des bâtiments vis-à-vis du séisme. Une pondération de ces paramètres a été proposée, sur cette base un calcul de l'indice de vulnérabilité a été effectué et aussi une classification des structures a été donnée permettant de juger de la capacité de la structure à résister ou pas à un séisme donné.

4^{ème} CHAPITRE :

L'ETUDE D'UN BATIMENT A RISQUE SPECIAL

IV.1. INTRODUCTION

Dans le cadre de la protection des ouvrages à risque spécial de la ville de Constantine, on va étudier la vulnérabilité au séisme de l'unité principale d'intervention de la protection civile de la nouvelle ville "ALI MENDJELI" qui est l'une des ouvrages stratégiques devant rester opérationnelle immédiatement après un tremblement de terre.

Les différentes étapes de l'étude vont concerner d'abord une expertise et une vérification in-situ des différents éléments de la structure, une vérification de la structure suivant le code actuel (RPA99 version 2003), un calcul de la capacité de l'ouvrage et de la demande générée par des accélérogrammes des séismes, défini ci-après.

IV.2. DESCRIPTION ET EXPERTISE DE L'OUVRAGE

IV.2.1. Description de l'ouvrage

L'unité principale d'intervention de la protection civile de la nouvelle ville "ALI MENDJELI" est composée de deux (02) blocs séparés par un joint de dilatation de 05 cm comme schématisé ci-après (voir figure IV.3). Cet ouvrage a été construit en 2009.

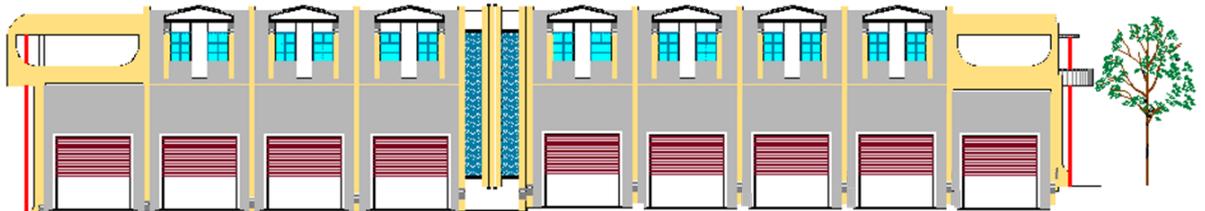


Figure IV.1 : façade du bâtiment

Ce bâtiment est constitué d'une ossature en béton armé auto-stable, avec un remplissage en maçonnerie rigide.

Les deux blocs sont constitués de deux niveaux dont la hauteur est de 5.50m pour le 1^{er} niveau et de 4.00m pour le second (voir figure IV.2), avec une terrasse inaccessible.

L'ouvrage ne présente aucun décrochement ni en élévation, ni en plan.

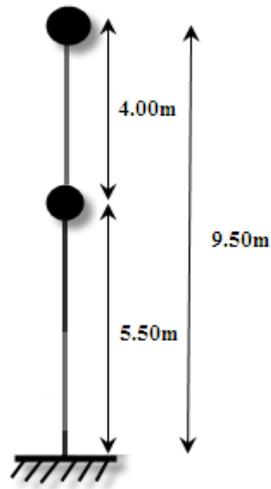


Figure IV.2 : modèle brochette du bâtiment

La surface du bâtiment en plan est de 577m^2 , soit 11.90 m de largeur et 48.30 m de longueur (figure IV.3).



Figure IV.3 : vue en plan du bâtiment

Le bloc 01 est composé d'une ossature en portiques autostables en béton armé avec des portiques dans les deux sens. Il comporte trois travées de (4.75, 2.00, 4.75) m dans le sens transversal et cinq travées de 5.00 m dans le sens longitudinal (voir figure IV.4).

Le plancher est en corps creux de (16+4) cm d'épaisseur supporté par des poutres de (30x40) cm^2 dans les deux sens. Les poteaux ont les mêmes dimensions (35x40) cm^2 . Le revêtement des planchers est en carrelage, les murs extérieurs ainsi que les cloisons internes sont en brique.

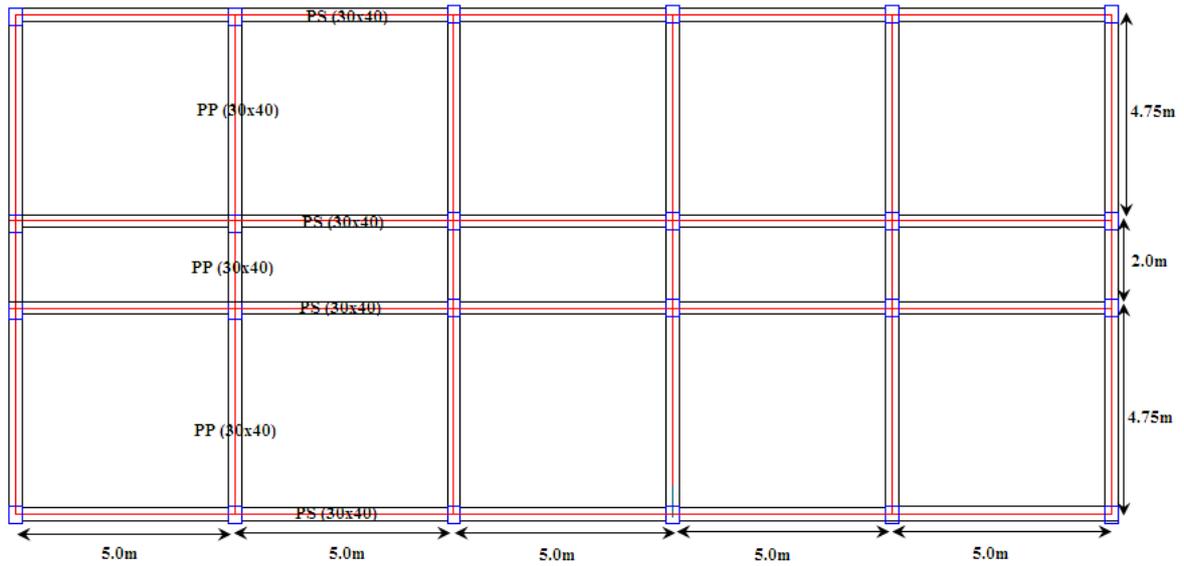


Figure IV.4 : Vue en plan du Bloc 01

Le bloc 02 est composé d'une ossature en portiques autostables en béton armé avec des portiques dans les deux sens. Il comporte trois travées de (4.75, 2.00, 4.75) m dans le sens transversal et cinq travées de (5.00, 5.00, 5.00, 5.00, 2.90) m dans le sens longitudinal (voir figure IV.5).

Le plancher est en corps creux de (16+4) cm d'épaisseur supporté par des poutres de (30x40) cm² dans les deux sens. Les poteaux ont les mêmes dimensions (35x40) cm². Le revêtement des planchers est en carrelage, les murs extérieurs ainsi que les cloisons internes sont en brique.

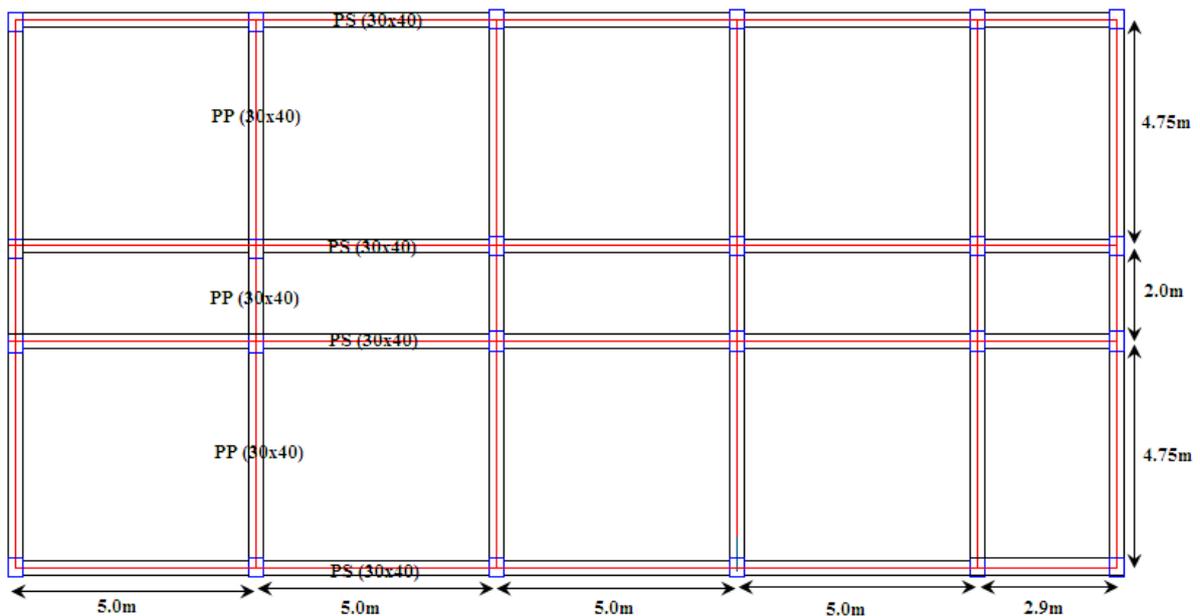


Figure IV.5 : Vue en plan du Bloc 02

IV.2.2. Expertise

- **Superstructure :**

Suite aux différentes visites d'expertises effectuées sur site et vu que le bâtiment est nouveau, aucun désordre sur les éléments structuraux et non structuraux des blocs n'a été constaté.

- **Sol et fondations :**

L'ouvrage est implanté à la nouvelle ville ALI MENDJELI UV09 (Unité de voisinage 09) à proximité de l'hôpital militaire, le terrain présente une légère déclivité. Le rapport du sol ne mentionne rien sur la stabilité du terrain, ni sur la présence des eaux souterraines ou des cavités.

On se basant sur les plans, les blocs sont fondés sur un système de semelles isolées de différentes dimensions à une profondeur de 1.50m, liées entre elles par des longrines de (30x40) cm² de section (voir figure IV.6 / IV.7).

