République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Nationale Supérieure des Travaux Publics



MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : Matériaux et Structures

VULNÉRABILITÉ SISMIQUE D'UN TISSU URBAIN CAS D'ÉTUDE : CENTRE VILLE DE BLIDA

Présenté par :

Chaid Abdelkader

Soutenu le 07 / 06 / 2012 devant le jury composé de :

M. Hadid	Professeur, ENSTP Kouba	Président
M. Bensaibi	Professeur, U. Saad Dahlab de Blida	Rapporteur
K. Tadjer	Maitre assistant, U. Saad Dahlab de Blida	Co-Rapporteur
N. Bourahla	Professeur, U. Saad Dahlab de Blida	Examinateur
Y. Mehani	Maitre de recherche, CGS	Examinateur

ملخص

تعتبر الهشاشة الزلزالية للعمران الحضري اليوم الشغل الشاغل بالنسبة لمسيري المدن المعرضة للزلازل. و حتى يتسنى لهؤلاء العمل فانه من الضروري أن تتوفر لدينا أداة فعالة يمكننا من خلالها استهداف المناطق المتضررة و تحديد أولويات التدخل.

نقترح في هذا العمل الذي يصبو إلي التعرف علي الأماكن الأكثر عرضة في النسيج العمراني لمدينة البليدة (الجزائر) استخدام منهجين. أولهما يدعي برنامج VIP (vulnerability index program) وثانيهما نظام المعلومات الجغرافية (SIG)

لقد طبقت طريقة "مؤشر الهشاشة" التي تم تطويرها و تكييفها علي أرض الجزائر لتقييم الهشاشة الزلزالية للنسيج الحضري لمدينة البليدة (الجزائر) التي تتميز بأحيائها التقليدية و كثافة بنيانها و امتداده السريع في السنوات الأخيرة. و نركز في هذه الطريقة علي ثلاثة مستويات من الهشاشة الزلزالية المعبرة علي نوعية المباني القائمة. أما عن استخدام أداة المعلومات الجغرافية فالهدف منه هو تشكيل قاعدة بيانات تسمح بالخوض في مواضيع مختلفة و تحليلها. ويمكننا القول أن هذه التحليلات سمحت لنا بتشخيص الهشاشة الزلزالية لوسط مدينة البليدة و تقديرها علي أحسن وجه.

الكلمات المفتاحية: العمران الحضري، الزلازل، البليدة، مؤشر الهشاشة، نظام المعلومات الجغرافية (SIG)

Résumé

La vulnérabilité sismique d'un tissu urbain, constitue de nos jours, une priorité pour les gestionnaires des agglomérations sujettes au tremblement de terre. Des opérations telles que la localisation des cibles et la hiérarchisation des interventions, ne peuvent, cependant, être conduites sans l'utilisation préalable et en amont, d'un outil efficace. C'est précisément la raison pour laquelle nous proposons de définir les zones les plus vulnérables du tissu urbain de la ville de Blida (Algérie) à travers la combinaison d'un programme nommé VIP (Vulnerability Index Program) et de l'outil d'information géographique (SIG).

La méthode reposant sur la recherche de l'indice de vulnérabilité, largement développée et adaptée au contexte algérien, a été appliquée dans ce travail pour évaluer la vulnérabilité sismique du tissu urbain du centre- ville de Blida, connu pour sa forte densité, son noyau historique et son extension rapide ces dernières années. Dans cette méthode, trois niveaux de vulnérabilité exprimant la qualité sismique du bâti existant, sont considérés. L'outil d'information géographique (SIG) a, quant à lui, été utilisé pour constituer une base de données permettant des requêtes de nature à rendre possibles des analyses thématiques variées. Ces analyses ont permis de mettre en évidence la vulnérabilité du centre- ville de Blida.

Mots clés : Tissu urbain, séismes, Blida, Indice de vulnérabilité, SIG.

Abstract

The seismic vulnerability of an urban area is of a great deal for the local authorities especially those facing earthquakes. So, it is important to have an efficient tool to assess the vulnerability of existing buildings. The use of the VIP (Vulnerability Index Program) and the GIS (Geographic Information System) let us identify the most vulnerable districts of urban nuclei.

The use of the vulnerability index method adapted to the Algerian context lets us assess the vulnerability of the town- center of Blida (Algeria) which is a historical town, which has grown enormously during the last decades. In this method, three levels of vulnerability are defined. The GIS has been used to build a data- base in order to perform different thematic analyses. These analyses show the seismic vulnerability of the town-center of Blida.

Keywords : urban area, earthquakes, Blida, Vulnerability Index, GIS.

Mes sincères remerciements à :

M. Mahmoud Bensaibi
Mme Khalida Tadjer
Mrs les membres du Jury
Mme Zohra Derriche

Ainsi qu'a toute personne ayant participé à l'élaboration de ce travail.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....01
REMERCIEMENTS 04
TABLE DES MATIÈRES 05
LISTE DES ILLUSTRATIONS GRAPHIQUES ET TABLEAUX 08
INTRODUCTION 13
CHAPITRE I : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE 15
1- Introduction 15
2- Définitions 16
2-1 Risque sismique 16
2-2 Aléa sismique 16
2-3 Vulnérabilité sismique 17
2-4 Intensité et magnitude sismique.....18
3- Méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique 19
3-1 Méthodes empiriques 21
3-2 Méthodes analytiques 21
3-2-1 Méthodes analytiques détaillées 21
3-2-2 Méthodes analytiques simples 21
3-3 Méthodes hybrides 22
4 - Quelques méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique 22
4-1 Méthode (DPM) élaborée par Whitman et al 22
4-2 Méthode de l'ATC-13 23
4-3 Méthode EMS-98 25
4-3-1 Typologie et classe de vulnérabilité 26
4-3-2 Echelle des dommages 27
4-3-3 Estimations des dommages 30
4-4 Méthode de l'ATC-21 et FEMA-154 31
4-5 Méthode RISK-UE.....34
4-6 La Méthode GNDT 38
4-7 la méthode HAZUS 41
4-8 La méthode RADIUS (Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters) 43
5 - Conclusion : 44

CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE DE L'INDICE DE VULNÉRABILITÉ EN ALGÉRIE….45
1- Introduction ……..45
2- Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments en maçonnerie ……46
3- Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments en béton armé ……47
4 - Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments en charpente Métallique……..48
5 - Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments Mixtes (Acier-Maçonnerie)……..49
6- Présentation du logiciel V.I.P (Vulnerability Index Program)……51
7 - les systèmes d'informations géographiques : SIG……53
7-1 Définition ……53
7-2 Les modèles de données ……53
7-3 Les composantes d'un SIG ……54
8 – Conclusion ……54

CHAPITRE 3 : PRÉSENATION DE LA VILLE DE BLIDA ……56
1- Introduction ……56
2- Présentation de la wilaya de Blida ……56
2-1 Situation géographique ……56
2-2 Découpage administratif et population ……56
3- Présentation de la commune de Blida ……57
3-1 Aperçu historique sur la formation de la ville de Blida ……57
3-2 Situation géographique et aspect géomorphologique ……59
3-3 Aspect géologique de la région de Blida ……60
3-4 Aspect géotechnique ……61
3-5 Population de la commune de Blida ……62
3-6 Occupation des sols de la commune de Blida ……62
3-7 Croissances urbaines de la ville de Blida……64
4- Contexte sismotectonique de la région de Blida……66
4-1 Tectonique et Sismicité de la Mitidja ……66
4-2 Les failles actives ……66
4-3 La faille de Bouinan-Soumâa ……67
4-4 Sismicité historique de la région de Blida : ……67
5- Conclusion ……70

CHAPITRE 4 : ANALYSES ET RÉSULTATS ……72
1- Introduction ……72
2- Délimitation de la zone d'étude ……72
3- Sectorisation de la zone d'étude ……75
4- Recensement général de la population et de l'habitat ……76
5- Indice de la vulnérabilité sismique du centre ville de Blida ……78
5-1 Outils de travail ……78
5-2 Récolte des données…… 79
5-3 Classes et indice de vulnérabilité des bâtiments ……79
5-4 Classification des bâtiments selon leurs typologies ……81
5-5 Indice de vulnérabilité et bâtiments en maçonnerie …… 82
5-5-1 Nombre d'étages des bâtiments …… .82
5-5-2 Indice de vulnérabilité ……84
5-5-3 Indice de vulnérabilité et nombre d'étages …… 85
5-5-4 Indice de vulnérabilité et catégories ……88
5-6 Indice de vulnérabilité des bâtiments en béton armé …… ……89
5-7 Analyse spatiale ……90
5-8 Vulnérabilité des districts …… 91
5-9 Vulnérabilité des quartiers …… 92
6- Conclusion ……95

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES ……96

ANNEXES

RÉFÉRENCES

LISTE DES ILLUSTRATIONS GRAPHIQUES ET TABLEAUX

Fig. 1.1 Carte de zonage sismique du territoire National……..17

Fig. 1.2 Différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité……19

Fig. 1.3 Exemple de distribution log-normale des dommages observés pour une intensité donnée.(ML : Mean Low, MB : Mean Best, MH : Mean High)……24

Fig. 1.4 Exemple de distribution de la probabilité de dommage observé après des séismes californiens pour une intensité et une typologie données……25

Fig. 1.5 Description en pourcentage des notions : quelques, nombreux, la plupart selon l'EMS-98……30

Fig. 1.6 Exemple de relevé d'une fiche par la méthode RVS dans une zone a forte sismicité……33

Fig. 1.7 Exemple de distribution de dommages pour μ_D = 3 et I = VIII……34

Fig. 1.8 Exemple de courbes de fragilité pour les états de dommages : léger, modéré, étendu et complet……42

Fig. 1.9 Exemple de courbe de capacité d'un bâtiment……42

Fig. 2.1 Page d'accueil du programme VIP…… ……51

Fig. 2.2 Page d'accueil utilisateurs……52

Fig. 2.3 Menu étude……52

Fig. 2.4 Détermination de l'indice de vulnérabilité…… 53

Fig. 3.1 Wilaya de Blida……57

Fig. 3.2 Le marabout de Sidi Yaakoub……58

Fig.3.3 Géomorphologie de la région de Blida……59

Fig. 3.4 Carte géologique de la région de Blida (D'après Blés, 1971, modifiée)……60

Fig. 3.5 Coupe géologique illustrant la disposition des différentes unités tectono-sédimentaires dans la région de Blida……61

Fig. 3.6 Répartition des sols (durs, moyens et tendres) dans le secteur des piémonts de Blida……61

Fig.3.7 Plan d'occupation des sols de la ville de Blida……..63

Fig. 3.8 Rue d'un quartier à population algérienne……..64

Fig. 3.9 Cité Montpensier (Ben Boulaid actuellement)……..65

Fig.3.10 Schéma structural à partir de l'image Landsat (Tectonique satellitaire)……67

Fig.3.11 Distribution cartographique de la sismicité historique et instrumentale dans la région de Blida, entre 1825 et 2005. La taille des cercles est proportionnelle à la magnitude considérée……68

Fig. 4.1 Délimitation de la zone d'étude……..73

Fig. 4.2 Limite du centre ville de Blida……..73

Fig. 4.3 Habitat de l'époque coloniale……74

Fig. 4.4 Habitat de l'époque coloniale……74

Fig. 4.5 Habitat collectif récent……75

Fig. 4.6 Sectorisation de la zone d'étude en districts avec leurs numéros sur SIG……5

Fig. 4.7 Base de données sur SIG du RGPH-2008 (zone d'étude)……76

Fig. 4.8 Nombre de la population par district ……77

Fig. 4.9 Nombre de constructions par district……77

Fig. 4.10 Plan de la ville ……78

Fig. 4.11 Plan de restitution ……78

Fig. 4.12 Photo aérienne ……79

Fig. 4.13 vue en plan d'une partie des bâtiments sur SIG ……79

Fig. 4.14 Classes de vulnérabilité et nombre de constructions ……80

Fig. 4.15 Proportion des bâtiments pour chaque classe ……80

Fig. 4.16 Nombre de bâtiments en maçonnerie et en béton armé ……81

Fig. 4.17 Pourcentages suivant la typologie ……82

Fig. 4.18 Nombres de bâtiments en fonction du nombre d'étages ……83

Fig. 4.19 Pourcentage des bâtiments pour chaque nombre d'étages ……83

Fig. 4.20 Classes de vulnérabilité et nombre de bâtiments ……84

Fig. 4.21 Classes de vulnérabilité et pourcentages des bâtisses ……85

Fig. 4.22 Variation de l'IV pour chaque bâtiment de catégorie R+0 ……87

Fig. 4.23 Variation de l'IV pour chaque bâtiment de catégorie R+1 ……87

Fig. 4.24 Variation de l'IV pour chaque bâtiment de catégorie R+2 ……87

Fig. 4.25 Variation de l'IV pour chaque bâtiment de catégorie R+3 et plus……87

Fig. 4.26 Représentation du nombre de bâtiments selon leur nombre d'étages et leur classe de vulnérabilité ……89

Fig. 4.27 Indice de vulnérabilité des bâtiments en béton armé ……89

Fig. 4.28 Visualisation spatiale du bâti, de l'indice de vulnérabilité et de la toponymie……90

Fig. 4.29 Visualisation du bâti, de son indice de vulnérabilité et du nombre de la population par district……91

Fig. 4.30 Classes de vulnérabilité en fonction du nombre de la population par district……92

Fig. 4.31 Zone d'étude et quartiers du centre ville de Blida……93

Fig. 4.32 Classes de vulnérabilité des bâtiments par quartier……94

Tableau 1.1 Classification des méthodes selon le temps et la difficulté de calcul ……..19