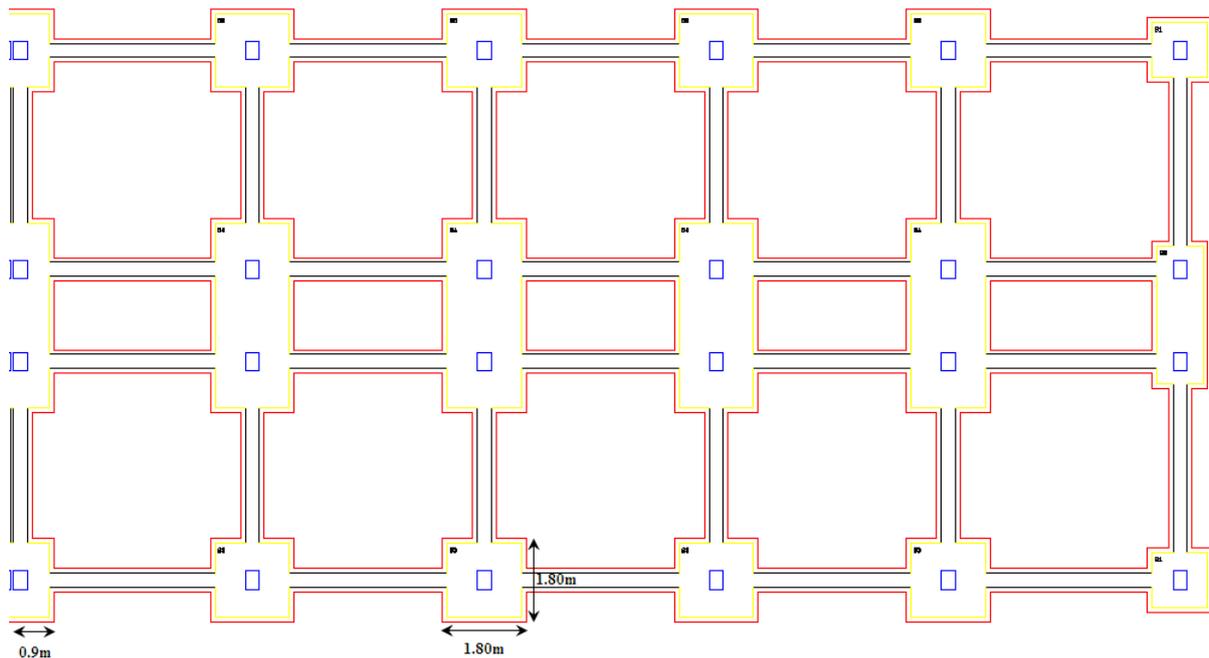


Figure IV.6 : Plan de fondations du Bloc01

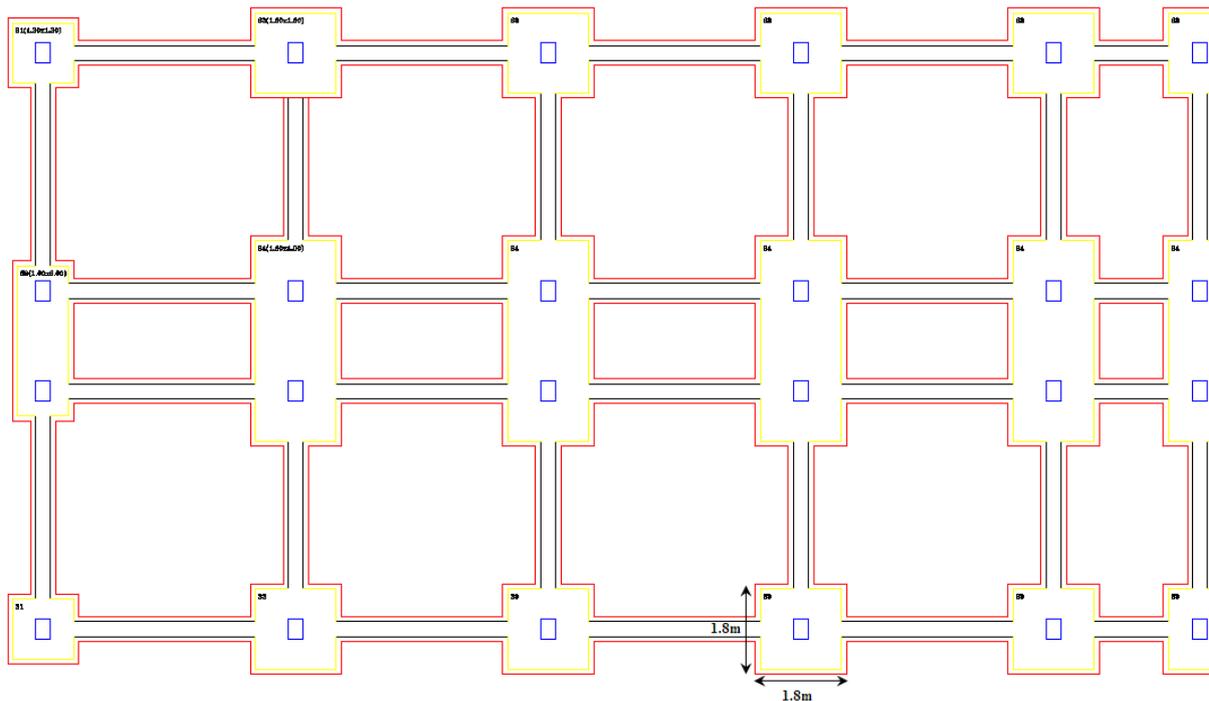


Figure IV.7 : Plan de fondations du Bloc2

- **Modélisation du site :**

Le laboratoire des travaux publics de l'est (LTPEst) a procédé à la réalisation de six sondages carottés à une profondeur allant jusqu'à 12m.

A partir des sondages effectués et les différentes coupes géologiques, nous avons défini une classe principale de profils schématisés comme suit (figure IV.8) :

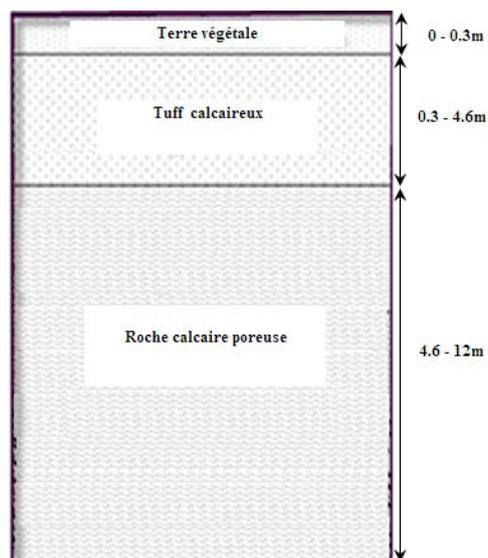


Figure IV.8 : Profil type du sol de fondation

D'après l'étude géotechnique faite par le LTPEst en se basant sur les résultats des essais effectués, le site est classé comme ferme (catégorie S2) selon le RPA99/2003.

IV.3. PARAMETRES DE L'ANALYSE DYNAMIQUE NON-LINEAIRE

Dans le but de simuler au mieux la réponse dynamique des différents blocs du bâtiment en question, trois enregistrements sismiques, qui sont des accélérogrammes de référence, ont été choisis du fait de leurs richesses en termes de fréquences et qui présentent une bande large de contenus fréquentiels. Ces accélérogrammes sont les suivants :

- Un séisme enregistré à grande distance de la source représenté par la composante N-S de l'accélérogramme du séisme de Monténégro (1979) enregistré à Ulcinj (ex Yougoslavie).
- Un calcul similaire avec la composante N-S de l'accélérogramme d'El-Centro (1940 USA).
- Un séisme enregistré à faible distance de la source, représenté par la composante N-S de l'accélérogramme du séisme de Chenoua (1989) enregistré à Cherchell (distance =15 Km, M=6).

L'analyse dynamique a été faite pour deux niveaux d'intensité sismique. Le niveau d'accélération maximum au sol a été donné en fonction de la période de retour du séisme probable considéré, compte tenu de la méthodologie arrêtée pour l'étude de vulnérabilité des bâtiments stratégiques.

Tableau IV.1 : Les accélérations au sol en fonction de la période de retour.

	100 ans	500 ans	
Proche	0.15 g	0.25g	Cherchell
Eloigné	0.15 g	0.25g	Ulcinj et El-Centro

IV.3.1. CRITERES DE SECURITE

Les critères de sécurité fixés pour les deux niveaux d'intensité sismique choisis sont :

- **1^{er} niveau** : Pour un séisme **modéré** dont la période de retour est de 100 ans, la structure ne doit pas subir de dommages structurels. Le bâtiment doit rester fonctionnel immédiatement après le séisme sans nécessiter de réparation ou de renforcement. Pour cela, la structure doit avoir un comportement dans le domaine élastique défini par la loi de comportement (voir figure IV.10).
- **2^{ème} niveau** : Pour un séisme **majeur** dont la période de retour est de 500 ans, la structure peut avoir un comportement non-linéaire dans ce cas. Les dommages subis par les

éléments structuraux doivent rester acceptables et réparables pour ne pas compromettre l'état de service du bâtiment après le séisme.

Pour vérifier et satisfaire les critères de sécurité mentionnés ci-dessus, il y a lieu d'évaluer le niveau des sollicitations et des déplacements engendrés par les enregistrements sismiques et la capacité en résistance et en déformabilité de la structure. Dans ce but, plusieurs analyses et corrélations ont été établies et comparées en évaluant :

- Le comportement statique et dynamique des différents blocs du bâtiment en appliquant le Règlement Parasismique Algérien RPA99/version2003 ;
- La capacité en résistance et en déplacement des différents blocs du bâtiment en utilisant le programme de calcul UARCS ;
- La réponse dynamique non-linéaire des différents blocs du bâtiment calculée par le programme DRABS.

IV.3.2. ANALYSE STATIQUE ET DYNAMIQUE

L'analyse statique et dynamique des blocs de l'ouvrage en question (voir figure IV.9) a été calculé en utilisant le logiciel de calcul ETABS version 9.6.0, dans le but de déterminer les efforts normaux "N", et les efforts tranchants "T" sous l'effet des combinaisons statiques et dynamiques en utilisant le spectre de calcul correspondant au Règlement Parasismique Algérien RPA99/version2003. Les caractéristiques modales de vibrations des deux blocs du bâtiment ont été considérées.

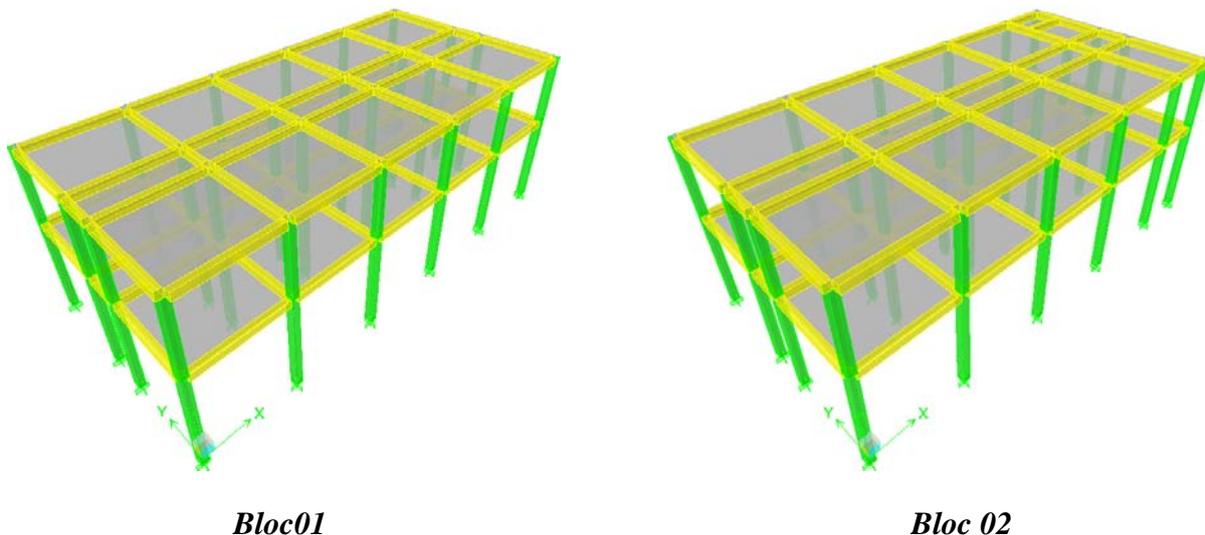


Figure IV.9 : Vue en 3D des deux blocs du bâtiment après modélisation

- **Charges Permanentes et Surcharges d'exploitations :**

Pour l'estimation des charges permanentes et surcharges d'exploitation, les valeurs suivantes ont été considérées :

Tableau IV.2 : Charges et Surcharges

Planchers en corps creux	Charges Permanentes G (KN/m ²)	Surcharges d'Exploitation Q (KN/m ²)
Etage courant	5.10	2.50
Terrasse inaccessible	5.70	1.00

- **Caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés :**

Béton : Résistance à la compression : $f_{c28} = 20$ MPa

Contrainte de traction : $f_{t28} = 1.8$ MPa

Déformation élastique : $\varepsilon_e = 2$ ‰

Déformation ultime : $\varepsilon_u = 3.5$ ‰

Résistance de calcul du béton : $\sigma_{bc} = 12$ MPa

Aciers : Aciers longitudinaux FeE40 : $f_e = 400$ MPa

Déformation élastique : $\varepsilon_e = \frac{f_e}{\gamma_s E_s} = 2$ ‰

Déformation ultime : $\varepsilon_u = 10$ ‰

Les aciers utilisés sont des aciers à haute adhérence FeE40 pour les armatures longitudinales et transversales.

IV.3.3. Analyse Modale

Les résultats présentés dans le tableau IV.3 montrent les modes de vibrations où leur nombre est en fonction des facteurs de participation massique qui doivent atteindre au moins 90% de la masse totale de la structure, ou bien retenir un nombre de modes $K \geq 3\sqrt{N}$ (N : nombre d'étages) et $T_K \leq 0.20$ sec.

Tableau IV.3 : Facteur de participation massique

Bloc 01		Facteur de participation massique (%)					
Mode	Période	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	0.679011	97.2711	0	0	97.2711	0	0
2	0.608716	0	96.943	0	97.2711	96.943	0
3	0.567523	0	0	0	97.2711	96.943	0
4	0.191903	2.7289	0	0	100	96.943	0
5	0.172009	0	3.057	0	100	100	0
6	0.162336	0	0	0	100	100	0
Bloc 02		Facteur de participation massique (%)					
Mode	Période	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	0.645625	97.4785	0	0	97.4785	0	0
2	0.594688	0.0001	87.8225	0	97.4786	87.8225	0
3	0.535036	0.0002	9.1276	0	97.4788	96.9501	0
4	0.183158	2.5212	0	0	100	96.9501	0
5	0.168391	0	2.6901	0	100	99.6402	0
6	0.153132	0	0.3598	0	100	100	0

D'après les résultats obtenus pour les deux blocs, nous remarquons que le comportement modal est prédominé par des modes de vibration fondamentaux de translation.

IV.3.4. Analyse par la Méthode Statique Equivalente

La force statique équivalente selon le code parasismique en vigueur (RPA99 version 2003) sera déterminée en fonction de la catégorie du bâtiment, de sa période propre de vibration, et de son poids :

Conformément au règlement parasismique Algérien RPA99 version 2003, l'effort tranchant global à la base est évalué comme suit :

$$V = \frac{ADQ}{R} W$$

Où :

A : Coefficient d'accélération de zone ;

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

Q : Facteur de qualité ;

R : Coefficient de comportement global de la structure ;

• **Bloc 01**

$A = 0.25$ groupe d'usage 1A, zone IIa

$R = 3.5$ Contreventement par portiques.

$T_x = 0.171s$ et $T_y = 0.2527 s$

$D_x = D_y = 2.2$

$Q_x = 1.15$; $Q_y = 1.20$

$$W = \sum_{i=1}^5 W_i = 6160.23KN$$

La force sismique totale, à la base de la structure, et dans les deux directions latérales est de :

$$V_x = 1113.24 \text{ KN}; V_y = 1161.64 \text{ KN}$$

$$0.8V_x = 890.59 \text{ KN} < V_{\text{etabs}} = 906.31 \text{ KN} \quad ; \quad 0.8V_y = 929.31 \text{ KN} < V_{\text{etabs}} = 971.76 \text{ KN}$$

Calcul de déplacements : $\delta = R \delta_{ek} \leq 1.0\% h$.

Etage2 : $\delta_x = R \delta_{ek} = 0.021 \leq 0.04$

$$\delta_y = R \delta_{ek} = 0.0189 \leq 0.04$$

Etage1 : $\delta_x = R \delta_{ek} = 0.0528 \leq 0.055$

$$\delta_y = R \delta_{ek} = 0.045 \leq 0.055$$

• **Bloc 02**

$A = 0.25$ groupe d'usage 1A, zone IIa

$R = 3.5$ Contreventement par portiques.

$T_x = 0.1786s$ et $T_y = 0.2527 s$

$D_x = D_y = 2.2$

$Q_x = 1.15$; $Q_y = 1.20$

$$W = \sum_{i=1}^5 W_i = 5778.90KN$$

La force sismique totale, à la base de la structure, et dans les deux directions latérales est de :

$$V_x = 1044.33 \text{ KN}; V_y = 1089.73 \text{ KN}$$

$$0.8V_x = 835.46 \text{ KN} < V_{\text{etabs}} = 876.75 \text{ KN} \quad ; \quad 0.8V_y = 871.79 \text{ KN} < V_{\text{etabs}} = 898.45 \text{ KN}$$

Calcul de déplacements : $\delta = R \delta_{ek} \leq 1.0\% h$.

Etage2 : $\delta_x = R \delta_{ek} = 0.0189 \leq 0.04$

$\delta_y = R \delta_{ek} = 0.0178 \leq 0.04$

Etage1 : $\delta_x = R \delta_{ek} = 0.0497 \leq 0.055$

$\delta_y = R \delta_{ek} = 0.042 \leq 0.055$

IV.4. CAPACITES DE RESISTANCE ET DE DEFORMABILITE

En tenant compte des objectifs d'estimation de la vulnérabilité et des décisions à prendre quant à la sécurité des structures des bâtiments stratégiques, nous considérons que l'analyse par la méthode dite "approche par la capacité" en force et en déformation de la structure ainsi que sa limite de déformation, demeure la plus appropriée.

Cette méthode prend en considération les caractéristiques réelles de résistance et de déformabilité à l'état élastique et à l'état plastique de la structure suivant son comportement respectivement dans les domaines élastique et post-élastique. Les paramètres de base nécessaires à l'analyse sont :

- Les caractéristiques géométriques des éléments de la structure ;
- Les armatures dans le cas d'une structure en béton armé ;
- Les caractéristiques des matériaux des éléments porteurs ;
- Les charges verticales sous sollicitations dynamiques.

Ces paramètres influent considérablement quant à l'évaluation de la capacité limite de la structure des différents blocs. En effet le programme UARCS permet de calculer la capacité portante en effort et en déplacement de chaque élément et par conséquent de chaque étage de la structure.

La capacité de la structure sera en fonction des efforts normaux obtenus à chaque élément porteur de la structure.

Les différents résultats concernant la capacité relative à chaque bloc seront présentés en terme de :

- Effort tranchant à l'état limite élastique Q_y ;
- Effort tranchant à l'état limite ultime Q_u ;
- Déplacement à l'état limite élastique δ_y ;
- Déplacement à l'état limite ultime δ_u ;
- Rigidité K ;

- Ductilité $\mu_{cap} = \frac{\delta_u}{\delta_y}$

$$K_1 = \frac{Q_y}{\delta_y}$$

$$K_2 = \frac{Q_u - Q_y}{\delta_u - \delta_y}$$

$$Lp = \frac{K_2}{K_1}$$

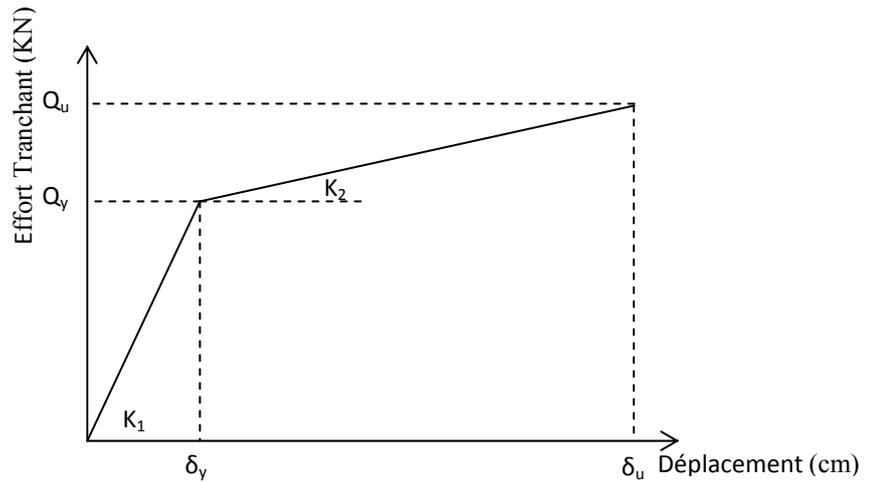


Figure IV.10 : Courbe capacitaire bilinéaire

K_1 : Rigidité dans le domaine élastique

K_2 : Rigidité dans le domaine plastique

Lp : Ligne plastique

Les résultats obtenus par cette méthode (l'approche de capacité) serviront comme données pour l'élaboration du modèle utilisé dans l'analyse dynamique destinée à étudier les effets des séismes réels. La réponse de la structure exprimée en termes de déplacement ou en ductilité est comparée à la capacité de la structure afin de définir l'état réel de celle-ci. Les relations suivantes peuvent être définies comme suit :

- Capacité en ductilité : $\mu_{cap} = \frac{\delta_u}{\delta_y}$

- Demande en ductilité : $\mu_{req} = \frac{\delta_{req}}{\delta_y}$ avec : δ_{req} est le déplacement demandé de la structure.

- Si $\mu_{req} \leq 1$, la structure se comporte dans le domaine élastique ;

- Si $1 < \mu_{req} \leq \mu_{cap}$, la structure se comporte dans le domaine post-élastique ;

- Si $\mu_{cap} \leq \mu_{req}$, la structure est dans l'état de rupture.

L'analyse a été faite dans les deux directions X-X, et Y-Y.

Le tableau IV.4 résume la capacité globale de chaque niveau de la structure.