Tableau 1.2 Classification des méthodes et positionnement des références ……20

Tableau 1.3 Format d'une matrice de dommage probable, selon Whitman 1974……23

Tableau 1.4 Classes de vulnérabilité selon l'EMS-98……27

Tableau.1.5 Degrés de Dommage relatifs aux constructions en maçonnerie ……..28

Tableau.1.6 Degrés de Dommage relatifs aux constructions en béton armé ……..29

Tableau.1.7 Caractérisation des Dommages en fonction des Intensités EM-98 pour une vulnérabilité de Classe C ……30

Tableau.1.8 Typologie RISK-UE et valeurs représentatives de Vi ……..36

Tableau.1.9 Facteurs associés aux critères structuraux – cas des bâtiments acier, béton armé ou bois ……37

Tableau.1.10 Facteurs associés aux critères structuraux – cas des bâtiments en Maçonnerie ……37

Tableau.1.11 Paramètres du formulaire de niveau 2 du GNDT pour les bâtiments en maçonnerie ……39

Tableau.1.12 Classe de vulnérabilité et facteurs de pondération de chacun des paramètres structuraux ……..39

Tableau.1.13 Paramètres du formulaire de niveau 2 du GNDT pour les bâtiments en béton armé ……40

Tableau 2.1 Paramètres et facteurs de pondération des bâtiments en maçonnerie en Algérie……..46

Tableau 2.2 Classe des bâtiments en maçonnerie en fonction de l'indice de vulnérabilité.47

Tableau 2.3 Paramètres et facteurs Ki en fonction de chaque classe pour les bâtiments en béton armé……47

Tableau 2.4 Classe des bâtiments en béton armé en fonction de l'indice de vulnérabilité 48

Tableau 2.5 Paramètres et facteurs Ki en fonction de chaque classe pour les bâtiments en charpente métallique……..49

Tableau 2.6 Classe des bâtiments en charpente métallique en fonction de l'indice de Vulnérabilité……49

Tableau 2.7 Paramètres et facteurs Ki en fonction de chaque classe pour les bâtiments Mixtes (Acier-Maçonnerie)……50

Tableau 2.8 Classes des bâtiments Mixtes (Acier-Maçonnerie) en fonction de l'indice de vulnérabilité……..50

Tableau 3.1 Evolution de la population de la commune de Blida de 1987 à 2008…….. 62

Tableau 3.2 Sismicité historique et instrumentale de la région de Blida, entre 1802 et 2005……69

Tableau 4.1 Indice de vulnérabilité et nombre de constructions (M : maçonnerie et BA : béton armé……80

Tableau 4.2 Nombre de bâtiments et leur pourcentage en fonction du nombre d'étage….82

Tableau 4.3 Classification des bâtiments selon leur indice de vulnérabilité et leur nombre d'étages ……88

Tableau 4.4 Classes de vulnérabilité des quartiers……93

Introduction

La création de grands pôles de développement économique et culturel, principalement au niveau des villes, a eu pour conséquences un accroissement très rapide et une concentration d'une grande partie de la population dans les centres urbains. En Algérie, ces centres urbains sont généralement des centres historiques avec un bâti datant principalement de l'époque coloniale sur lequel est venu se greffer un habitat récent. La réglementation a permis dans une certaine mesure, de doter les nouvelles structures d'une protection parasismique acceptable. Mais la lenteur du renouvellement urbain des centres historiques fait que ce bâti devienne majoritairement constitué de structures ne répondant pas à la réglementation parasismique en vigueur. Aussi, les derniers séismes enregistrés ont montré la vulnérabilité sismique aussi bien du bâti ancien que du bâti récent et ses effets directs et indirects majeurs sur les vies humaines et les actifs économiques.
En Algérie, l'activité tectonique est principalement due aux mouvements de convergence entre les plaques africaine et eurasienne. Les séismes sont donc inévitables et étant dans l'impossibilité de prédire leur occurrence, il est donc impératif pour les responsables de la planification et du développement urbain de mettre en place une stratégie de réduction du risque sismique en évaluant l'impact de ces séismes sur le bâti et principalement le bâti des centres urbains.
Actuellement, les pays sujets aux secousses sismiques se doivent de développer, ou d'adapter une méthode pour estimer la vulnérabilité sismique de leur tissu urbain. La méthode de l'indice de vulnérabilité est l'une des méthodes qui peut être utilisée avec un moindre coût. C'est une méthode qui, dans une échelle d'analyse, n'est considérée ni globale c'est-à-dire typologique, ni détaillée, c'est-à-dire nécessitant beaucoup de calcul ; c'est ce qu'on appelle une méthode intermédiaire.

Cette méthode a été adaptée au contexte algérien pour différentes typologies. Elle est utilisée dans ce travail pour évaluer la vulnérabilité sismique d'un tissu urbain, plus précisément le centre- ville de la ville de Blida à travers une structuration des données sous système d'information géographique (SIG). Cette structuration permet une meilleure lecture et une meilleure analyse pour l'évaluation de cette vulnérabilité.

Pour cela, nous avons présenté notre travail en quatre chapitres :

-le premier chapitre : il se présente sous forme de recherche bibliographique : nous avons commencé par définir certaines notions de base puis procédé à une classification des différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique selon l'échelle d'analyse et la précision. Nous avons par la suite, donné quelques méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique, en présentant les plus usitées en Europe et en Amérique du nord.

-Le deuxième chapitre : dans ce chapitre, nous avons commencé par une présentation de la méthode de l'indice de vulnérabilité adaptée au contexte algérien pour différentes typologies (maçonnerie, béton armé, charpente métallique et mixte) en détaillant les tableaux des coefficients affectés à chaque paramètre de la structure et les classes de vulnérabilité propres à chaque typologie. Nous avons ensuite présenté le VIP (vulnerability index program). Ce programme nous permet de calculer l'indice de vulnérabilité, puis nous avons terminé le chapitre en donnant quelques notions sur les systèmes d'information géographique.

-Le troisième chapitre : Cette partie est une présentation de la ville de Blida : sa position géographique, son historique, son plan d'occupation des sols, son aspect géomorphologique, géologique, géotechnique ainsi que son contexte tectonique. Ces informations sont indispensables pour aborder le travail in situ.

-Le quatrième chapitre : ce chapitre concerne principalement les résultats et analyses. Les données récoltées in situ ont été structurées dans une base de données sous système d'information géographique. Ceci nous a permis de faire :

D'une part, des analyses thématiques sur le nombre de constructions, la population, le nombre de bâtiments dans chaque classe de vulnérabilité, la vulnérabilité en fonction de la typologie, la vulnérabilité en fonction du nombre de niveaux, etc.

D'autre part, une analyse spatiale qui nous a permis d'estimer la vulnérabilité sismique au niveau d'un district, d'un ilot et même au niveau d'un bâtiment individuel en hiérarchisant ainsi les secteurs exposés.

Enfin, une conclusion générale est donnée mettant en exergue les principaux résultats obtenus ainsi que les perspectives du présent travail.

CHAPITRE 1

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1- Introduction

L'évolution des méthodes de calcul et l'établissement d'un règlement parasismique algérien, suite aux séismes dévastateurs enregistrés en Algérie, ont permis d'établir une base permettant la construction de structures disposant d'un niveau de sécurité appréciable.

Toutefois, le faible taux de renouvellement du patrimoine bâti des principales villes en Algérie qui présentent toutes un centre historique fait que ce tissu urbain est principalement constitué de bâtiments anciens.

Les pertes encourues lors de ces différents séismes, surtout dans les zones densément peuplées ont mis en évidence la nécessité de la prise en compte de la gestion du risque sismique des agglomérations où l'estimation des pertes encourues lors d'un séisme devient une préoccupation importante pour les pouvoirs publics. Ceci, afin de projeter et stimuler les efforts pour réduire le risque et prendre les décisions nécessaires afin de faire face à un éventuel séisme.

La gestion du risque sismique nécessite l'identification, l'analyse et l'estimation de l'impact d'un séisme sur le bâti, les installations et la population. L'évaluation de ce risque permet donc de prendre des décisions en amont pour gérer ou éviter les dégâts engendrés par un séisme.

Ce risque est indissociable de l'aléa, de l'élément exposé et de la vulnérabilité qui, dans notre cas, concerne la vulnérabilité physique des bâtiments. Cette vulnérabilité est un aspect très important de la gestion du risque sismique car elle est liée directement aux structures et à leurs caractéristiques morphologiques et physiques. D'ailleurs, une des premières préoccupations des chercheurs dans ce domaine, est d'essayer d'identifier les structures les plus vulnérables aux séismes ou de trouver une corrélation entre l'aléa sismique et ses conséquences sur le bâti.

Il s'avère donc, important pour les besoins de l'étude et pour bien comprendre la problématique de ce thème, de définir au préalable certaines notions de base comme : la vulnérabilité, le risque, l'aléa, l'intensité, la magnitude sismique. Et aussi d'exposer les différentes approches d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments, principalement les approches américaines et européennes.

2- Définitions

Dans la littérature, la définition de certaines notions comme risque sismique, aléa sismique et vulnérabilité varie selon le contexte d'utilisation et la source documentaire. Nous donnons ci-après quelques définitions de ces notions qui seront utilisées tout au long de ce travail.

2-1 Risque sismique

- Dans un site donné avec son ensemble d'infrastructures et d'individus soumis à un aléa donné, le risque se présente comme une convolution entre l'aléa et la vulnérabilité.

2-2 Aléa sismique

Un aléa sismique est un « événement menaçant ou probabilité d'occurrence dans une région et au cours d'une période données, d'un phénomène pouvant engendrer des dommages. » [1]. Cet aléa sismique peut être traduit par des cartes appelées cartes d'aléa sismique sur lesquelles on établit un zonage sismique de type probabiliste en prenant en compte les différentes périodes de retour. Le zonage sismique peut représenter la probabilité qu'une accélération (PGA) se produise sur une certaine période de temps, comme il peut représenter l'accélération spectrale (Sa) avec une certaine probabilité d'occurrence. Les cartes de zonage sismique du Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique Algérien (fig 1.1) découpent le territoire en quatre zones de sismicité croissante avec un tableau associé précisant la sismicité par wilaya et par commune [2].

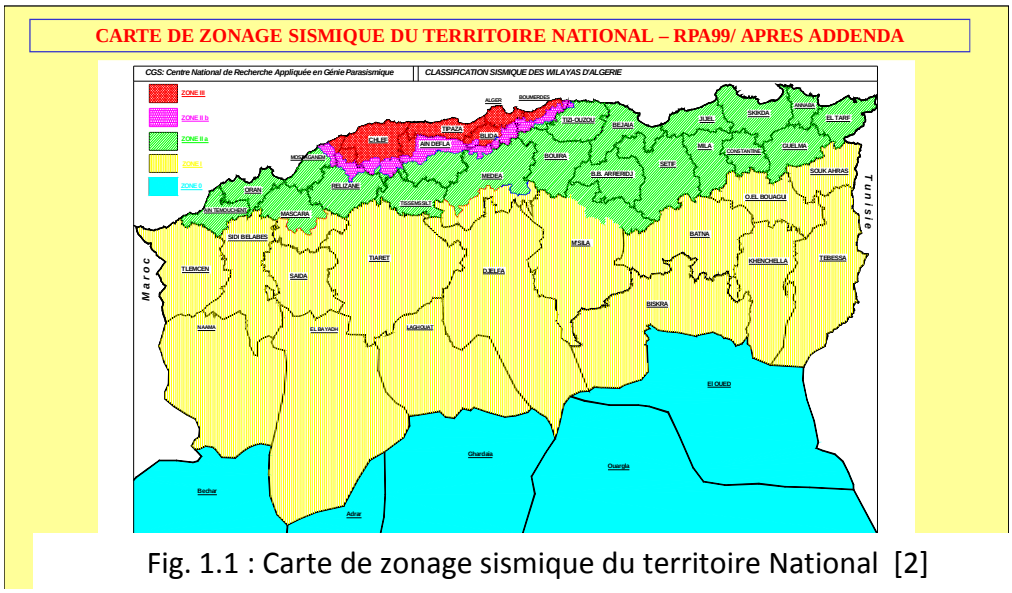


Fig. 1.1 : Carte de zonage sismique du territoire National [2]

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

2-3 Vulnérabilité sismique

Dans la gestion du risque sismique, la vulnérabilité concerne aussi bien la vulnérabilité des bâtiments (vulnérabilité physique) que la vulnérabilité de la population (vulnérabilité sociale) ou la vulnérabilité des réseaux vitaux et autres installations. Dans cette étude, on s'intéresse particulièrement à la vulnérabilité physique car elle dépend directement des caractéristiques des bâtiments. Dans la littérature, on retrouve plusieurs définitions de la vulnérabilité qui peuvent être légèrement différentes les unes des autres.

- Dans cette étude, la vulnérabilité exprime les différences de réactions des bâtiments aux secousses sismiques. Si deux groupes de bâtiments sont soumis exactement à la même agression sismique (même distance à l'épicentre et même condition de sol) et que l'un des groupes se comporte mieux que l'autre, alors on dira que les bâtiments qui ont été le moins endommagés avaient une vulnérabilité plus faible aux tremblements de terre que ceux qui ont été plus endommagés. On peut aussi déclarer que les bâtiments qui ont été moins endommagés étaient plus résistants aux tremblements de terre et vice-versa [3].

- On retrouve aussi d'autres définitions dont celle de Pelissier et Badoux (2003) [4] qui montre que cette vulnérabilité est indissociable du risque et de l'aléa sismique et s'exprime par :

$$R = A.\,Vu.\,Va \qquad (1.1)$$

où le risque sismique R s'exprime comme une convolution de l'aléa A, de la vulnérabilité (Vu) et des pertes humaines, mobilières et immobilières (Va).

Dans cette définition, la vulnérabilité physique est un paramètre intrinsèque de la structure qui ne tient pas compte de l'aléa sismique, ce dernier est introduit pour l'évaluation du risque.

2-4 Intensité et magnitude sismique

L'intensité sismique est une description littérale des effets d'un tremblement de terre, elle décrit les effets sur la population, les constructions et le site. C'est une évaluation quantitative à laquelle on attribue un nombre ou une lettre afin d'obtenir une classification de la gravité d'une secousse sismique.
La première échelle macroscopique à dix degrés d'intensités a été établie en 1883 par l'Italien Rossi et le Suisse Forel, au début du siècle en 1902 Giuseppe Mercali, en se basant sur l'étendue des dégâts observés crée l'échelle connue sous son nom, l'échelle de Mercali. Cette échelle dans ses degrés 8, 9 et 10 tient beaucoup compte des blessés et des victimes dont le nombre ne reflète pas toujours l'intensité d'un séisme car il dépend du type local de la construction et de la densité de la population. En 1917, l'Italien Cancani et l'Allemand Sieberg ont modifié cette échelle et ont introduit la première échelle à 12 degrés, l'échelle (MCS). En 1931, Wood et Neumann ont introduit l'échelle de Mercali modifiée, cette échelle a connu plusieurs versions (MM-31 et MM-56). L'échelle (MSK-64) publiée en 1964 par Medvedev, Sponheuer et Karnik fut la première échelle à apporter des précisions sur les ouvrages.
Une révision de cette échelle grâce à une étroite collaboration entre sismologues et ingénieurs en génie civil a permis de mettre à jour l'échelle macrosismique européenne.
Contrairement à l'intensité, la magnitude mesure l'énergie libérée lors d'un séisme. En 1935, Richter établit la première échelle ouverte de magnitude qui mesure l'amplitude des ondes sismiques à l'aide de sismographes. Communément appelée échelle de Richter celle-ci est une échelle locale notée (M_L) qui ne s'applique que localement à la Californie. D'autres versions de cette échelle ont été établies : la magnitude (M_s) qui mesure l'amplitude des ondes de surfaces et la magnitude (M_b) qui mesure les ondes de volumes. Actuellement, pour décrire les séismes, l'échelle la plus utilisée est la magnitude du moment ; elle est calibrée sur le moment sismique et notée (M_w).

3- Méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique.

Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité diffèrent selon l'échelle d'analyse, le coût et la précision. Le choix donc de cette méthode dépend de l'objectif de cette évaluation, de la disponibilité des bases de donnés sur le bâti et des moyens technologiques. Cependant toutes les méthodes de vulnérabilité visent à caractériser les séismes par leurs effets sur les habitations en établissant une corrélation entre les séismes et les dommages engendrés sur le bâti.

Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité pour l'estimation des pertes peuvent êtres classées en deux principales catégories : les méthodes empiriques et les méthodes analytiques, les deux peuvent être utilisées ou chacune d'elles dans une méthode hybride (fig1.2).

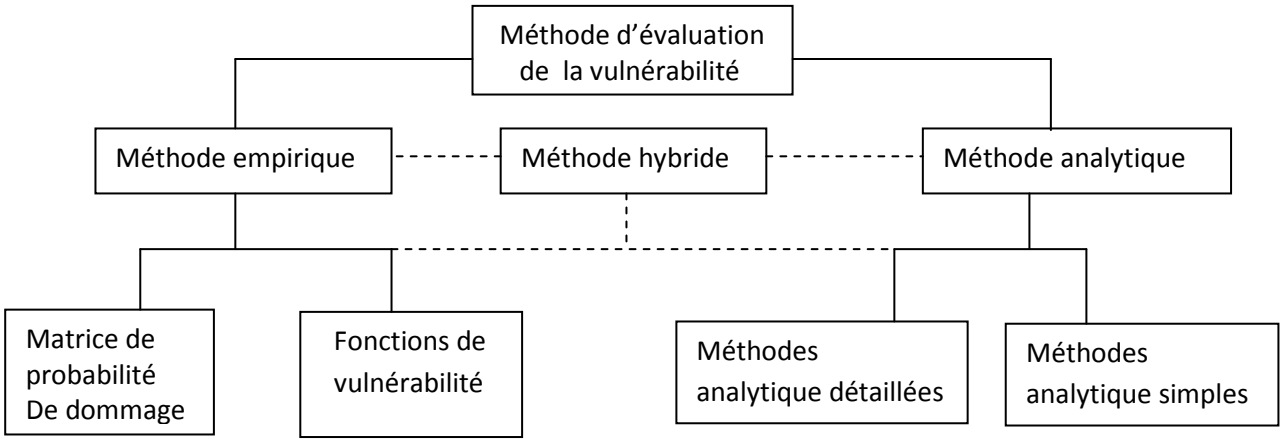


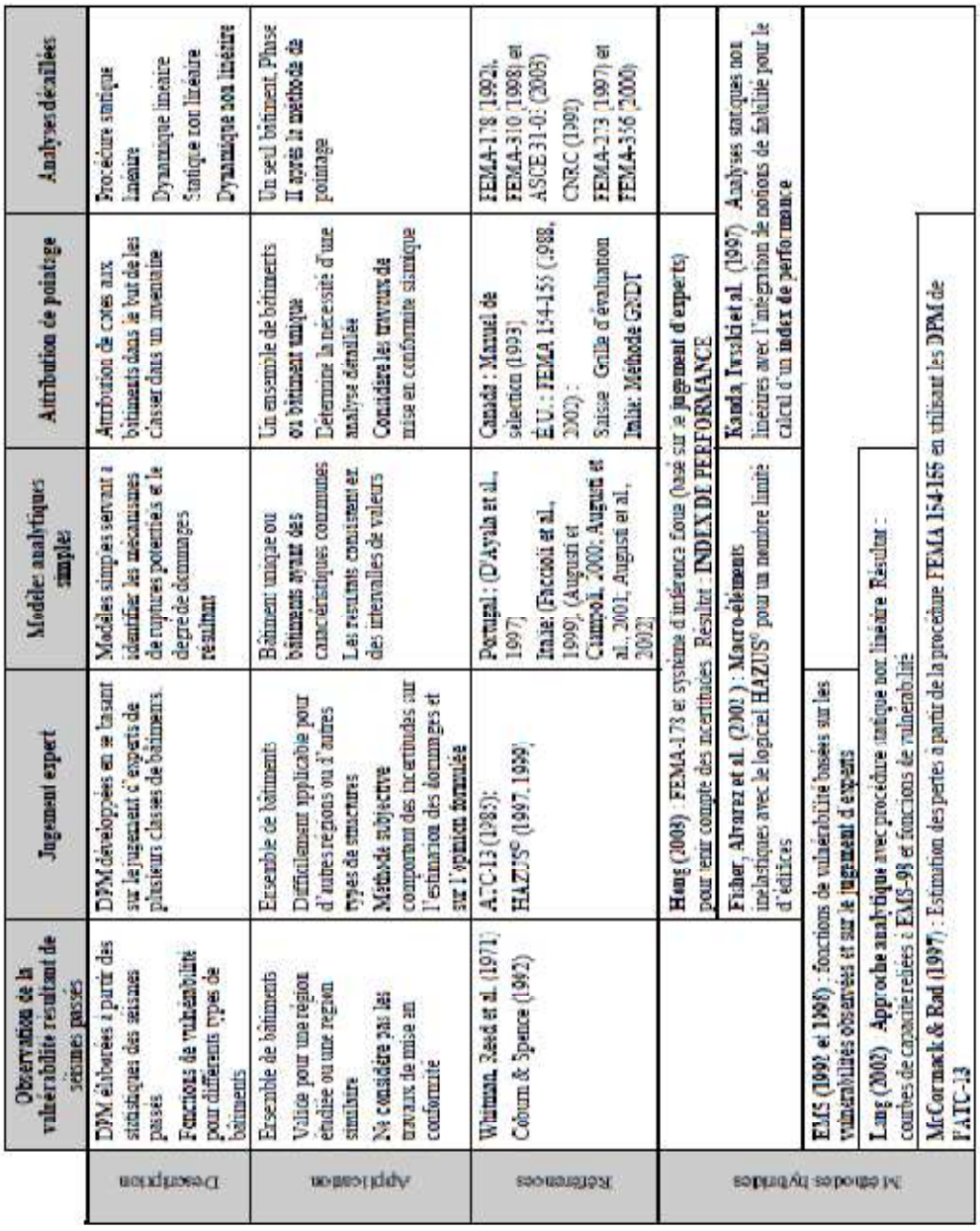
Fig. 1.2 : Différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

Suivant ces différentes approches, différentes méthodes pour l'évaluation de la vulnérabilité ont été élaborées ; elles peuvent être classées selon leurs degrés de précision et sont illustrées dans le tableau (1.1) [5].

Investissement	**Temps et difficulté de calcul** →				
Application	Ensemble de bâtiments				Bâtiment unique
Méthodes	Observation de la vulnérabilité résultant de séismes	Jugement expert	Modèles analytiques simples	Attribution de pointage	Analyses détaillées

Tableau 1.1 : Classification des méthodes selon le temps et la difficulté de calcul [5].

Cette classification est basée sur le temps et la difficulté de l'évaluation et illustre bien le positionnement des différents types d'analyse selon l'échelle de l'évaluation ; le tableau (1.2) [4] qui est complémentaire au tableau (1.1) fait la synthèse du positionnement des différentes méthodes élaborées incluant celles dites hybrides qui utilisent une ou deux méthodes empiriques ou analytiques.



	Observation de la vulnérabilité résultant de séismes passés	Jugement expert	Modèles analytiques simples	Attribution de points	Analyses détaillées
Description	DPM élaborées à partir des statistiques des séismes passés Fonctions de vulnérabilité pour différents types de bâtiments	DPM développées en se basant sur le jugement d'experts de plusieurs classes de bâtiments.	Modèles simples servant à identifier les mécanismes de ruptures potentiels et le degré de dommages résultant	Attribution de cotes aux bâtiments dans la vue de les classer dans un inventaire	Procédure statique linéaire Dynamique linéaire Statique non linéaire Dynamique non linéaire
Application	Ensemble de bâtiments Valide pour une région étudiée ou une région similaire Ne considère pas les travaux de mise en conformité	Ensemble de bâtiments Difficilement applicable pour d'autres régions ou d'autres types de structures Méthode subjective comprenant des incertitudes sur l'estimation des dommages et sur l'opinion formulée	Bâtiment unique ou bâtiments ayant des caractéristiques communes Les résultats consistent en des intervalles de valeurs	Un ensemble de bâtiments ou bâtiment unique Détermine la nécessité d'une analyse détaillée Considère les travaux de mise en conformité sismique	Un seul bâtiment. Phase II après la méthode de pointage
Références	Whitman, Reed et al. (1971) Coburn & Spence (1992)	ATC13 (1985); HAZUS® (1997, 1999)	Portugal: (D'Ayala et al., 1997) Italie: (Faccioli et al., 1999), (Augusti et Ciampoli, 2000; Augusti et al., 2001, Augusti et al., 2002)	Canada : Manuel de sélection (1993) ÉU.: FEMA 154-155 (.988, 2002) : Suisse Grille d'évaluation Italie: Méthode GNDT	FEMA-178 (1992), FEMA-310 (1998) et ASCE 31-03 (2003) CNRC (1990) FEMA-273 (1997) et FEMA-356 (2000)
Méthodes hybrides		Hung (2003) : FEMA-173 et système d'inférence floue (basé sur le jugement d'experts) pour leur compte des incertitudes Résultat : INDEX DE PERFORMANCE			
		Fisher, Alvarez et al. (2002) : Macro-éléments inélastiques avec le logiciel HAZUS® pour un nombre limité d'édifices	Kanda Iwasaki et al. (1997) Analyses statiques non linéaires avec l'intégration de notions de fiabilité pour le calcul d'un index de performance		
	EMS (1992 et 1998) : fonctions de vulnérabilité basées sur les vulnérabilités observées et sur le jugement d'experts				
	Lang (2002) Approche analytique avec procédure statique non linéaire Résultat : courbes de capacité reliées à EMS-98 et fonctions de vulnérabilité				
	McCormack & Rad (1997) : Estimation des pertes à partir de la procédure FEMA 154-155 en utilisant les DPM de FATC-13				

Tableau 1.2 : Classification des méthodes et positionnement des références [4].

3-1 Méthodes empiriques

Les premières méthodes empiriques d'évaluation des dommages à grande échelle ont été établies au début des années 70. Ces méthodes sont basées sur l'observation post-sismique des dommages et se positionnent comme l'approche la plus appropriée pour l'analyse du risque sismique à grande échelle. On distingue deux principaux types de méthodes empiriques pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique basée sur l'observation des dommages :

- les matrices de dommages probables DPM (Damage Probability Matrix), qui expriment sous une forme discrète la probabilité conditionnelle d'atteindre un dommage de niveau *j*, dû à un séisme d'intensité *i*, P_I ($D=J$).

- les fonctions de vulnérabilité, qui sont des fonctions continues exprimant la probabilité de dépasser un niveau de dommage donné, pour un niveau d'intensité sismique donné [6].

3-2 Méthodes analytiques

3-2-1 Méthodes analytiques détaillées

Le coût économique d'une analyse de vulnérabilité à grande échelle est un axe principal dans le choix du type de cette analyse. On est parfois amener à réduire le nombre de paramètres de cette analyse pour que le budget disponible soit en adéquation avec cette étude. Les méthodes d'analyse à grande échelle basées sur l'affectation d'un indice sont déjà considérées comme des méthodes détaillées car elles nécessitent un temps considérable. Par conséquent, des méthodes analytiques détaillées ne peuvent servir que pour l'évaluation d'un nombre très limité de bâtiments et sont généralement complémentaires à une analyse rapide d'évaluation du potentiel risque. Cependant, le concept des méthodes analytiques peut mener au développement de nouvelles méthodes simples d'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments [6].

Les méthodes analytiques détaillées comportent :

- les analyses statiques linéaires.
- les analyses dynamiques linéaires.
- les analyses statiques non linéaires (méthode pushover).
- les analyses dynamiques non linéaires (analyse pas à pas).