Tableau IV.4 : Capacités globales

Protection civile nouvelle ville (BLOC 01) Sens (X-X)								
NIVEAU	M	K (KN/cm)	δ_y (cm)	Lp	δ_u (cm)	μ_{cap}	Qy (KN)	Qu (KN)
2	2.793	408.8	2.316	0.104	16.185	6.99	946.781	1536.424
1	3.367	177.8	4.795	0.081	21.9	4.57	852.551	1098.894
Protection civile Nouvelle ville (BLOC 01) Sens (Y-Y)								
NIVEAU	M	K (KN/cm)	δ_y (cm)	Lp	δ_u (cm)	μ_{cap}	Qy (KN)	Qu (KN)
2	2.793	544.3	2.005	0.107	13.725	6.84	1091.321	1773.895
1	3.367	236.6	4.151	0.084	18.66	4.49	982.127	1270.484

Protection civile nouvelle ville (BLOC 02) Sens (X-X)								
NIVEAU	M	K (KN/cm)	δy (cm)	Lp	δu (cm)	μcap	Qy (KN)	Qu (KN)
2	2.616	405.5	2.305	0.105	16.17	7.02	934.678	1525.014
1	3.163	175.6	4.75	0.084	21.892	4.61	834.1	1086.951
Protection civile nouvelle ville (BLOC 02) Sens (Y-Y)								
NIVEAU	M	K (KN/cm)	δy (cm)	Lp	δu (cm)	μcap	Qy (KN)	Qu (KN)
2	2.616	539.9	1.996	0.108	13.7	6.88	1077.64	1761.549
1	3.163	233.7	4.114	0.086	18.6	4.53	961.442	1253.489

IV.4.1. VERIFICATION DE L’EFFORT DE CISAILLEMENT

Cette corrélation est nécessaire afin d’évaluer le coefficient de sécurité vis-à-vis de l’effort tranchant pour chaque niveau de la structure calculée par le Code Parasismique Algérien RPA99 version 2003.

Le coefficient de sécurité $S = \frac{Q_u}{Q_{RPA}}$ doit être supérieur ou égal à **1.15**. Les figures (IV.11 à IV.14) et les tableaux (IV.5 à IV.8) récapitulent les résultats obtenus pour chaque bloc du bâtiment, selon les deux directions d’excitation.

Tableau IV.5 : Coefficients de sécurité ‘S’ en effort tranchant du Bloc 01 suivant (X-X)

NIVEAU	M	K (KN/cm)	Qy (KN)	Qu (KN)	Qcal	S=Qu/Qcal
2	2.793	408.8	946.7808	1536.42411	483.16	3.1799489
1	3.367	177.8	852.551	1098.89379	906.31	1.21249218

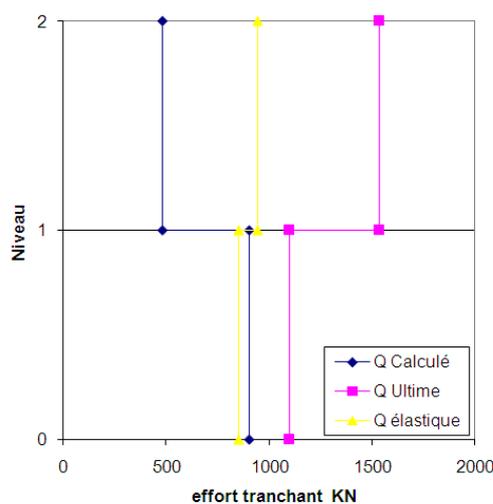


Figure IV.11 : La capacité et la demande selon le RPA en effort tranchant suivant (X-X)

Tableau IV.6 : Coefficients de sécurité ‘S’ en effort tranchant du Bloc 01 suivant (Y-Y)

NIVEAU	M	K (KN/cm)	Qy (KN)	Qu (KN)	Qcal	S=Qu/Qcal
2	2.793	544.3	1091.321	1773.895	522.35	3.40
1	3.367	236.6	982.127	1270.484	971.76	1.31

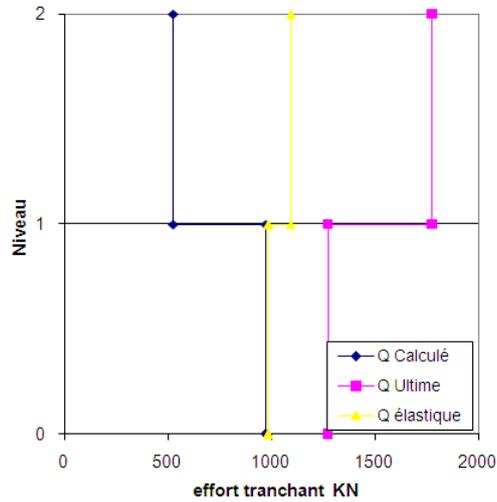


Figure IV.12 : La capacité et la demande selon le RPA en effort tranchant suivant (Y-Y)

Tableau IV.7 : Coefficients de sécurité ‘S’ en effort tranchant du Bloc 02 suivant (X-X)

NIVEAU	M	K (KN/cm)	Qy (KN)	Qu (KN)	Qcal	S=Qu/Qcal
2	2.616	405.5	934.678	1525.014	462.35	3.30
1	3.163	175.6	834.1	1086.951	876.75	1.24

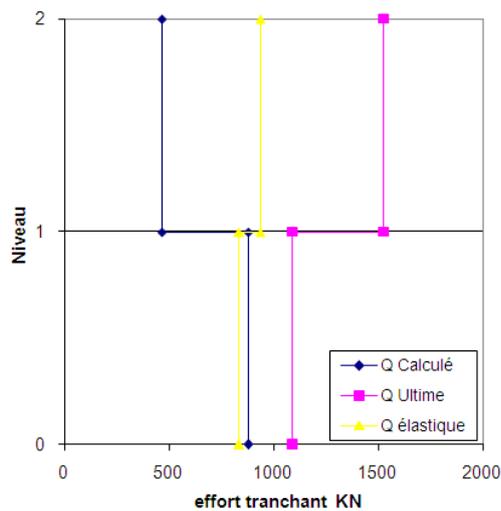
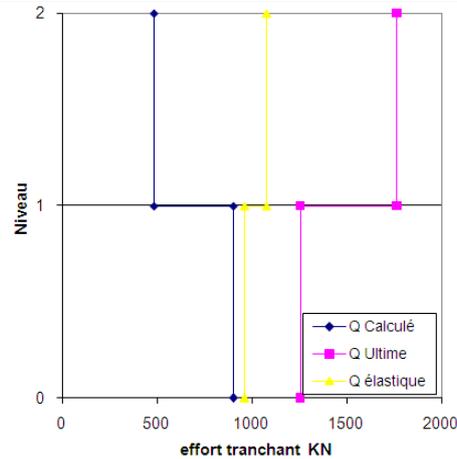


Figure IV.13 : La capacité et la demande selon le RPA en effort tranchant suivant (X-X)

Tableau IV.8 : Coefficients de sécurité 'S' en effort tranchant du Bloc 02 suivant (Y-Y)

NIVEAU	M	K (KN/cm)	Qy (KN)	Qu (KN)	Qcal	S=Qu/Qcal
2	2.616	539.9	1077.640	1761.549	481.14	3.661
1	3.163	233.7	961.442	1253.489	898.45	1.395

**Figure IV.14** : La capacité et la demande selon le RPA en effort tranchant suivant (Y-Y)

En examinant les valeurs du coefficient de sécurité « S » dans les tableaux (IV.5 à IV.8) et figures (IV.11 à IV.14) ci-dessus on trouve qu'il sont supérieur à la valeur limite '1.15' préconisée par le RPA.

Afin d'évaluer le niveau de sécurité de l'ouvrage de manière beaucoup plus détaillée, il est nécessaire de procéder à une analyse dynamique non-linéaire de la structure, sous les effets engendrés par des séismes réels dans le but de comparer ses résultats à ceux de la capacité déjà évaluée.

IV.5. ANALYSE DYNAMIQUE NON-LINEAIRE

Cette partie de l'étude permet de pousser l'analyse de la structure au delà du domaine linéaire élastique et ce, afin de simuler le comportement dynamique réel de la structure qui est en général, sous chargement cyclique important, non-linéaire. L'analyse est effectuée à l'aide du programme d'analyse des structures DRABS (Dynamic respons analysis of building structures), qui fait intervenir des enregistrements de séismes sélectionnés dans le but de tester la capacité des structures et leurs réponses lorsqu'elles sont excitées par des séismes donnés.

Le mécanisme de rupture considéré pour cette analyse est celui des poteaux forts poutres faibles (présence de rotules plastiques dans les poutres avant les poteaux).

La capacité en déplacement et en ductilité des différents niveaux de chaque bloc, sera comparée à celles demandée pour les enregistrements sélectionnés, ce qui permettra de connaître le comportement dynamique de la structure. L'analyse dynamique non-linéaire a été effectuée dans les deux directions X-X et Y-Y sous l'excitation des séismes de, Ulcinj, El Centro et Cherrhell.

- Les valeurs des déplacements ont été fixées, principalement, pour satisfaire les conditions d'état limite de service et dans le but de limiter les dommages pouvant survenir dans les éléments secondaires, surtout dans le cas où le nombre de ces derniers serait important ;
- Les valeurs de ductilités ont été fixées, principalement, pour satisfaire les conditions d'état limite ultime et dans le but de ne pas condamner tout le bâtiment, dans le cas où la réponse globale de la structure ou un de ses éléments serait très proche de sa capacité.

Séisme modéré : $A_{min} = 0.15g$

Capacité en déplacement (ou déformation inter étages maximale admise) :

$$\Delta_m = \left[\frac{H}{400} \& \frac{H}{300} \right]$$

Capacité en ductilité : $\mu_{req} = \frac{\delta_{req}}{\delta_y} \leq \mu_{cap} = 1.0 \text{ à } 1.25$ pour les portiques en béton

Séisme majeur : $A_{max} = 0.25g$

Capacité en déplacement (ou déformation inter étages maximale admise) :

$$\Delta_M = \left[\frac{H}{150} \& \frac{H}{125} \right]$$

Capacité en ductilité : $\mu_{req} = \frac{\delta_{req}}{\delta_y} \leq \mu_{cap} = 2.5 \text{ à } 3.0$ pour les portiques en béton

Pour satisfaire les différentes conditions citées ci-dessus, la réponse dynamique de la structure de chaque bloc doit être en dessous des limites calculées auparavant (c'est-à-dire, le minimum entre la valeur de la capacité calculée et la valeur admissible préconisée par la méthodologie).

La structure de chaque bloc soumise aux séismes mentionnés ci-dessus pour des pics d'accélération de 0.15g et 0.25g, s'est comportée différemment d'un séisme à un autre et dans les deux directions, tel que présenté dans ce qui suit.

IV.5.1. Résultat de l'Analyse Dynamique non Linéaire

Les résultats de cette analyse sont donnés dans les tableaux ci-dessous présentant la demande en déplacement et en ductilité des deux blocs du bâtiment.