3-2-2 Méthodes analytiques simples

En l'absence de données observables, il n'est pas possible d'établir des fonctions de vulnérabilité basées sur les observations ou sur le jugement d'experts. D'autres méthodes sont alors requises pour l'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments. Ces méthodes doivent avoir la capacité d'analyser un grand nombre de structures dans une période de temps assez courte.

On peut dans ce cas utiliser des modèles simples qui permettent de définir les mécanismes de ruptures probables et ainsi établir les degrés de dommages encourus sous l'effet d'un séisme donné [4,5].

3-3 Méthodes hybrides

L'établissement des courbes de vulnérabilité par une méthode analytique est un procédé extrêmement compliqué qui nécessite beaucoup de temps. Il s'ensuit que les courbes ne peuvent êtres facilement développées pour différents sites à caractéristiques typologiques divers. Cependant les courbes de vulnérabilité sont fréquemment utilisées comme support plutôt que substitut aux DPM et courbes de vulnérabilité empiriques. Tous ces inconvénients ont conduit à l'établissement des méthodes dites hybrides. Ces méthodes hybrides combinent les observations statistiques post-sismiques des dommages avec les dommages analytiques déduits des modèles mathématiques ou utilisent par exemple un système de pointage et les observations de la vulnérabilité. Ces méthodes sont particulièrement avantageuses lorsqu'il y a un manque de données pour un certain niveau d'intensité et pour un site donné.

4- Quelques méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

Il existe dans la littérature plusieurs méthodes qui traitent de la vulnérabilité sismique du bâti existant ; nous allons donner les plus usuelles d'entre elles à travers le monde.

4-1 Méthode (DPM) élaborée par Whitman et al

Le concept des DPM est basé sur le fait que les structures ayant une même typologie structurale, ont la même probabilité de subir un certain niveau de dommage pour une intensité sismique donnée. [6].

L'évaluation des dommages est basée sur une étude statistique des séismes passés. Les premiers à faire un recensement statistique des dommages subis par les bâtiments durant les récents séismes sont Whitman et al. A partir d'un sondage des dommages causés par le séisme de San Fernando du 09 Février 1971 et sur un ensemble de 1600 bâtisses ayant Cinq étages ou plus, des matrices de probabilité ont été générées pour différents types de bâtiments. Le format des DPM suggéré par Whitman et al. est présenté au tableau (1.3), où chaque nombre de la matrice (indiqué par : (…)) exprime la probabilité qu'une structure appartenant à une certaine classe de structure subira un niveau de dommage particulier résultant d'une certaine intensité particulière [5]. Les pourcentages cumulés attribués à chaque degré de dommage pour une intensité sismique donnée doit être de 100%.

(Notons que le ratio de dommage représente le ratio du coût de la réparation au coût du remplacement).

Degré de dommages	Dommages structuraux	Dommages non structuraux	Ratio de dommages (%)	Intensité sismique			
				V	VI	VII	VIII
0	Aucun	Aucun	0-0,05	---	---	---	---
1	Aucun	Mineurs	0,05-0,3	---	---	---	---
2	Aucun	Localisés	0,3-1,25	---	---	---	---
3	Non observables	Étendus	1,25-3,5	---	---	---	---
4	Mineurs	Substantiels	3,5-4,5	---	---	---	---
5	Substantiels	Majeurs	7,5-20	---	---	---	---
6	Majeurs	Presque totaux	20-65	---	---	---	---
7	Bâtiment condamné		100	---	---	---	---
8	Effondrement		100	---	---	---	---
Pourcentage cumulatif				**100%**	**100%**	**100%**	**100%**
Ratios de dommages moyens (MDF)				---	---	---	---

Tableau 1.3 : Format d'une matrice de dommage probable, selon Whitman 1974.

Ce format de matrice de dommage probable est la forme la plus utilisée pour définir la distribution probable des dommages. L'une des premières versions européennes de DPM à été élaborée par Braga et al. (1982), qui s'est basée sur les données des dommages subis par les bâtiments en Italie après le séisme d'Irpinia de 1980 , [6].
Définir une relation entre les dommages et l'intensité sismique basée uniquement sur l'observation de la vulnérabilité nécessite une très grande quantité de données résultant des séismes passés. C'est une approche locale spécifique à la ville ou au pays considéré et ne peut être exportable à d'autres pays sauf dans le cas où la typologie des bâtiments est identique. Dans le cas contraire, d'autres méthodes qui ne nécessitent pas autant de données post-sismiques peuvent alors être utilisées [5].

4-2 Méthode de l'ATC-13

Etablir une relation entre les probabilités de dommages excédant un certain pourcentage pour une classe de bâtiments donnée et un séisme donné, exprimé en termes d'Intensité de Mercali Modifiée (MMI) ou en terme de PGA (peak ground acceleration), est une tache difficile pour laquelle les données et les méthodes qui existent sont souvent insuffisantes. En 1985, l'ATC (the Applied Technology Council) a publié le rapport ATC-13 (Earthquake Damage Evaluation Data for California) commandé par la FEMA (Federal Emergency Management Agency). Ce rapport a été développé dans le but de palier au manque de données issues des séismes passés, de fournir une opinion des experts sur les niveaux de dommages que peuvent subir des

bâtiments suite à un séisme de niveau donné , de mettre au point une méthodologie d'estimation des pertes et enfin, fournir des données pour estimer l'impact économique local, régional et national des séismes en Californie.[7]. Plus de 50 experts ont été sollicités dans le but d'estimer la probabilité des dommages (ratio de perte sur coût de remplacement exprimé en pourcentage) pour 78 classes d'installation dont 36 se réfèrent à des bâtiments et cela pour une Intensité de Mercali Modifiée (MMI) allant du degré VI à XII. Trois niveaux de dommages ont été établis : (MB) (Mean Best) valeur médiane de la probabilité de dommage supérieure à 60%, (ML) (Mean Low) valeur médiane de la probabilité de dommage supérieur à 5%, et (MH) (Mean High), valeur médiane de la probabilité de dommage supérieure à 95%. Une distribution log-normale a été utilisée pour estimer les différents niveaux de dommages observés pour une intensité et une typologie données.(fig1.3) et (fig.1.4). Par la suite des DPM on été établies pour chaque classe et pour chaque niveau d'intensité [6].

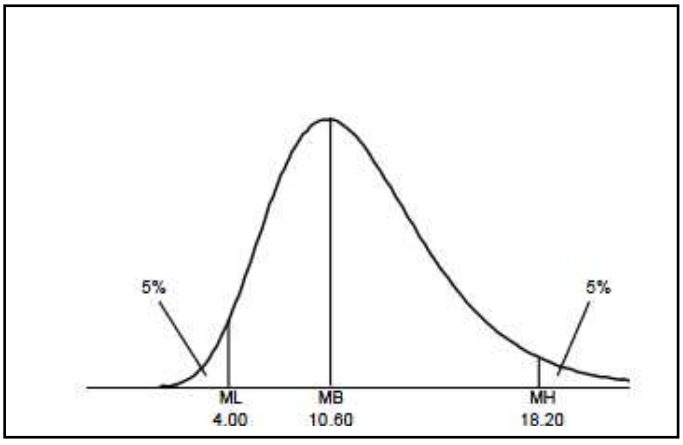


Fig.1.3 : Exemple de distribution log-normale des dommages observés pour une intensité donnée.(ML : Mean Low, MB : Mean Best, MH : Mean High) [6].

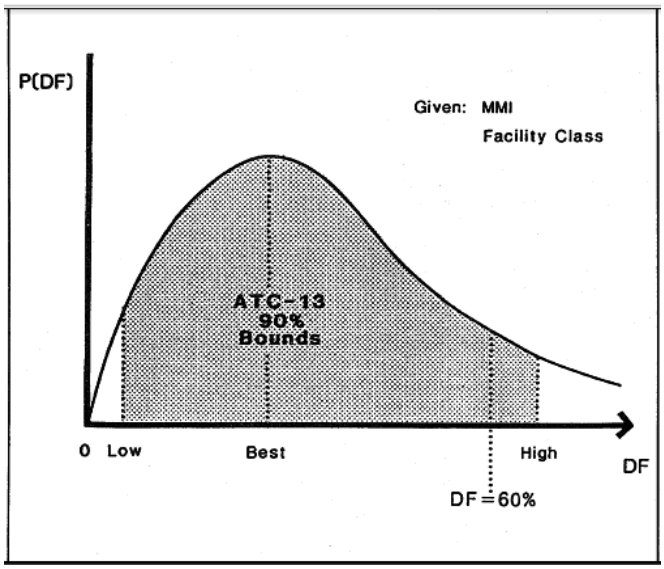


Fig.1.4 : Exemple de distribution de la probabilité de dommage observé après des séismes californiens pour une intensité et une typologie données [8]

Le principal inconvénient de cette méthode est son approche subjective du fait que les matrices de dommages sont établies sur un jugement d'opinion personnelle des experts d'où sa subjectivité. Ajouter à cela les incertitudes d'estimation des dommages inhérents à la variabilité du comportement des bâtiments de tout le parc existant. Les matrices de probabilité de dommages sont aussi difficiles à calibrer pour incorporer des bâtiments construits avec de nouvelles technologies. Enfin, il est difficile d'étendre cette méthode à d'autres régions ayant une autre typologie du bâti. Cependant, de par son analyse approfondie cette méthode est devenue un standard pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique jusqu'au milieu des années 90 [5].

4-3 Méthode EMS-98

Le concept de vulnérabilité est fondamental dans la construction d'une échelle d'intensité moderne ; l'échelle de Mercalli modifiée dans sa formulation de 1956 par Richter ou l'échelle MSK publiée en 1964 avait traité ce problème par la prise en compte d'une manière non explicite de la vulnérabilité des bâtiments en établissant une classification des bâtiments selon leur type c'est-à-dire selon les matériaux de construction utilisés pour résister au système des charges latérales. Mais l'évolution des règles et des techniques de construction ont rendu nécessaire l'amélioration de cette échelle pour pouvoir intégrer les résultats relatifs aux techniques de constructions récemment introduites. Après douze années de travail soutenu, une nouvelle échelle d'intensité fut établie : l'Echelle Macroscopique Européenne [3].

La plupart des échelles d'intensité à douze degrés (Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), MSK/EMS-98, les versions de ``Mercalli modifiées'') sont pratiquement équivalentes les unes aux autres en termes de valeurs réelles ; mais, l'innovation majeure de l'EMS-98 fut l'introduction du tableau de vulnérabilité qui permet de traiter en un schéma unique différents types de constructions. Elle se différencie aussi par le degré de détail avec lequel elle définit les degrés de dommages, avec des dessins représentant graphiquement ce que l'on entend par degrés de dommages et des photographies comme exemples pour une comparaison avec des cas réels [3].

4-3-1 Typologie et classe de vulnérabilité

Dans cette échelle (EMS-98), on a tenté de se rapprocher de classes représentant la vulnérabilité des bâtiments et non pas une classification selon le type de construction établi par l'échelle MSK comme première tentative pour exprimer la vulnérabilité des bâtiments. Six classes de vulnérabilité décroissante ont été proposées, les classes (A-F) représentant une maison en briques crues, un bâtiment de brique et une structure en béton armé. Les classes D et E prévues pour représenter la décroissance linéaire de la vulnérabilité en fonction de l'amélioration du degré de conception parasismique. La classe F censée représenter la vulnérabilité d'une structure avec un bon degré de conception parasismique (Tableau.1.4). Pour chacun des types de bâtiments, le tableau (1.4) présente une ligne indiquant la classe de vulnérabilité la plus vraisemblable pour ce type ainsi que l'intervalle probable (indiqué par une ligne en pointillés). La position sur la ligne est trouvée en prenant en compte d'autres facteurs comme l'état de vétusté, la qualité de la construction, l'irrégularité de la forme du bâtiment, le niveau de conception parasismique ainsi que d'autres facteurs [3].

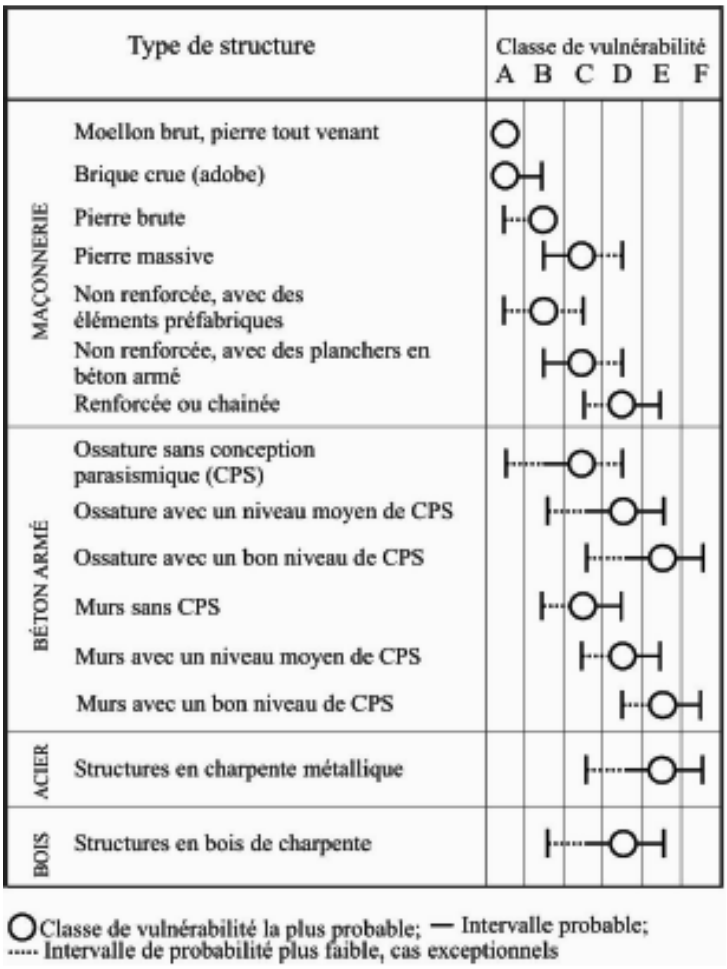


Tableau 1.4 : Classes de vulnérabilité selon l'EMS-98. [3]

4-3-2 Echelle des dommages

L'échelle EMS-98 comprend Cinq degrés de dommages définis dans les tableaux (1.5) et (1.6) pour les constructions en maçonnerie et les constructions en béton armé. Ces schémas d'augmentation des dommages en fonction de l'accroissement de l'intensité sont déduits des distributions statistiques des dommages structuraux et non structuraux observées et traduisent ainsi l'aspect qualitatif de cette échelle.

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

Tableau 1.5 : Degrés de Dommage relatifs aux constructions en maçonnerie [3].

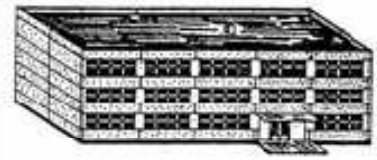
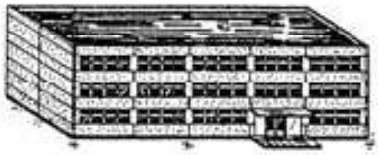
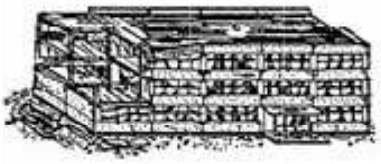
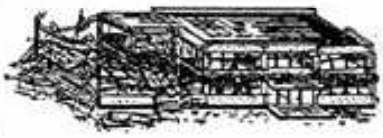
Classification des dégâts aux bâtiments en BETON ARME (Degré 0 (D0) : dégâts nuls)	
	**Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structuraux)** Fissures fines dans le plâtre sur les parties de l'ossature ou sur les murs à la base. Fissures fines dans les cloisons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

Tableau 1.6 : Degrés de Dommage relatifs aux constructions en béton armé,[3]

4-3-3 Estimations des dommages

La définition de l'échelle d'intensité macroscopique EMS-98 permet d'estimer les dommages observés sur différents types de structure. Cette méthode utilise l'intensité comme donnée d'entrée du séisme. Elle est définie à l'origine pour caractériser les effets d'un séisme sur les constructions, les objets et les humains. Dans le cadre d'une analyse de vulnérabilité, son application est détournée en ce sens qu'on décrit les dommages probables en fonction de l'intensité, sur la base des répartitions statistiques des dommages observés par typologie [1]. L'EMS-98 fait une description qualitative des dommages en utilisant les notions ``quelques'', ``de nombreux'', ``la plupart'' (explicitées sur la Figure 1.5) pour Cinq niveaux de dommages allant de V à XII et pour six classes de vulnérabilités (de A à F). Les matrices caractérisant les dommages en fonction des intensités EMS-98 et pour une classe de vulnérabilité C sont présentées dans le tableau (1.7).

Niveau de dommage / **Intensité**	**Degrés de Dommage :** 1	2	3	4	5
V					
VI	**QUELQUES**				
VII		**QUELQUES**			
VIII		**NOMBREUX**	**QUELQUES**		
IX			**NOMBREUX**	**QUELQUES**	
X				**NOMBREUX**	**QUELQUES**
XI					**NOMBREUX**
XII					**LA PLUPART**

Tableau 1.7 : Caractérisation des Dommages en fonction des Intensités EMS-98 pour une Vulnérabilité de Classe C [6].

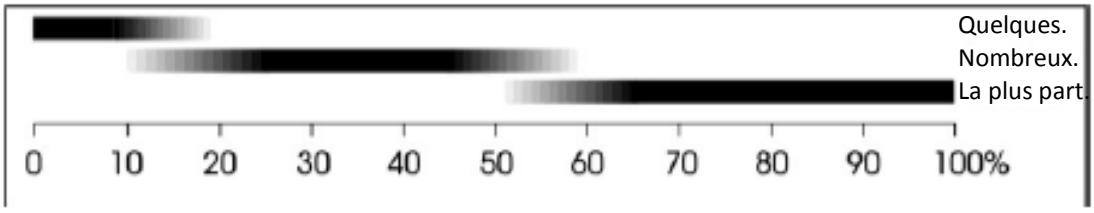


Fig.1.5 : Description en pourcentage des notions : quelques, nombreux, la plupart selon l'EMS-98 .[3]

on constate que pour une caractérisation des dommages en fonction des intensités, cette méthode est considérée comme étant très sommaire car les matrices de l'EMS-98 donnent une description qualitative des dommages sans fournir d'informations sur tous les degrés de dommage pour une intensité donnée, Mais dans le cas où une typologie détaillée de la zone d'étude est disponible avec sa répartition spatiale, il est possible d'avoir une première estimation des zones les plus vulnérables. L'EMS-98 peut être définie comme le niveau 0 d'une analyse de vulnérabilité et est acceptée comme un standard en Europe [6,3].

4-4 Méthode de l'ATC-21 et FEMA-154

Suite au rapport de l'ATC-21 ((the Applied Technology Council), Le Federal Emergency Management Agency (FEMA) a proposé dans ces versions FEME-154 et FEMA-155 une procédure rapide (RVS : Rapid Visual Screening) pour identifier et classer les bâtiments potentiellement vulnérables au séisme. Pour cela, une typologie de bâtiments a été proposée en tenant compte du système structural résistant aux charges horizontales et du type de matériaux structuraux. Les principales typologies du FEMA-155 sont :

- W1 structure en bois (légère), résidentielle ou commerciale, ≤ 465 m^2 .
- W2 bâtiments en bois ≥ 465 m^2 (5000 square feet).
- S1 portiques en charpente métallique.
- S2 charpente métallique contreventée.
- S3 structure métallique légère.
- S4 portique métallique avec mur en béton armé.
- S5 portique métallique avec remplissage en maçonnerie non armée.
- C1 portique en béton armé.
- C2 mur porteur en béton armé.
- C3 portique en béton armé avec remplissage en maçonnerie non armée.
- PC1 bâtiment à mur porteur préfabriqué.
- PC2 portiques en béton préfabriqués.
- RM1 maçonnerie armée avec plancher flexible et toit rigide diaphragme.
- RM2 maçonnerie armée avec plancher diaphragme rigide.
- URM maçonnerie non armée.

Pour chaque typologie de bâtiment définie et en fonction de la zone d'étude (faible, moyenne ou forte sismicité) on affecte un indice de vulnérabilité de base appelé BSH (Basic Structural Hazard). Cet indice est modulé à la hausse (ou à la baisse) en fonction d'autres paramètres (nombre d'étages, régularité en plan et en élévation, type de sol, construction avant ou après le code parasismique). La valeur de l'indice final obtenu **S** est comprise entre 0 et 7 (fig1.6). Dans le FEMA-155 une valeur de **S** élevée signifie une vulnérabilité sismique faible [9].

-Signification de l'indice BSH (Basic Structural Hazard)

Dans le FEMA-154 (ou ATC-21) l'indice BSH est défini pour une typologie de bâtiments donnée, comme la valeur négative du logarithme (base 10) de la probabilité de dépassement d'une valeur de dommage D de 60%.

$$BSH = -\log_{10} [Pr(D \geq 60\%)] \qquad (1.2)$$

L'indice final **S** mesure la probabilité de dommages supérieure ou égale à 60% pour un bâtiment donné.
La valeur de 60% est généralement acceptée comme étant le seuil des dommages probables majeurs. C'est la valeur au delà de laquelle un bâtiment est démoli plutôt que réparé [9].

$$\mathbf{S} = -\log_{10} [Pr(D \geq 60\%)] \qquad (1.3)$$

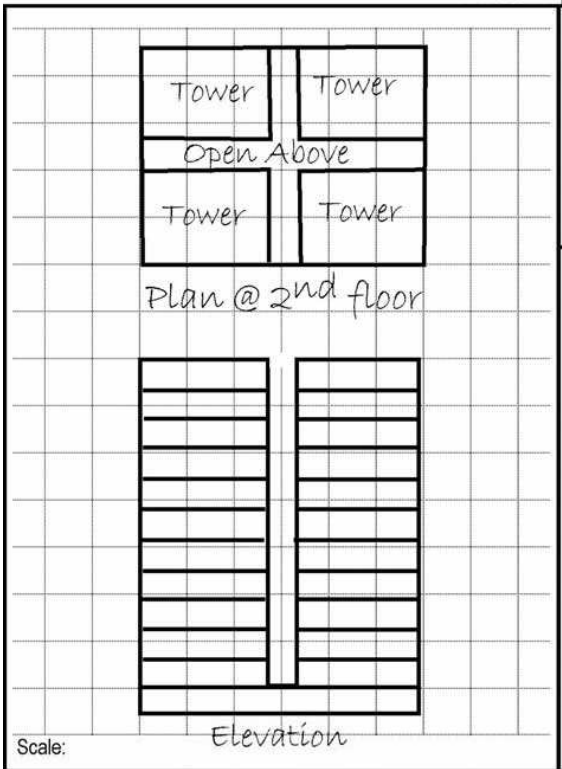
Les fiches de relevé de cette méthode, font aussi office de fiche d'analyse de la vulnérabilité [1]. Dans le guide d'utilisation de cette méthode, on trouve des illustrations et des exemples très précis pour identifier la typologie des bâtiments [9]. On note aussi que dans cette méthode l'indice **BSH** dépend de l'aléa sismique, qu'elle est peu couteuse et très rapide. Mais la typologie définie (spécifique à l'Amérique) fait apparaitre la difficulté de l'exporter à d'autres pays où la majeure partie des bâtiments est très ancienne.

Fig.1.6 : Exemple de relevé d'une fiche par la méthode RVS dans une zone a forte sismicité, [9].

Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards

FEMA-154 Data Collection Form

HIGH Seismicity



Address: 3711 Roxbury St.
Anyplace Zip 91234
Other Identifiers Parcel 7469027034
No. Stories 12 Year Built 1944
Screener A. Jones/D. Tay.or Date 2/28/01
Total Floor Area (sq. ft.) 34,800
Building Name
Use Commercial and Offices above



OCCUPANCY	SOIL	TYPE	FALLING HAZARDS
~~Assembly~~ Govt (Office) Commercial Historic Residential Emer. Services Industrial School	Number of Persons 0 – 10 11 – 100 (101-1000) 1000+	A Hard Rock; B Avg. Rock; C Dense Soil; (D Stiff Soil); E Soft Soil; F Poor Soil	☐ Unreinforced Chimneys ☐ Parapets ☐ Cladding ☒ Other: Cornices

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL SCORE, S

BUILDING TYPE	W1	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM
Basic Score	4.4	3.8	2.8	3.0	3.2	2.8	2.0	2.5	2.8	1.6	2.6	2.4	2.8	2.8	1.8
Mid Rise (4 to 7 stories)	N/A	N/A	+0.2	+0.4	N/A	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.2	N/A	+0.2	+0.4	+0.4	0.0
High Rise (> 7 stories)	N/A	N/A	+0.6	+0.8	N/A	+0.8	+0.8	+0.6	+0.8	+0.3	N/A	+0.4	N/A	+0.6	N/A
Vertical Irregularity	-2.5	-2.0	-1.0	-1.5	N/A	-1.0	-1.0	-1.5	-1.0	-1.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Plan irregularity	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Pre-Code	0.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.8	-0.2	-1.2	-1.0	-0.2	-0.8	-0.8	-1.0	-0.8	-0.2
Post-Benchmark	+2.4	+2.4	+1.4	+1.4	N/A	+1.6	N/A	+1.4	+2.4	N/A	+2.4	N/A	+2.8	+2.6	N/A
Soil Type C	0.0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Soil Type D	0.0	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
Soil Type E	0.0	-0.8	-1.2	-1.2	-1.0	-1.2	-0.8	-1.2	-0.8	-0.8	-0.4	-1.2	-0.4	-0.6	-0.8

FINAL SCORE, S 0.5

COMMENTS

Detailed Evaluation Required (YES) NO

* = Estimated, subjective, or unreliable data
DNK = Do Not Know

BR = Braced frame
FD = Flexible diaphragm
LM = Light metal

MRF = Moment-resisting frame
RC = Reinforced concrete
RD = Rigid diaphragm

SW = Shear wall
TU = Tilt up
URM INF = Unreinforced masonry infill

4-5 Méthode RISK-UE

Mené entre 2001 et 2004, l'objectif du programme européen de recherche RISK-UE était le développement d'une méthode standard de scénarii sismiques fondée sur les caractéristiques communes de sept villes européennes : Barcelone (Espagne), Bitola (Macédoine), Bucarest (Roumanie), Catane (Italie), Nice (France), Sofia (Bulgarie) et Thessaloniki (Grèce) ayant en commun, un centre historique et un patrimoine culturel important. Cette méthode utilise la corrélation statistique entre l'intensité macroscopique et le dommage apparent de l'échelle EMS-98. Dans un premier temps, on quantifie pour chaque élément de la typologie RISK-UE (tableau1.8) un indice de vulnérabilité Vi qui représente l'appartenance d'un bâtiment à une classe de vulnérabilité. Ces valeurs sont comprises entre 0 (non vulnérable) et 1 (très vulnérable). Cet indice permet de calculer le taux de dommage moyen μ_D en fonction de l'intensité macroscopique I et de l'indice de vulnérabilité Vi selon l'équation :

$$\mu_D = 2.5 \left[1+ \tanh\left(\frac{I + 6.25Vi - 13.1}{3.2}\right)\right] \qquad (1.4)$$

Où μ_D est un nombre qui varie entre 0 et 5 prolongeant de façon continue les degrés de dommages D_0 à D_5 de l'échelle EMS-98. $\mu_D = 0$ signifie une absence de dommage et $\mu_D = 5$ correspond au dommage D_5 (destruction du bâtiment). Chaque taux de dommage correspondant à un indice de vulnérabilité donné est transcrit en distribution d'endommagement par une loi de type bêta pour une intensité donnée. Cette loi définit la probabilité associée à chaque degré EMS-98 que le bâtiment est susceptible de subir Figure(1.6).