Tableau IV.9 : Déplacements et ductilités donnés par l'analyse dynamique non-linéaire

<i>Bloc 01 (X-X)</i>						
Niveaux	Séismes	Déplacement inter-étages demandé (cm)		Ductilité demandée	Déplacement absolu (cm)	
		0.15g	0.25 g	0.25g	0.15g	0.25 g
2	Ulcinj	1.003	1.326	0.57	5.312	5.633
	El Centro	0.864	1.268	0.55	4.371	7.324
	Cherchell	0.558	0.931	0.40	3.186	5.31
1	Ulcinj	4.626	8.045	1.68	4.317	4.628
	El Centro	3.875	6.191	1.29	3.597	6.191
	Cherchell	2.635	4.391	0.92	2.635	4.391
<i>Bloc 01 (Y-Y)</i>						
Niveaux	Séismes	Déplacement inter-étages demandé (cm)		Ductilité demandée	Déplacement absolu (cm)	
		0.15g	0.25 g	0.25g	0.15g	0.25 g
2	Ulcinj	0.9	1.09	0.54	5.044	6.491
	El Centro	0.946	1.159	0.58	4.551	7.148
	Cherchell	0.45	0.751	0.37	2.243	3.738
1	Ulcinj	4.158	7.128	1.72	4.158	5.472
	El Centro	4.172	6.272	1.51	3.754	6.272
	Cherchell	1.967	3.278	0.79	1.878	3.129
<i>Bloc 02 (X-X)</i>						
Niveaux	Séismes	Déplacement inter-étages demandé (cm)		Ductilité demandée	Déplacement absolu (cm)	
		0.15g	0.25 g	0.25g	0.15g	0.25 g
2	Ulcinj	1.131	1.344	0.58	6.052	6.204
	El Centro	0.867	1.239	0.54	4.474	7.496
	Cherchell	0.528	0.88	0.38	3.06	5.1
1	Ulcinj	4.925	8.09	1.70	4.925	4.877
	El Centro	3.897	6.383	1.34	3.689	6.383
	Cherchell	2.533	4.221	0.89	2.533	4.221
<i>Bloc 02 (Y-Y)</i>						
Niveaux	Séismes	Déplacement inter-étages demandé (cm)		Ductilité demandée	Déplacement absolu (cm)	
		0.15g	0.25 g	0.25g	0.15g	0.25 g
2	Ulcinj	0.786	1.011	0.51	4.417	5.889
	El Centro	0.939	1.141	0.57	4.494	7.085
	Cherchell	0.437	0.728	0.36	2.085	3.476
1	Ulcinj	3.632	5.938	1.44	3.632	4.924
	El Centro	4.278	6.237	1.52	3.707	6.237
	Cherchell	1.889	3.149	0.77	1.755	2.926

IV.5.2. Vérification des déplacements par rapport au RPA 99/version 2003

Les déplacements donnés par l'analyse dynamique non-linéaire seront comparés aux déplacements limites inter-étages exigés par le RPA 99 version 2003.

Les déplacements relatifs d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents ne doivent pas dépasser les 1 % de la hauteur d'étage.

Tableau IV.10 : Vérification des déplacements par rapport au RPA99/2003

Bloc 01		Demande en déplacement (cm) Sens X-X	Demande en déplacement (cm) Sens Y-Y	Capacités en déplacement (RPA99/03) (cm)
Niveau	Séismes	0.25g	0.25g	0.01 H
2	Ulcinj	1.326	1.09	4.00
	El Centro	1.268	1.159	
	Cherchell	0.931	0.751	
1	Ulcinj	8.045	7.128	5.50
	El Centro	6.191	6.272	
	Cherchell	4.391	3.278	
Bloc 02		Demande en déplacement (cm) Sens X-X	Demande en déplacement (cm) Sens Y-Y	Capacités en déplacement (RPA99/03) (cm)
Niveau	Séismes	0.25g	0.25g	0.01 H
2	Ulcinj	1.344	1.011	4.00
	El Centro	1.239	1.141	
	Cherchell	0.88	0.728	
1	Ulcinj	8.09	5.938	5.50
	El Centro	6.383	6.237	
	Cherchell	4.221	3.149	

IV.5.3. Vérification des Critères de Sécurité Proposés par la Méthodologie de Capacité

IV.5.3.a. Vérification des déplacements

Tableau IV.11 : Comparaison des déplacements du bloc 01 dans le sens (X-X)

Bloc 01 (X-X)	Capacités en déplacements (cm)	Déplacement inter-étages admissibles (cm)		Déplacements demandés (cm)		
		Δ_m	Δ_M	Séismes	0.15g	0.25g
Niveaux	δ_u			Ulcinj		
2	16.185	[1 - 1.33]	[2.67 -3.2]	Ulcinj	1.003	1.326
				El Centro	0.864	1.268
				Cherchell	0.558	0.931
1	21.9	[1.37 - 1.83]	[3.67 -4.4]	Ulcinj	4.626	8.045
				El Centro	3.875	6.191
				Cherchell	2.635	4.391

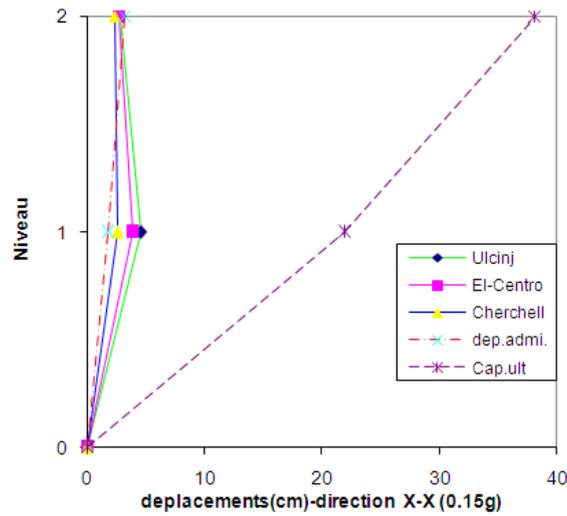


Figure IV.15 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 01 – $A_{max} = 0.15g$

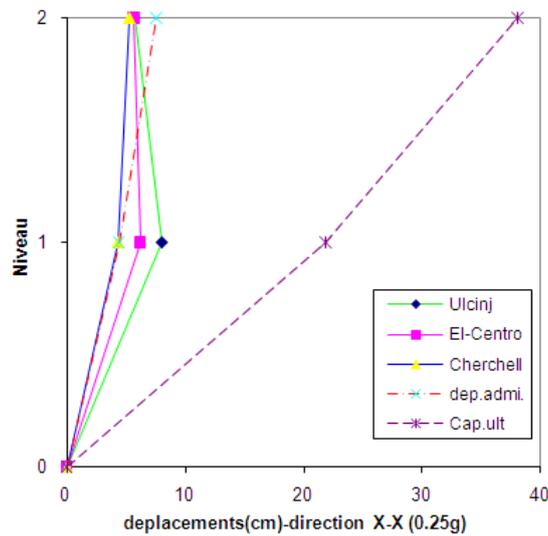


Figure IV.16 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 01 – $A_{max} = 0.25g$

Tableau IV.12 : Comparaison des déplacements du bloc 01 dans le sens (Y-Y)

Bloc 01 (Y-Y)	Capacités en déplacements (cm)	Déplacement inter-étages admissibles (cm)		Déplacements demandés (cm)		
		Δ_m	Δ_M	Séismes	0.15g	0.25g
Niveaux	δ_u					
2	13.725	[1 - 1.33]	[2.67 -3.2]	Ulcinj	0.9	1.09
				El Centro	0.946	1.159
				Cherchell	0.45	0.751
1	18.66	[1.37 - 1.83]	[3.67 -4.4]	Ulcinj	4.158	7.128
				El Centro	4.172	6.272
				Cherchell	1.967	3.278

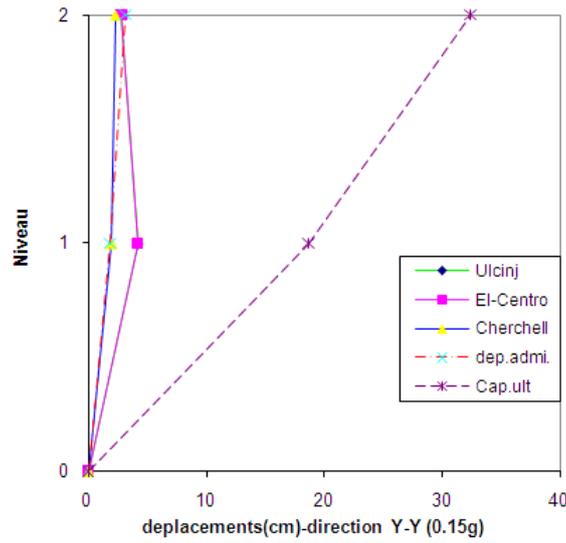


Figure IV.17 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 01 – $A_{max} = 0.15g$

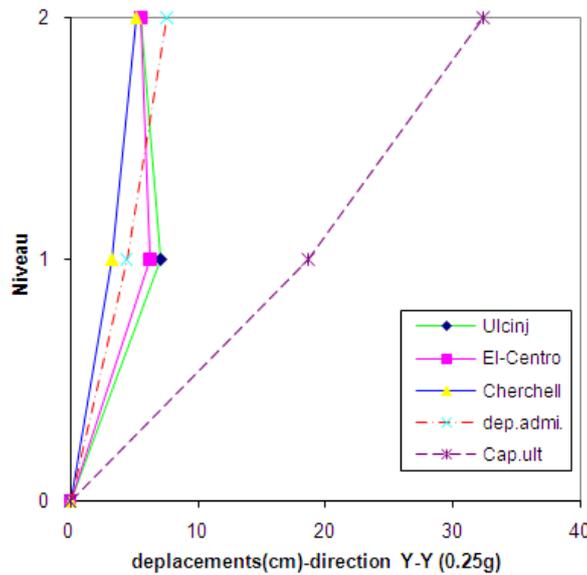


Figure IV.18 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 01 – $A_{max} = 0.25g$

Tableau IV.13 : Comparaison des déplacements du bloc 02 dans le sens (X-X)

Bloc 02 (X-X)	Capacités en déplacements (cm)	Déplacement inter-étages admissibles (cm)		Déplacements demandés (cm)		
		Δ_m	Δ_M	Séismes	0.15g	0.25g
Niveaux	δ_u					
2	16.17	[1 - 1.33]	[2.67 -3.2]	Ulcinj	1.131	1.344
				El Centro	0.867	1.239
				Cherchell	0.528	0.88
1	21.89	[1.37 - 1.83]	[3.67 -4.4]	Ulcinj	4.925	8.09
				El Centro	3.897	6.383
				Cherchell	2.533	4.221

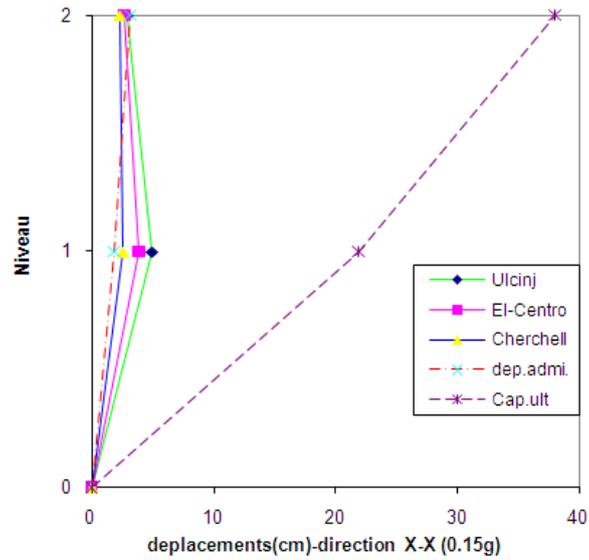


Figure IV.19 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 02 – $A_{max} = 0.15g$