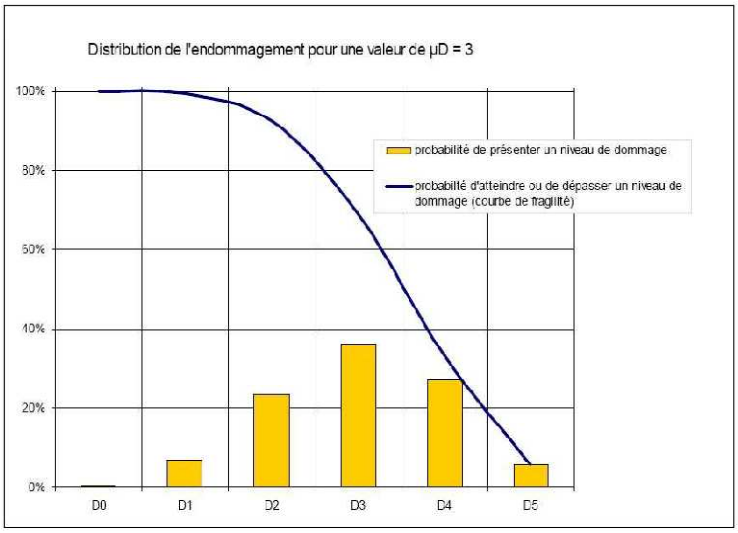


Fig.1.7 : Exemple de distribution de dommages pour $\mu_D = 3$ et I = VIII [10].

La méthode RISK-UE a aussi l'avantage de donner un intervalle plausible de l'indice de vulnérabilité $[IV^{-} ; IV^{+}]$ centré autour de la valeur la plus probable notée V^{*} ainsi que les limites minimales IV^{min} et maximales IV^{max} de chaque élément de la typologie, voir(Tableau1.8) [1,10].

Tableau 1.8 : Typologie RISK-UE et valeurs représentatives de Vi [1].

code	typologie	Vimin	Vi-	Vi	Vi+	Vimax
M1	**Mur porteur maçonnerie de pierre en :**					
M1.1	Moellons	0.620	0.810	0.873	0.980	1.020
M1.2	Pierre appareillées	0.460	0.650	0.740	0.830	1.020
M1.3	Pierre de taille	0.300	0.490	0.616	0.793	0.860
M2	**Adobe**	0.620	0.687	0.840	0.980	1.020
M3	**Mur porteur en maçonnerie non armée**					
M3.1	Plancher bois	0.460	0.650	0.740	0.830	1.020
M3.2	Voûtes en maçonnerie	0.460	0.650	0.776	0.953	1.020
M3.3	Plancher avec poutrelle métallique et maçonnerie	0.460	0.527	0.704	0.830	1.020
M3.4	Plancher béton armé	0.300	0.490	0.616	0.793	0.860
M4	**Mur porteur en maçonnerie armée ou confinée**	0.140	0.330	0.451	0.633	0.700
M5	**Construction en maçonnerie renforcée dans leur ensemble**	0.300	0.490	0.694	0.953	1.020
RC1	**Système poteaux/poutres**	-0.020	0.047	0.442	0.800	1.020
RC2	**Mur de refend en béton**	-0.020	0.047	0.386	0.670	0.860
RC3	**Système poteaux/poutres avec mur de remplissage en maçonnerie non armée**					
RC3.1	Structure régulière avec remplissage	-0.020	0.007	0.402	0.760	0.980
RC3.2	Structure irrégulière (système porteur ou remplissage irrégulier ou niveau souple)	0.060	0.127	0.522	0.880	1.020
RC4	**Structure mixte en béton armé (portique et murs en béton)**	-0.020	0.047	0.386	0.670	0.860
RC5	**Mur en béton préfabriqué**	0.140	0.207	0.384	0.510	0.700
RC6	**Structure en béton préfabriqué avec murs de refend en béton**	0.300	0.367	0.544	0.670	0.860
S1	**Système poteaux/poutres en acier**	-0.020	0.047	0.363	0.640	0.860
S2	**Structure en acier contreventées**	-0.020	0.047	0.287	0.480	0.700
S3	**Système poteaux/poutres en acier avec mur de remplissage en maçonnerie non armée**	0.140	0.330	0.484	0.640	0.860
S4	**Système poteaux/poutres en acier avec mur de refend en béton coulé en place**	-0.020	0.047	0.224	0.350	0.540
S5	**Système de composants acier et béton armé**	-0.020	0.257	0.402	0.720	1.020
W	**Structure en bois**	0.140	0.207	0.447	0.640	0.860

Une fois la typologie déterminée et si le bâtiment possède des critères structuraux susceptibles de diminuer sa performance sismique, un facteur additif ΔV_m est rajouté à l'indice Vi. Les tableaux (1.9) et (1.10) donnent des exemples des facteurs associés aux critères structuraux.

Facteurs aggravants pour les bâtiments RC et acier	*Facteurs de vulnérabilité*		*Code Bas*	*Code Moyen*
	Nb d'étages	*Bas (1, 2ou 3)*	*-0,04*	*-0,04*
		Moyen (4, 5 ou 6)	*0*	*0*
		Haut (7 ou plus)	*+0.08*	*+0.06*
Irrégularité en plan	Forme (L, C)	*Oui*	*+0.02*	*+0.01*
		Non	*0*	*0*
	Protubérance	*Oui*	*+0.02*	*+0.01*
		Non	*0*	*0*
Irrégularité élévation	Saillie	*Oui*	*+0.02*	*+0.01*
		Non	*0*	*0*
	Retrait	*Oui*	*+0.02*	*+0.01*
		Non	*0*	*0*
	Joints insuffisants (non PS)	*Oui*	*+0.04*	*0*
		Non	*0*	*0*
	Poteaux courts	*Oui*	*+0.02*	*+0.01*
		Non	*0*	*0*
	Règles PS	Avant 1982 : L	*+0.16*	
		Après 1982 : M		*0*

Tableau 1.9 : Facteurs associés aux critères structuraux – cas des bâtiments acier, béton armé ou bois [10].

Facteurs aggravants pour les bâtiments en maçonnerie	*Facteurs de vulnérabilité*		
	Etat d'entretien	*B = bon*	*-0,04*
		M = mauvais	*+0.04*
	Nb d'étages	*Bas (1 ou 2)*	*-0,04*
		Moyen (3, 4 ou 5)	*0*
		Haut (6 ou plus)	*+0.04*
Irrégularité en plan	Forme (L, C)	*Oui*	*+0.02*
		Non	*0*
	Protubérances	*Oui*	*+0.02*
		Non	*0*
Irrégularité élévation	Saillie	*Oui*	*+0.01*
		Non	*0*
	Retrait	*Oui*	*+0.01*
		Non	*0*
Interaction entre bâtiment	*Position dans l'îlot*	*A = angle*	*+0.04*
		M = milieu	*-0.04*
		T = tête d'îlot	*+0.06*
	Différence de hauteur/voisin	*Oui*	*+0.02*
		Non	*0*
	Irrégularité en toiture	*Oui*	*+0.04*
		Non	*0*
	Décalage de plancher	*Oui*	*+0.04*
	Transparence - démolition	*Oui*	*+0.04*
	Balcons - cheminées	*Oui*	*+0.01*
	Etages: haut. différente	*Oui*	*+0.04*
		Non	*0*

Tableau 1.10 : Facteurs associés aux critères structuraux – cas des bâtiments en Maçonnerie [10].

Enfin la variabilité du comportement est prise en compte par le rajout d'un autre facteur correctif ΔV_f .

Dans cette méthode, l'indice de vulnérabilité est déterminé bâtiment par bâtiment ; néanmoins, elle peut être utilisée sur un ensemble de bâtiments en divisant la ville par quartiers et en choisissant des itinéraires où les bâtiments sont représentatifs de l'ensemble du bâti de ce quartier (Cas d'étude de la ville de Nice).[1]. Notons enfin que dans RISK-UE, une autre méthode à été développée dite de niveau 2 basée sur la capacité d'une structure à dissiper l'énergie et qui ne fait pas l'objet de cette étude [1,10].

4-6 La Méthode GNDT

Cette méthode à été développée par le groupe national de défense contre les tremblements de terre dans le but de caractériser la vulnérabilité des structures en maçonnerie et en béton armé en se basant sur les dommages post sismiques observés suite aux séismes destructeurs survenus en Italie. Deux niveaux d'analyse ont été définis auxquels correspondent deux types de formulaires. Dans le cas des bâtiments en maçonnerie :

Le niveau 1 consiste à récolter des informations générales traduites par : la localisation de la structure, ses dimensions, son utilisation, l'état du bâtiment, la typologie structurale, l'étendue et les niveaux des dégâts.

Le niveau 2 consiste à caractériser de façon plus précise, la structure en combinant des informations descriptives et quantitatives grâce à onze paramètres décrits au tableau (1.11). On assigne à chaque paramètre du tableau une classe de vulnérabilité parmi quatre possibilités A, B, C et D où A est la classe la moins vulnérable et D la classe la plus vulnérable, B et C sont des classes intermédiaires. A chaque paramètre et à chaque classe correspond une cote $\mathbf{S_i}$ qui est pondérée par un facteur $\mathbf{W_i}$ (Tableau.2.12). L'indice de vulnérabilité **IV** est calculé comme la somme des cotes pondérée $\mathbf{S_i}$ [1,4] soit :

$$IV = \sum S_i \, . \, W_i \qquad (1.5)$$

Tableau 1.11 : Paramètres du formulaire de niveau 2 du GNDT pour les bâtiments en maçonnerie [1].

1	Type et organisation du système résistant
2	Qualité du système résistant
3	Résistance conventionnelle sous charges latérales
4	Localisation de la structure et fondation
5	Caractéristique des planchers
6	Régularité en plan
7	Régularité en élévation
8	Distance entre murs
9	toiture
10	Eléments non structuraux
11	Etat de fait

Tableau 1.12 : Classe de vulnérabilité et facteurs de pondération de chacun des paramètres structuraux [1].

paramètres	**A**	**B**	**C**	**D**	**W_i**
1	0	5	20	45	1,00
2	0	5	25	45	0,25
3	0	5	25	45	1,50
4	0	5	25	45	0,75
5	0	5	15	45	Var
6	0	5	25	45	0,50
7	0	5	25	45	Var
8	0	5	25	45	0,25
9	0	15	25	45	Var
10	0	0	25	45	0,25
11	0	5	25	45	1,00

Pour les paramètres 5, 7 et 9, la pondération W_i varie entre 0,5 et 1, suivant la classe de vulnérabilité [1].

Une démarche similaire à été adoptée pour déterminer l'indice de vulnérabilité des bâtiments en béton armé. Deux fiches pour deux niveaux de relevés ont été établies :

Le niveau 1 où la majorité des informations est identique à celles des bâtiments en maçonnerie mis à part la définition de la nature des éléments porteurs verticaux et horizontaux, des étages et de la toiture.

Le niveau 2 caractérise la structure par douze paramètres identiques aux paramètres des bâtiments en maçonnerie. Les seules différences portent sur les paramètres 8 et 9 du tableau (1.11) qui sont remplacés par ``connections et éléments critiques'' et ``éléments fragiles ''. Un douzième paramètre à été introduit aussi et qui caractérise la qualité des matériaux.(Tableau.1.13). La fiche du niveau 2 prend en compte aussi différents types d'informations concernant la géométrie et la position des éléments résistants par la forme des bâtiments et la position centrée ou excentrée de la cage d'escalier et des ascenseurs [1, 11].

1	Type et organisation du système résistant
2	Qualité du système résistant
3	Résistance conventionnelle sous charges latérales
4	Localisation de la structure et fondation
5	Caractéristique des planchers
6	Régularité en plan
7	Régularité en élévation
8	Connections et éléments critiques
9	Eléments fragiles (poteaux courts)
10	Eléments non structuraux
11	Etat de fait
12	Qualité des matériaux

Tableau 1.13 : Paramètres du formulaire de niveau 2 du GNDT pour les bâtiments en béton armé [1].

La méthode GNDT présente l'avantage de se baser sur des analyses statistiques du comportement des maçonneries lors de tremblements de terre. Pour une bonne évaluation, cette méthode nécessite une auscultation visuelle plus exhaustive de chaque bâtiment rendant la méthode d'évaluation à grande échelle très coûteuse. Plusieurs auteurs ont incorporé des modifications à la méthode afin de calculer différents indices de vulnérabilité : on peut citer l'exemple de l'Espagne et de l'Algérie. Notons finalement que l'indice de vulnérabilité ainsi déterminé n'est pas un indice du risque sismique car il ne considère pas l'aléa sismique.

4-7 la méthode HAZUS

HAZUS est un logiciel interactif élaboré en 1997 par le NIBS (National Institute of Bulding Science) pour l'évaluation du risque sismique à partir du jugement d'experts pour 36 modèles de bâtiments correspondant à la classification typologique du FEMA-178. Pour une analyse complète des pertes potentielles dues aux tremblements de terre, la méthodologie tient compte du type et de la qualité des constructions, de la localisation, de l'heure et de la dimension de l'événement ainsi que de la densité de la population et du tissu économique de la région [4,12].

HAZUS donne la possibilité de faire une analyse à trois niveaux:

-Niveau 1 en utilisant les données de base ("default data Analyse").

-Niveau 2 où les données doivent être complétées par l'utilisateur ("user suplied data analysis") ce niveau permet à l'utilisateur une meilleure exploitation des méthodes standards du programme.

-Niveau 3 qui est un modèle avancé pour des analyses locales plus précises ("Advanced data and models analysis").

L'analyse par cette méthodologie nous permet d'estimer les caractéristiques spectrales spécifiques d'un site et à partir de ces caractéristiques, calculer les dégâts des infrastructures en utilisant les fonctions de dommages.

L'ampleur et la sévérité des dommages des composants structuraux et non- structuraux d'un bâtiment sont qualifiées par un des 5 états de dommages: rien, léger, modéré, étendu et complet. La probabilité d'atteindre ou de dépasser un état de déformation permanent du sol pour une accélération donnée est caractérisée par des fonctions de dommages. Dans HAZUS, les fonctions de dommages utilisées sont: les courbes de fragilité et les courbes de capacité du bâtiment. Les courbes de fragilité décrivent la probabilité d'atteindre ou de dépasser un état particulier de dommage (ds) pour une accélération horizontale du sol (Sd) (ou un déplacement horizontal du sol) [12] (figure 1.8)

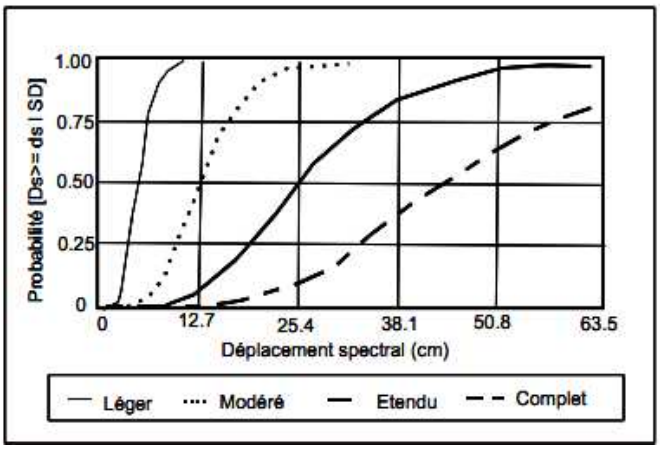


Fig. 1.8 : Exemple de courbes de fragilité pour les états de dommages : léger, modéré, étendu et complet [12].

Les courbes de capacité, ou « pushover curves » donnent l'effort de cisaillement total agissant sur une structure, ou l'accélération spectrale correspondante Sa, en fonction du déplacement latérale maximum, ou le déplacement spectral [12]. Un exemple de courbe de capacité d'un bâtiment est donné dans la figure (1.9).

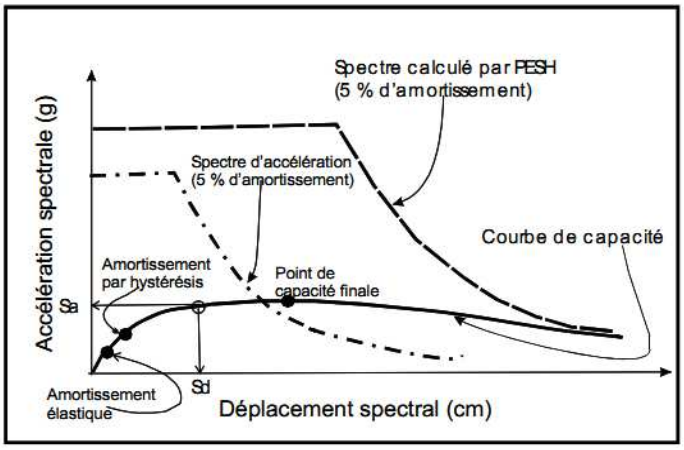


Fig.1.9 : Exemple de courbe de capacité d'un bâtiment. [12]

La méthodologie HAZUS offre une grande flexibilité à l'utilisateur : par son approche modulaire, elle opère sous un système d'information géographique et offre ainsi une convivialité des manipulations des données. Mais la classification des sols, les facteurs d'amplification et les types de constructions utilisés spécifiques aux Etats-Unis ne peuvent être exportés que dans des pays ayant les mêmes spécificités géographiques et urbanistiques.

4-8 La méthode RADIUS (Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disasters)

En décembre 1988, l'assemblée générale des Nations Unies a déclarée les années 1990-1999 comme la Décennie Internationale pour la prévention des Catastrophes Naturelles (DIPCN). Cette décennie était destinée à promouvoir la coopération internationale afin de réduire les effets globaux des désastres naturels.

A cet effet une nouvelle approche est adoptée par le Secrétariat de la Décennie Internationale de prévention des catastrophes (IDNDR : International Dacade for Natural Desaster Reduction 1990-2000), un projet établissant des instruments d'évaluation des risques pour le diagnostic des zones urbaines contre les catastrophes sismiques. En mettant les technologies modernes et la connaissance scientifique au service des communautés locales, RADIUS vise à accroitre la capacité des populations locales de sauver des vies et de réduire les pertes économiques dans les zones exposées aux séismes.

L'initiative RADIUS prévoit des études de cas qui seront faites dans des villes exposées aux tremblements de terre et qui ont été sélectionnées d'après l'engagement des autorités élues afin de réduire l'impact des séismes sur ces villes. L'approche doit assurer une interaction étroite entre les technologies et la connaissance des populations locales. Pour cela neuf villes ont été sélectionnées : Addis Abbeba (Ethiopie), Antofagasta (Chili), Bandung (Indonésie), Guayaquil (Equateur), Izmir (Turquie), Skopje (Ex- République Yougoslave de Macédoine), Tashkent (Ouzbékistan), Tijuana (Mexique), Zigong (Chine).

RADIUS vise à préparer des scénarios de catastrophe, des plans d'actions préventives et le développement d'instruments pratique pour évaluer le risque sismique en zone urbaine. L'initiative RADIUS offre aussi la possibilité de partager des données avec d'autres villes qui participent au projet et encourage la promotion d'activités de réduction des effets du tremblement de terre dans les zones urbaines [13].

5 - Conclusion :

Nous avons passé en revue les approches les plus importantes qui traitent de l'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments.
Plusieurs autres méthodes existent dans la littérature et certaines d'entre elles sont difficiles à classer dans une des catégories considérées dans cette étude. Néanmoins, nous avons essayé de donner le principe, les avantages et les inconvénients des méthodes américaines et européennes les plus largement et les plus couramment utilisées. Dans toutes ces approches, la vulnérabilité sismique des bâtiments est déterminée soit par rapport à une typologie, soit par l'affectation d'un indice de base qui par la suite est modulé en fonction des caractéristiques structurales de la bâtisse.
Notons qu'une méthode ne peut remplir à elle seule, toutes les conditions d'une analyse fiable. Pour ce, beaucoup de pays ont opté pour des analyses gigognes où chaque niveau d'analyse permet d'identifier les structures nécessitant une analyse plus approfondie dans le but d'une réhabilitation ultérieure. Nous pouvons citer comme exemple, la méthode FEMA-154 et ATC-21 où l'évaluateur mentionne si une évaluation plus détaillée est requise pour le bâtiment considéré.
Du fait que chaque pays possède une typologie spécifique du bâti, fruit de sa propre culture et de son histoire ancienne et contemporaine, les méthodes d'évaluation sont généralement difficiles à exporter vers d'autres pays.
Il s'avère donc nécessaire pour les pays sismiques de se doter de leurs propres méthodes d'évaluation ou d'adapter des méthodes déjà utilisées et reconnues à leur propre contexte afin de pouvoir :
- évaluer les conséquences d'un séisme probable.
-identifier les zones les plus vulnérables.
-permettre ainsi aux pouvoirs publics, de mettre en place une politique de gestion du risque sismique.

CHAPITRE 2

PRÉSENTATION DE LA MÉTHODE DE L'INDICE DE VULNÉRABILITÉ EN ALGÉRIE

1 Introduction

Pour se prémunir des effets des séismes sur le bâti existant, les pays sujets aux secousses sismiques se doivent de développer, ou d'adapter une méthode pour estimer la vulnérabilité sismique des bâtiments existants. Une des premières approches pour évaluer la vulnérabilité sismique des bâtiments en zones urbaines est de diviser les bâtiments en différentes classes, en fonction de leur type, c'est-à-dire en fonction des matériaux de construction utilisés pour résister aux systèmes de charges latérales. En vue d'une analyse plus détaillée, l'expérience des séismes passés montre que les éléments structuraux et non structuraux ont une grande influence sur la réponse sismique des constructions. Cette prise en compte est dans le droit fil de la méthode développée par Benedetti communément appelée "méthode de l'indice de vulnérabilité".

Dans le but d'adapter au contexte algérien une méthode qui, dans une échelle d'analyse, ne soit considérée ni très globale c'est-à-dire typologique, ni très détaillée, nécessitant beaucoup de calcul, la méthode de l'indice de vulnérabilité développée par Benedetti se présente comme étant la mieux appropriée pour être exportée dans les pays du bassin méditerranéen. Elle a d'ailleurs été développée pour l'Espagne et appliquée à l'étude des scénarii de dommage pour la région de Barcelone.

Quatre travaux de mémoire de magister ont été menés dans le but d'adapter et de développer cette méthode au contexte algérien pour différents types de structures. On peut citer :

- Détermination de l'indice de vulnérabilité pour les constructions en maçonnerie [14,15,16]
- Détermination de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments en béton armé [17, 15].
- Détermination de l'indice de vulnérabilité pour les structures en charpente métallique [18].
- Détermination de l'indice de vulnérabilité pour les structures mixtes [19,15].

Dans ce qui suit, nous allons donner les principaux développements de cette méthode pour chaque type de construction et préciser les apports jugés nécessaires pour l'adapter au contexte algérien.

2 Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments en maçonnerie

Dans cette méthode, on considère un certain nombre de paramètres pouvant avoir une influence sismique sur la construction. Chaque paramètre est défini comme étant de nature structurale ou non structurale, ce paramètre ne peut prendre qu'une seule vulnérabilité. Cette vulnérabilité est fonction de la classe à laquelle il appartient. Quatre classes A, B, C et D sont considérées. La classe A représente des éléments réalisés selon le code parasismique en vigueur, ayant donc une bonne résistance au séisme. La classe D représente les éléments n'ayant pas été réalisés selon un code parasismique. Les classes B et C sont des classes intermédiaires. A chaque paramètre et à chaque classe, correspond un coefficient k_i (tab 2.1) [15,16].
L'indice de vulnérabilité **IV** est calculé comme la somme des coefficients k_i.

N°	Éléments	Coefficients : k_i			
		A	B	C	D
1	Résistance totale au cisaillement	0	0.05	0.12	0.21
2	Régularité en plan	0	0.01	0.04	0.07
3	Régularité en élévation	0	0.01	0.04	0.07
4	Connexion des murs	0	0.03	0 .07	0.10
5	Type de murs	0	0.01	0.03	0.05
6	Plancher	0	0.01	0.03	0.05
7	Toiture	0	0.01	0.03	0.05
8	Conditions du sol	0	0.02	0.06	0.10
9	Détails	0	0.00	0.02	0.03
10	Maintenance	0	0.03	0.08	0.13
11	Modifications	0	0.01	0.04	0.07
12	Entrechoquement	0	0.01	0.04	0.07

Tableau 2.1 : paramètres et facteurs de pondération des bâtiments en maçonnerie en Algérie [15,16] .

Cette méthode permet donc d'attribuer une valeur numérique à chaque bâtiment, cette valeur est considérée comme une représentation de sa qualité sismique. Normalisée, elle définit les plages suivantes explicitées dans le tableau 2.2:

Classe	VERT	ORANGE	ROUGE
IV	0 - 0,20	0,20 - 0,60	0,60 - 1

Tableau 2.2 : classe des bâtiments en maçonnerie en fonction de l'indice de vulnérabilité [15,16].

3 Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments en béton armé

De manière analogue à la méthode de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments en maçonnerie, un indice de vulnérabilité a été développé pour les constructions en BA. Dans le cas des constructions en béton armé, on considère seulement trois classes de vulnérabilité. La classe A représente des éléments réalisés selon le code parasismique, ayant donc une bonne résistance au séisme, la classe B représente les éléments réalisés sans tenir compte tout à fait des normes parasismiques et qui présentent une assez bonne résistance au séisme et la classe C représente les constructions vétustes ayant une mauvaise résistance au séisme (tab 2.3) [17,15].

N°	Paramètre	Classe / Ki		
		Classe A	Classe B	Classe C
1	Système de contreventement	0	0.09	0.16
2	Qualité du système de contreventement	0.01	0.03	0.06
3	La capacité sismique	0	0.01	0.03
4	Type de sol	0.01	0.03	0.06
5	Diaphragme horizontal	0.01	0.03	0.06
6	Régularité en plan	0.01	0.03	0.06
7	Régularité en élévation	0	0.06	0.12
8	Qualité des nœuds	0.01	0.03	0.06
9	Phénomène du poteau court	0.01	0.03	0.06
10	Détails	0.01	0.03	0.06
11	Maintenance	0	0.06	0.09
12	Modifications	0.01	0.03	0.06
13	Entrechoquement	0.01	0.03	0.06
14	Implantation de l'ouvrage	0.01	0.03	0.06

Tableau 2.3 : Paramètres et facteurs Ki en fonction de chaque classe pour les bâtiments en béton armé [20]

Après avoir déterminé les classes de chaque paramètre, l'attribution des coefficients « Ki » se fait en utilisant le tableau (2.3), puis l'indice de vulnérabilité est calculé comme étant la somme des « Ki » soit :

$$Iv = \sum_{i=1}^{14} Ki$$

La classe de la bâtisse est déterminée suivant une valeur normalisée de l'indice Iv (tab 2.4):

Classe	VERT	ORANGE	ROUGE
IV	0 - 0,40	0,40 - 0,70	0,70 - 1

Tableau 2.4 : classe des bâtiments en béton armé en fonction de l'indice de vulnérabilité [20].