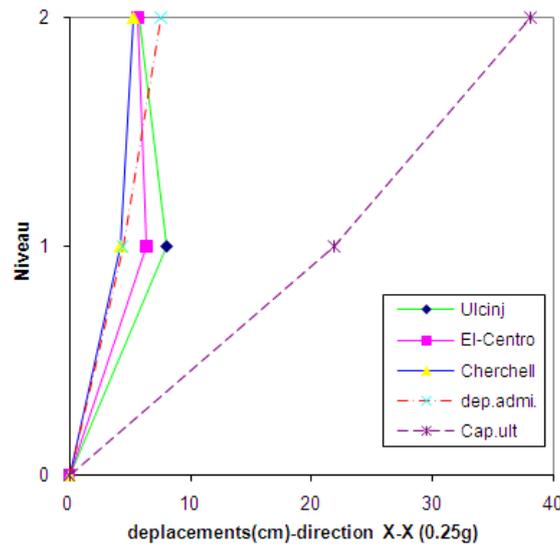


Figure IV.20 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 02 – $A_{max} = 0.25g$

Tableau IV.14 : Comparaison des déplacements du bloc 02 dans le sens (Y-Y)

Bloc 02 (Y-Y)	Capacités en déplacements (cm)	Déplacement inter-étages admissibles (cm)		Déplacements demandés (cm)		
		Δ_m	Δ_M	Séismes	0.15g	0.25g
Niveaux	δ_u					
2	13.725	[1 - 1.33]	[2.67 -3.2]	Ulcinj	0.786	1.011
				El Centro	0.939	1.141
				Cherchell	0.437	0.728
1	18.64	[1.37 - 1.83]	[3.67 -4.4]	Ulcinj	3.632	5.938
				El Centro	4.278	6.237
				Cherchell	1.889	3.149

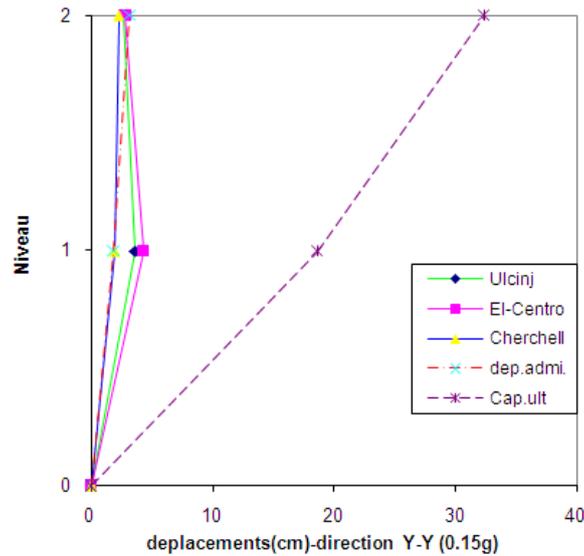


Figure IV.21 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 02 – $A_{\max} = 0.15g$

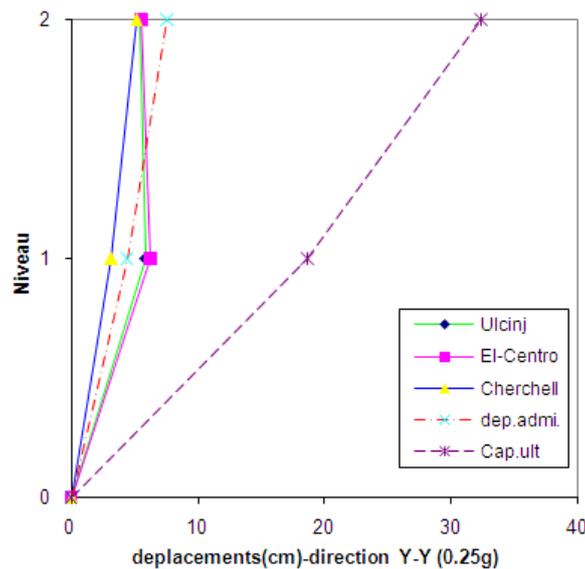


Figure IV.22 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 02 – $A_{\max} = 0.25g$

Interprétation des résultats

1. Sous séisme modéré :

Dans les deux directions et pour les différentes excitations, la réponse en déplacement des deux blocs dépasse la limite admissible au 1^{er} niveau.

2. Sous séisme majeur :

Dans les deux directions la réponse en déplacement des deux blocs dépasse la limite admissible au 1^{er} niveau pour les séismes d'Ulcinj et El-Centro.

IV.5.3.b. Vérification des ductilités

Tableau IV.15 : Comparaison des ductilités du bloc 01 sens (X-X)

Bloc 01 (X-X)						
Niveaux	Séisme	Ductilité demandée		Capacité en ductilité	Ductilité limite	
		$\mu_{req} = \frac{\Delta_{req}}{\Delta_y}$				
		0.15g	0.25g		0.15g	0.25g
2	Ulcinj	0.43307	0.57254	6.99	1.0 – 1.25	2.5 – 3.0
	El Centro	0.37306	0.54750			
	Cherchell	0.24093	0.40199			
1	Ulcinj	0.96475	1.67779	4.57	1.0 – 1.25	2.5 – 3.0
	El Centro	0.80813	1.29114			
	Cherchell	0.54953	0.91575			

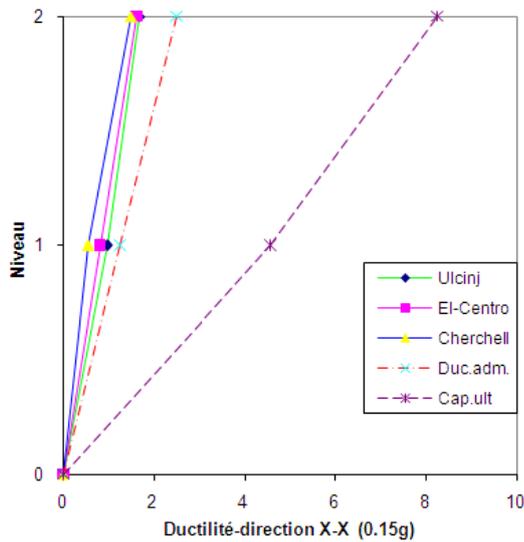


Figure IV.23 : Réponse en ductilité– $A_{max} = 0.15g$

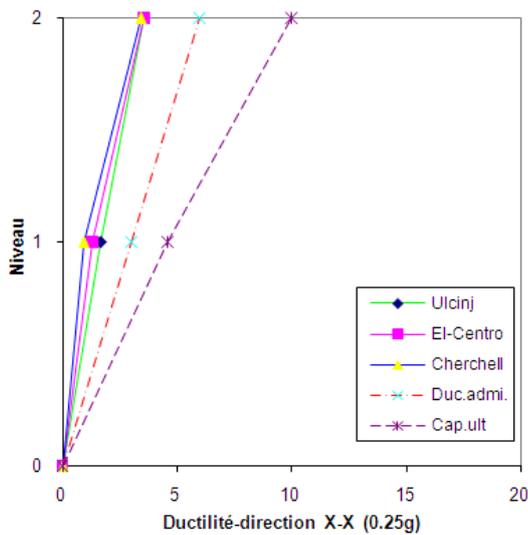


Figure IV.24 : Réponse en ductilité– $A_{max} = 0.25g$

Tableau IV.16 : Comparaison des ductilités du bloc 01 sens (Y-Y)

Bloc 01 (Y-Y)						
Niveaux	Séisme	Ductilité demandée		Capacité en ductilité	Ductilité limite	
		$\mu_{req} = \frac{\Delta_{req}}{\Delta_y}$			0.15g	0.25g
2	Ulcinj	0.44888	0.54364	6.84	1.0 – 1.25	2.5 – 3.0
	El Centro	0.47182	0.57805			
	Cherchell	0.22444	0.37456			
1	Ulcinj	1.00169	1.71718	4.49	1.0 – 1.25	2.5 – 3.0
	El Centro	1.00506	1.51096			
	Cherchell	0.47386	0.78969			

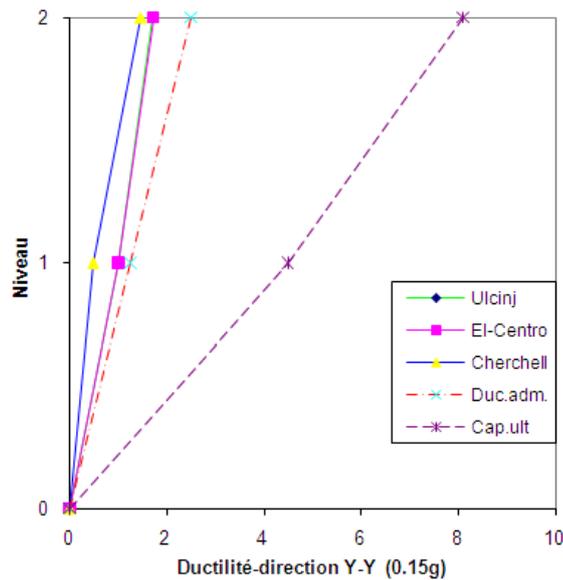


Figure IV.25 : Réponse en ductilité– $A_{max} = 0.15g$

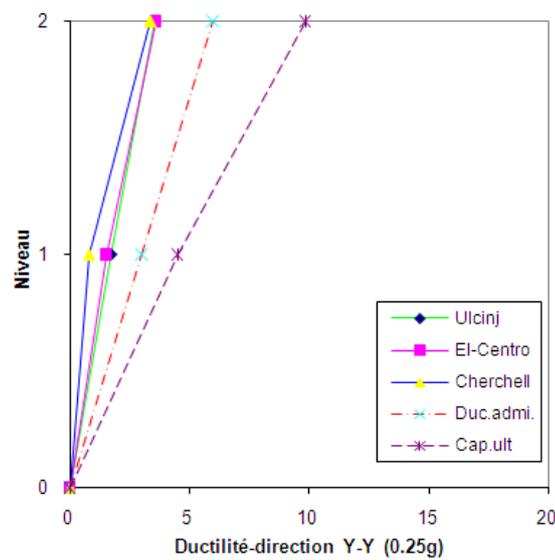


Figure IV.26 : Réponse en ductilité– $A_{max} = 0.25g$

Tableau IV.17 : Comparaison des ductilités du bloc 02 sens (X-X)

Bloc 02 (X-X)						
Niveaux	Séisme	Ductilité demandée		Capacité en ductilité	Ductilité limite	
		$\mu_{req} = \frac{\Delta_{req}}{\Delta_y}$				
		0.15g	0.25g		0.15g	0.25g
2	Ulcinj	0.49067	0.58308	7.02	1.0 – 1.25	2.5 – 3.0
	El Centro	0.37614	0.53753			
	Cherchell	0.22907	0.38178			
1	Ulcinj	1.03684	1.70316	4.61	1.0 – 1.25	2.5 – 3.0
	El Centro	0.82042	1.34379			
	Cherchell	0.53326	0.88863			

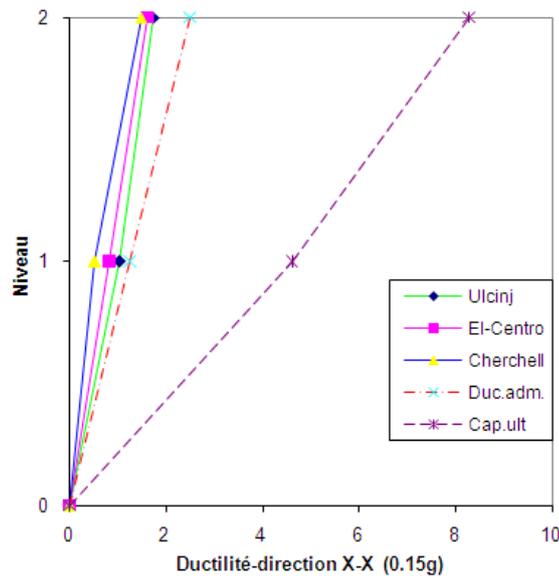


Figure IV.27 : Réponse en ductilité– $A_{max} = 0.15g$

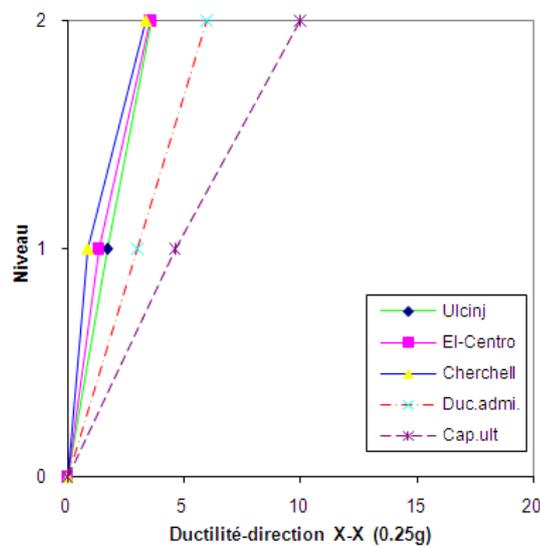


Figure IV.28 : Réponse en ductilité– $A_{max} = 0.25g$

Tableau IV.18 : Comparaison des ductilités du bloc 02 sens (Y-Y)

Bloc 02 (Y-Y)						
Niveaux	Séisme	Ductilité demandée		Capacité en ductilité	Ductilité limite	
		$\mu_{req} = \frac{\Delta_{req}}{\Delta_y}$				
		0.15g	0.25g		0.15g	0.25g
2	Ulcinj	0.39379	0.50651	6.88	1.0 – 1.25	2.5 – 3.0
	El Centro	0.47044	0.57164			
	Cherchell	0.21894	0.36473			
1	Ulcinj	0.88284	1.44336	4.53	1.0 – 1.25	2.5 – 3.0
	El Centro	1.03986	1.51604			
	Cherchell	0.45916	0.76544			

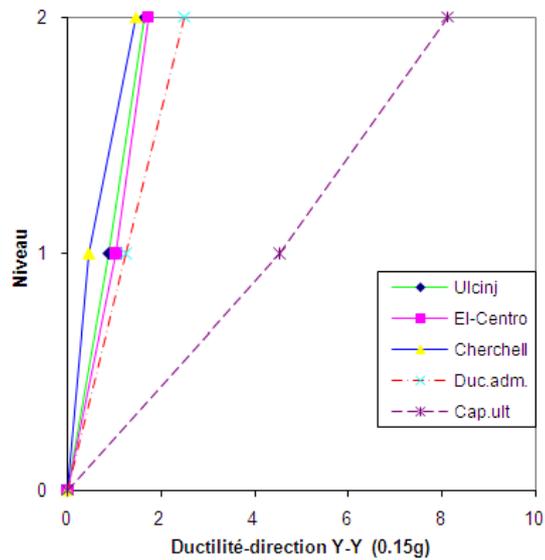


Figure IV.29 : Réponse en ductilité– $A_{max} = 0.15g$

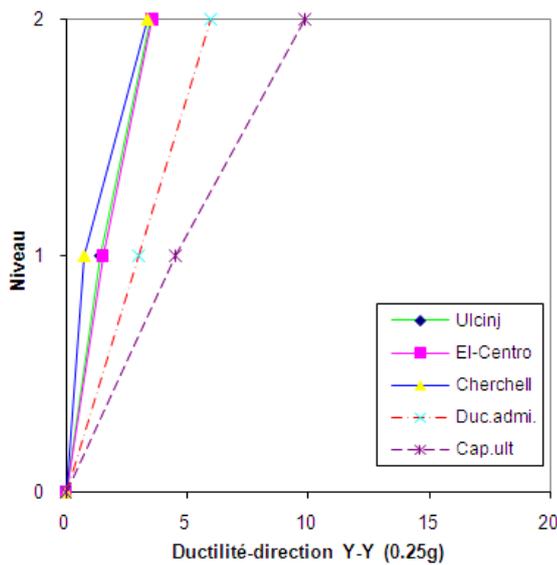


Figure IV.30 : Réponse en ductilité– $A_{max} = 0.25g$

Interprétation des résultats

1. Sous séisme modéré :

Pour les deux blocs et dans les deux directions et pour les différentes excitations, la réponse de la structure en termes de ductilité ne dépasse pas la limite admissible préconisée par la méthodologie.

2. Sous séisme majeur :

Pour les deux blocs et dans les deux directions et pour les différentes excitations, la réponse de la structure en termes de ductilité ne dépasse pas la limite admissible préconisée par la méthodologie.

IV.6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'étude de l'unité principale d'intervention de la protection civile de la nouvelle ville "ALI MENDJELI" a relevé les problèmes suivants :

L'analyse effectuée précédemment a mis en évidence une conception qui peut nuire au fonctionnement de l'ouvrage, compte tenu du groupe d'usage qui lui est assigné. Ceci est dû, essentiellement, à ce qui suit :

- La réponse des structures en déplacement relatif inter-étages et en ductilité est, généralement, au dessus des limites élastiques et ultimes pour les deux niveaux d'accélération (0.15g et 0.25g). Le dépassement des limites admissibles en déplacement ou en ductilité est enregistré surtout pour les accélérogrammes d'Ulcinj et d'El-Centro.

Le renforcement de ce bâtiment nécessite l'insertion des voiles et le chemisage des poteaux du fait que leurs sections sont insuffisantes pour reprendre toutes les sollicitations agissantes. Ces solutions s'avèrent difficiles du point de vue de conception.

En conclusion, l'unité principale d'intervention de la protection civile de la nouvelle ville "ALI MENDJELI" ne satisfait pas les conditions de résistance et de déformabilité préconisées par la méthodologie, compte tenu du groupe d'usage qui lui est assigné.

Ainsi, il est recommandé de déclasser l'ouvrage en changeant sa fonction de bâtiment stratégique en celle d'un ouvrage courant.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail nous avons mis en place une cartographie permettant une meilleure gestion du risque sismique de la ville de Constantine.

A cet égard, nous avons utilisé le modèle probabiliste de l'aléa sismique à partir de l'identification des sources sismiques qui peuvent influencer la sismicité dans la ville de Constantine.

Pour prémunir la ville de Constantine contre un séisme destructeur, il est nécessaire d'élaborer une cartographie des zones à risque. Pour l'atteinte de cet objectif nous avons pris en considération la combinaison de l'aléa sismique et des enjeux urbanistiques de la ville afin de trouver un bon compromis entre ces deux variables.

La méthode suivie consiste à déterminer la vulnérabilité sismique en trois niveaux d'étude : la vulnérabilité à grande et moyenne échelle en plus d'une étude détaillée d'un bâtiment important.

Les résultats obtenus offrent uniquement un aperçu des conséquences directes potentielles à un séisme. Actuellement, il est très difficile de prévoir tous les impacts indirects notamment ceux d'ordre social et financier.

RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVE

En recommandations, et afin de minimiser les pertes humaines et les dégâts matériels, nous proposons les actions suivantes :

- La mise en place d'un réseau de surveillance et de mesure des mouvements de terrain ;
- Expertise des bâtiments stratégiques (hôpitaux, écoles...)
- Etablissement d'une banque de données à l'échelle régional et national ;
- Etablissement d'une carte de micro-zonage sismique pour définir au mieux la sismicité de chaque quartier de la ville ;

- Multiplication des actions de sensibilisation auprès de l'ensemble des intervenants notamment, les institutions scientifiques, les bureaux d'études et les entreprises de réalisation.

Ceci présente un élément très important pour la préparation et la prévention du risque sismique, les décideurs devraient se pencher plus vers de telles estimations afin de mettre en place des politiques réelles de mitigation. L'aménagement du territoire, notamment les normes parasismique et le contrôle du bâti devrait permettre une meilleure protection face au risque sismique.

BIBLIOGRAPHIE

GARCIA Jean-François (2007). Elaboration d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments, INSA Strasbourg.

Philippe Guéguen, (Août 2006) Représentation des enjeux d'un séisme : Vulnérabilités publiques de l'agglomération grenobloise, Laboratoire de Géophysique et Tectonophysique Observatoire de Grenoble.

Youssef Belmouden, Pierino Lestuzzi, Evaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments existants en Suisse, Laboratoire d'Informatique et Mécanique Appliquées à la Construction, EPFL-ENAC-IS-IMAC, avril 2006.

Philippe Guéguen, (juillet 2007) Evaluation de la VULNérabilité Sismique à l'échelle d'une ville de Rhône-ALPes – Application à Grenoble, Laboratoire de Géophysique interne et Tectonophysique, Université Joseph Fourier.

Marc Côte, (2006).Constantine cité antique et ville nouvelle, éditions Média plus.

Ministère de l'habitat, (1994). Eléments de composition urbaine. ENAG éditions.

C. Grünthal, (2001) European Seismological Commission, L'échelle macrosismique européenne (EMS-98), édition française A.Levret, Luxembourg.

Ballif, G., Delli Gatti, M., Demierre, J., & Dufey, E. (2009). Vulnérabilité sismique à grande échelle de la ville de Renens.

Aoudia A., F. Vaccari P, Suhadol C. & Meghraoui M. (2000). Seismogenic potential and earthquake hazard assessment in the Tell Atlas of Algeria.

Bezghroud & al., (1994). Seismicity of Algeria between 1365 and 1989: map of maximum observed intensities.

Harbi A. (2001). Analyse de la sismicité et mise en évidence d'accidents actifs dans le Nord Est algérien. Magister USTHB.

Bounif, A., Haessler. H & Meghraoui. M. (1987). The Constantine (Northeast Algeria) earthquake of October 27, 1985: surface ruptures and aftershock study, Earth Planet Sc.

CGS (2003). Etude de l'aléa et microzonage sismiques de la ville de Constantine.

Guéguen, P. (2007). Inventaire sismique comme aide à l'évaluation de la vulnérabilité sismique à grande échelle : la méthode VULNERALP. 7ème Colloque National AFPS 2007 – Ecole Centrale Paris.

CRAAG (1994). Les séismes de l'Algérie de 1365 à 1992. Publication du Centre National de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique.

Vila J. M. (1980). La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro- tunisiens. Thèse. Doc. Etat. Université. Paris VI.

Philippe GUEGUEN (2009) ; Sismologie urbaine: aléa local, dynamique des structures, interaction site-ville et vulnérabilité urbaine. Université Joseph Fourier - Grenoble I.

AGENCE NATIONAL DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE (2008). PLAN DIRECTEUR d'Aménagement et d'Urbanisme de la commune de Constantine, Algérie.

MOUROUX. P, 2003.Le projet européen Risk-UE. In « Risque, Vulnérabilité et fiabilité dans la construction, vers une réduction des désastres, Alger, Algérie.

IZIIS/CGS, Janvier 1994. Méthodologie d'étude de vulnérabilité et du renforcement des bâtiments existants vis-à-vis du séisme.

K Lang,(2002). *Seismic Vulnerability of Existing Building*, thèse de doctorat, Swiss Federal institute of technology, Zurich, Suisse.

C.G.S, Règlement parasismique Algérien, RPA99 version 2003.

RISK-UE,(2003). An advanced approach to earthquake risks scenarios with applications to different European towns, WP4 : Vulnerability of current building.

MILAN ZACEK (2003). Vulnérabilité et renforcement. Cahier2.

MINISTRE DE L'HABITA, Le Risque Sismique en Algérie. Centre Nationale de Recherche Appliquée en Génie Parasismique (C. G. S).

Z.Bozinovski and P.Gavrilovic, (1993). Computer program for analysis of ultimate state of rectangular reinforced concrete cross section of frame wall systems 'UARCS', Skopje University.

Z.Bozinovski and P.Gavrilovic, (1993). "Dynamic Response Analysis of Building Structures, DRABS", Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, IIEES Republic of Macedonia.

CENTRE NATIONALE DE RECHERCHE APPLIQUEE EN GENIE PARASISMIQUE (C.G.S). Aléa Sismique en Algérie et Microzonage, Cas de L'Algérie.

Rabah BOUSSOUF, Constantine : D'une ville attractive à une ville répulsive. laboratoire d'Aménagement du territoire, Université de Constantine, Algérie.

RGPH 08, (2008). Recensement Général de la Population et de l'habitat, Office National des Statistiques, Algérie.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

- Figure I.1 :** Répartition de la tectonique des plaques
- Figure I.2 :** Cartographie des zones de sismicité élevée
- Figure I.3 :** Origine du séisme
- Figure I.4 :** Ondes de type P
- Figure I.5 :** Ondes de type S
- Figure I.6 :** Ondes de Love
- Figure I.7 :** Ondes de Rayleigh
- Figure I.8 :** Classification des zones sismiques en Algérie (RPA99 version 2003)
- Figure I.9 :** Schéma des différentes méthodes d'analyse de la vulnérabilité sismique
- Figure I.10 :** Types d'analyses détaillées

CHAPITRE II : ESTIMATION DE L'ALEA SISMIQUE DE LA VILLE DE CONSTANTINE

- Figure II.1 :** Carte des épacentres dans la région de Constantine de 1860 à 2004
- Figure II.2 :** Carte des intensités historiques maximales
- Figure II.3 :** Schéma structural du Nord- Est algérien (Wildi, 1963)
- Figure II.4 :** Sources sismiques (zones et lignes sources)
- Figure II.5 :** Carte d'iso accélération pour la période de retour de 100 ans (CGS, 2003)
- Figure II.6 :** Carte d'iso accélération pour la période de retour de 500 ans (CGS, 2003)

CHAPITRE III : ESTIMATION DU TISSU URBAIN ET DE LA VULNERABILITE SISMIQUE DE LA VILLE DE CONSTANTINE

- Figure III.1 :** évolution du tissu urbain de la ville de Constantine durant l'époque coloniale
- Figure III.2 :** Schéma montrant les étapes de croissance du tissu urbain
- Figure III.3 :** carte des densités de population dans la commune de Constantine
- Figure III.4 :** Carte du périmètre urbain de la ville de Constantine (2010)
- Figure III.5 :** Principaux sites de bidonvilles de la ville de Constantine
- Figure III.6 :** Carte des différents types de sol dans la commune de Constantine
- Figure III.7 :** Carte des déclivités de la commune de Constantine
- Figure III.8 :** Carte des extensions urbaine de la commune de Constantine
- Figure III.9 :** Carte des densités d'habitat de la commune de Constantine
- Figure III.10 :** Carte du risque sismique de la commune de Constantine
- Figure III.11 :** Périmètre de la zone d'étude
- Figure III.12 :** la classification des constructions suivant leurs matériaux de construction
- Figure III.13 :** la classification des constructions suivant leurs années de construction
- Figure III.14 :** la classification des constructions suivant leurs nombres d'étage
- Figure III.15 :** la classification des constructions suivant l'état général
- Figure III.16 :** la classification des constructions suivant la régularité
- Figure III.17 :** la classification des constructions suivant la position
- Figure III.18 :** Carte des différents types de sol
- Figure III.19 :** Carte topographique de la zone d'étude
- Figure III.20 :** Les indices de vulnérabilité (IV) selon la méthode RiskUE.

CHAPITRE IV : L'ETUDE D'UN BATIMENT A RISQUE SPECIAL

Figure IV.1 : façade du bâtiment

Figure IV.2 : modèle brochette du bâtiment

Figure IV.3 : vue en plan du bâtiment

Figure IV.4 : Vue en plan du Bloc 01

Figure IV.5 : Vue en plan du Bloc 02

Figure IV.6 : Plan de fondations du Bloc01

Figure IV.7 : Plan de fondations du Bloc02

Figure IV.8 : Profil type du sol de fondation

Figure IV.9 : Vue en 3D des deux blocs du bâtiment après modélisation

Figure IV.10 : Courbe capacitaire bilinéaire

Figure IV.11 : La capacité et la demande selon le RPA en effort tranchant suivant (X-X)

Figure IV.12 : La capacité et la demande selon le RPA en effort tranchant suivant (Y-Y)

Figure IV.13 : La capacité et la demande selon le RPA en effort tranchant suivant (X-X)

Figure IV.14 : La capacité et la demande selon le RPA en effort tranchant suivant (Y-Y)

Figure V.15 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 01(X-X) – $A_{\max} = 0.15g$

Figure V.16 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 01(X-X) – $A_{\max} = 0.25g$

Figure V.17 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 01(Y-Y) – $A_{\max} = 0.15g$

Figure V.18 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 01(Y-Y) – $A_{\max} = 0.25g$

Figure V.19 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 02(X-X) – $A_{\max} = 0.15g$

Figure V.20 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 02(X-X) – $A_{\max} = 0.25g$

Figure V.21 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 02(Y-Y) – $A_{\max} = 0.15g$

Figure V.22 : Réponse en déplacement relatif inter-étages du Bloc 02(Y-Y) – $A_{\max} = 0.25g$

Figure V.23 : Réponse en ductilité Bloc 01(X-X) – $A_{\max} = 0.15g$

Figure V.24 : Réponse en ductilité Bloc 01(X-X) – $A_{\max} = 0.25g$

Figure V.25 : Réponse en ductilité Bloc 01(Y-Y) – $A_{\max} = 0.15g$

Figure V.26 : Réponse en ductilité Bloc 01(Y-Y) – $A_{\max} = 0.25g$

Figure V.27 : Réponse en ductilité Bloc 02(X-X) – $A_{\max} = 0.15g$

Figure V.28 : Réponse en ductilité Bloc 02(X-X) – $A_{\max} = 0.25g$

Figure V.29 : Réponse en ductilité Bloc 02(Y-Y) – $A_{\max} = 0.15g$

Figure V.30 : Réponse en ductilité Bloc 02(Y-Y) – $A_{\max} = 0.25g$

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.1 : Echelle d'intensité de Mercalli

Tableau I.2 : La magnitude et ordres de grandeur de la rupture sismogène

Tableau I.3 : Les séismes les plus puissants et meurtriers dans l'ordre chronologique croissant

Tableau I.4 : Classification selon le temps et la difficulté de calcul

Tableau I.5 : Les différentes échelles d'analyse et leur applicabilité (2005)

Tableau I.6 : Classification typologique et cotes structurales de base du FEMA-154 2002

Tableau I.7 : Sismicité définie dans le FEMA-154 2002

Tableau I.8 : Classes de vulnérabilité de l'E.M.S 98

CHAPITRE II : ESTIMATION DE L'ALEA SISMIQUE DE LA VILLE DE CONSTANTINE

Tableau II.1 : Séismes destructeurs dans la région de Constantine

Tableau II.2 : paramètres de calcul de l'aléa sismique

Tableau II.3 : Les valeurs de l'accélération horizontale maximale (PGA)

CHAPITRE III : ESTIMATION DU TISSU URBAIN ET DE LA VULNERABILITE SISMIQUE DE LA VILLE DE CONSTANTINE

Tableau III.1 : Classification selon le facteur type du sol

Tableau III.2 : Classification selon paramètre « pente du terrain de fondation »

Tableau III.3 : Classifications d'Indice âge de construction dans la ville de Constantine

Tableau III.4 : classification d'indice densité d'habitat dans la ville de Constantine

Tableau III.5 : les indices de vulnérabilité proposés pour chaque paramètre en fonction de la classe

Tableau III.6 : classification des structures en fonction de leur IV

CHAPITRE IV : L'ETUDE D'UN BATIMENT A RISQUE SPECIAL

Tableau IV.1 : Les accélérations au sol en fonction de la période de retour

Tableau IV.2 : Charges et Surcharges

Tableau IV.3 : Facteur de participation massique

Tableau IV.4 : Capacités globales

Tableau IV.5 : Coefficients de sécurité 'S' en effort tranchant du Bloc 01 suivant (X-X)

Tableau IV.6 : Coefficients de sécurité 'S' en effort tranchant du Bloc 01 suivant (Y-Y)

Tableau IV.7 : Coefficients de sécurité 'S' en effort tranchant du Bloc 02 suivant (X-X)

Tableau IV.8 : Coefficients de sécurité 'S' en effort tranchant du Bloc 02 suivant (Y-Y)

Tableau IV.9 : Déplacements et ductilités donnés par l'analyse dynamique non-linéaire

Tableau IV.10 : Vérification des déplacements par rapport au RPA99/2003

Tableau IV.11 : Comparaison des déplacements du bloc 01 dans le sens (X-X)

Tableau IV.12 : Comparaison des déplacements du bloc 01 dans le sens (Y-Y)

Tableau IV.13 : Comparaison des déplacements du bloc 02 dans le sens (X-X)

Tableau IV.14 : Comparaison des déplacements du bloc 02 dans le sens (Y-Y)

Tableau IV.15 : Comparaison des ductilités du bloc 01 sens (X-X)

Tableau IV.16 : Comparaison des ductilités du bloc 01 sens (Y-Y)

Tableau IV.17 : Comparaison des ductilités du bloc 02 sens (X-X)

Tableau IV.18 : Comparaison des ductilités du bloc 02 sens (Y-Y)