4 Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments en charpente Métallique

Les structures en charpente métallique ont des caractéristiques sismiques qu'on ne peut trouver dans les structures en maçonnerie ou en béton armé. Ceci est dû principalement aux qualités de l'acier de par sa résistance aussi bien à la traction qu'à la compression, à sa capacité à supporter l'alternance des charges, à sa bonne résistance au cisaillement et à son rapport élevé résistance sur masse volumique qui permet la réalisation de structures légères mobilisant des charges sismiques relativement élevées [18]. L'acier est aussi un matériau très résilient et peut donc absorber une grande partie de l'énergie cinétique au cours de ses déformations élastiques. Il a aussi une excellente ductilité et dissipe ainsi l'énergie de par ces déformations plastiques. Toutes ces caractéristiques ont permis la considération d'autres paramètres dans l'étude de la vulnérabilité sismique de ces structures comme : la ductilité, la qualité des assemblages et le flambement. Par la suite, l'ensemble des paramètres ont été explicités avec leurs classifications et leurs facteurs (tab 2.5) [18].

N°	Paramètres	Classe / Ki		
		Classe A	Classe B	Classe C
1	Ductilité	0.00	1.5	2.5
2	La capacité sismique	0.25	1.25	2.00
3	Qualité des assemblages	0.25	1.5	2.5
4	Maintenance	0.25	1.00	1.5
5	Type de sol	0.50	0.75	1.00
6	Diaphragme horizontal	0.50	0.75	1.00
7	Flambement de la structure	0.50	1.00	1.50
8	Régularité en plan	0.50	0.75	1.00
9	Modifications	0.50	0.75	1.00
10	Régularité en élévation	0.50	0.75	1.00
11	Entrechoquement	0.50	0.75	1.00
12	Implantation de l'ouvrage	0.50	0.75	1.00
13	Toiture	0.50	0.75	1.00
14	Détails	0.50	0.75	1.00

Tableau 2.5 : Paramètres et facteurs Ki en fonction de chaque classe pour les bâtiments en charpente métallique [18].

Après avoir déterminé les classes de chaque paramètre, l'attribution des coefficients « Ki » se fait en utilisant le tableau (2.5), puis l'indice de vulnérabilité est calculé comme étant la somme des « Ki ».

La classe de la bâtisse est déterminée suivant une valeur de l'indice Iv (tab 2.6) :

Classe	VERT	ORANGE	ROUGE
IV	5.75 – 9.5	9.5 - 16	16 - 19

Tableau 2.6 : classe des bâtiments en charpente métallique en fonction de l'indice de vulnérabilité.

5 Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments Mixtes (Acier-Maçonnerie)

L'association de l'acier et de la maçonnerie ont donné lieu à des structures mixtes présentant des caractéristiques meilleures que celles présentes dans les structures en maçonnerie seule. Ceci a constitué une évolution dans les techniques de réalisation. Néanmoins, l'observation de leurs comportement lors des derniers séismes (Ain Témouchent 1999 et Zemouri 2003) à mis en évidence leur vulnérabilité sismique. En se basant donc sur ce comportement ainsi que sur le retour d'expérience des séismes antérieurs à ces derniers, on a identifié les paramètres

ayant une influence sur leur vulnérabilité sismique ainsi que les coefficients de pondération ayant trait à chaque classe de vulnérabilité. Ainsi pour chaque paramètre trois classes de vulnérabilité ont été définies pour ce type de structure dont chacune avec son coefficient Ki (tab.2.7) [19,15] .

N°	Paramètres	Classe / Ki		
		C1	C2	C3
1	Connexion des murs	0.00	0.12	0.20
2	Résistance totale au cisaillement	0.00	0.09	0.12
3	Type de sol	0.01	0.08	0.09
4	Ductilité	0.01	0.07	0.08
5	assemblages	0.01	0.04	0.06
6	Plancher	0.01	0.04	0.05
7	Modifications	0.01	0.04	0.05
8	Régularité en plan	0.01	0.04	0.05
9	Régularité en élévation	0.01	0.04	0.05
10	Maintenance	0.01	0.04	0.05
11	Type de sol	0.01	0.04	0.05
12	Entrechoquement	0.01	0.04	0.05
13	Toiture	0.01	0.04	0.05
14	Détails	0.01	0.04	0.05

Tableau 2.7: Paramètres et facteurs Ki en fonction de chaque classe pour les bâtiments Mixtes (Acier-Maçonnerie) [15].

Comme pour les méthodes précédentes, une classification a été établie permettant d'estimer la vulnérabilité des structures mixtes (acier-maçonnerie) (tab.2.8)[15]

Classe	VERT	ORANGE	ROUGE
IV	0 - 0.44	0.44 - 0.88	0.88 - 1

Tableau 2.8 : Classes des bâtiments Mixtes (Acier-Maçonnerie) en fonction de l'indice de Vulnérabilité [15].

6 Présentation du logiciel V.I.P (Vulnerability Index Program)

Un logiciel de calcul appelé Vulnérabilité Indice Programme (V.I.P) à été développé en Delphi (fig2.1) [15] pour prendre en charge le calcul de l'indice de vulnérabilité des différents types de structures (maçonnerie, béton armé, charpente métallique et mixte) et cela grâce aux informations recueillies dans la fiche technique élaborée lors des visites effectuées sur le terrain. Cette procédure facilite la tache et génère un gain de temps considérable dans le traitement des informations.



Fig. 2.1 : Page d'accueil du programme VIP

Le logiciel VIP se compose principalement de deux parties : la partie visuelle dite 'Interface utilisateur' et la partie programme, appelée 'code source'.

- Partie visuelle 'Interface utilisateur' **:**

Elle contient les menus qui permettent la manipulation des données nécessaires pour la détermination de l'indice de vulnérabilité de la structure considérée. Cette partie se compose essentiellement de :

- la page d'accueil présentée dans la figure 2.2 qui permet de sélectionner le type de structure (Maçonnerie, Béton armé, Charpente métallique et mixte) pour accéder au menu étude (fig. 2.3) qui permet l'introduction des données relatives à la structure dans les fiches techniques pour le calcul des coefficients K_i de chaque paramètre et la détermination de l'indice de vulnérabilité de la structure (fig. 2.4).

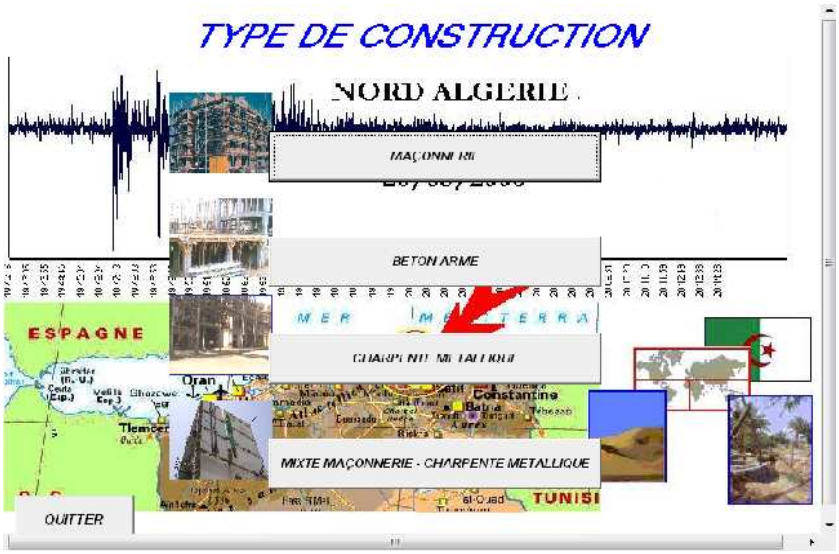


Fig. 2.2 : Page d'accueil utilisateurs

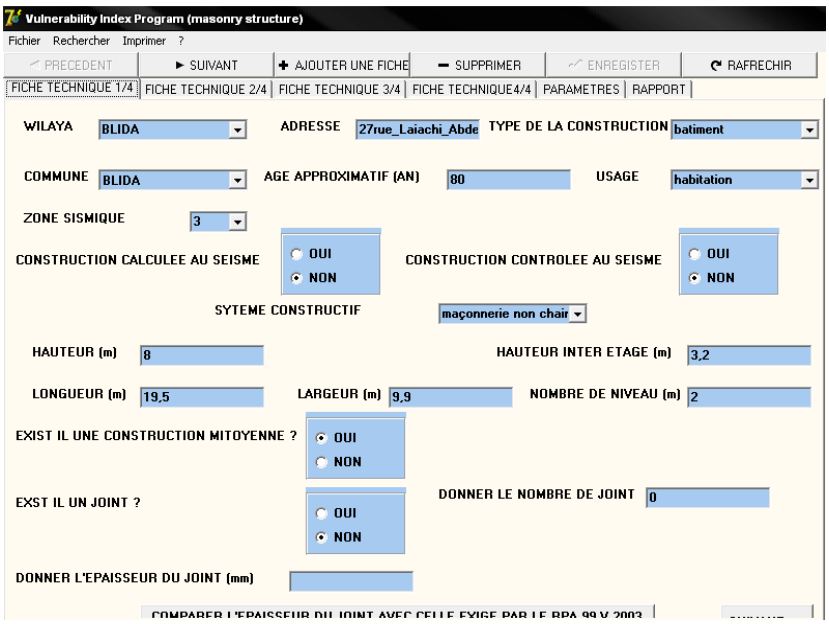


Fig. 2.3 : Menu étude

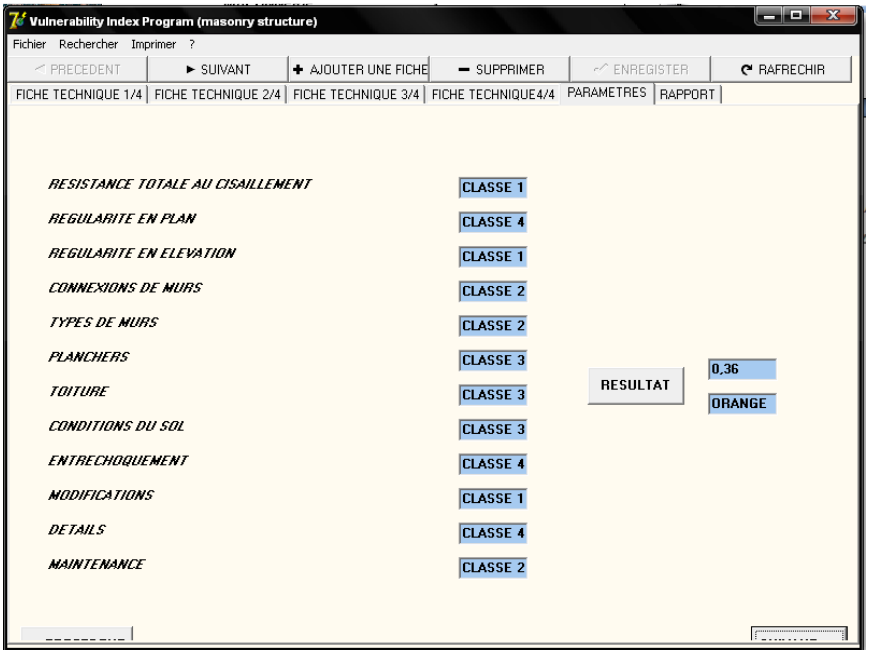


Fig. 2.4 : Détermination de l'indice de vulnérabilité

D'autres menus sont mis aussi à la disposition de l'utilisateur (Fichier, Rechercher, Enregistrer) pour annuler ou accéder à une nouvelle fiche, rechercher par adresse ou enregistrer une fiche.

-Partie programme 'code source'

Cette partie permet de traiter et d'exécuter le programme établi appelé « code source » pour le calcul de la résistance conventionnelle de la structure, l'affectation des coefficients K_i à chaque paramètre, le calcul de l'indice de vulnérabilité et finalement la classification de la structure.

7 les systèmes d'informations géographiques : SIG

7-1 Définition

Un système d'information géographique est un ensemble de connaissances et d'éléments géographiques numérisé pour être conservé, traité et communiqué. Dans la littérature on trouve plusieurs définitions : Ozemoy et al (1981) ; Koshkariov et al. (1989), nous retenons celle donnée par 'Aronoff' (1989) où le SIG est défini comme 'un ensemble de procédures utilisées pour conserver et traiter de l'information à référence géographique'.

7-2 Les modèles de données

Le SIG contient essentiellement deux types de modèles ou de bases de données interactives :

- données géographiques ou spatiales qui fournissent une information spécifique à la localisation géographique sur des tables raster ou vecteur.

-Les données d'attributs ou descriptives qui sont une information sémantique qui donnent une information descriptive, sous formes de champs associés à chacune des données géographiques.

L'interaction de ces deux aspects fournit un outil puissant d'analyse, d'intégration rapide de nouvelles données et d'aide à la décision et peut ainsi être utilisé pour gérer une gamme très diversifiée de phénomènes comme la gestion des ressources , la gestion et planification des communes, la gestion cadastrale ou comme dans notre cas, l'analyse de la vulnérabilité d'une localité ou d'une ville.

7-3 Les composantes d'un SIG

Un SIG comporte au moins les composantes suivantes :

- Les logiciels pour assurer la saisie, la gestion, la manipulation, la mise en forme et la prospection.
- Les données saisies ou importées à partir de fichiers.
- Le matériel informatique pour traiter les logiciels.
- Les savoir-faire pour analyser et traiter les données.
- Les utilisateurs qui ne sont pas forcément des spécialistes mais qui utilisent cet outil pour réaliser un projet.

Ces composantes traduisent quatre fonctionnalités essentielles qui forment toute la capacité des SIG : acquérir, archiver, analyser et afficher [21].

Le SIG est un élément indispensable non seulement pour les traitements auxquelles il permet de soumettre l'information spatiale, mais aussi pour la mobilisation des capacités d'échanges et de communication de l'information qu'il a suscitées [22]

8 Conclusion

L'établissement d'une méthode pour évaluer la vulnérabilité sismique des bâtiments, spécialement du bâti ancien, est une tache difficile qui demande des moyens considérables car elle fait appel à la fois aux techniques les plus avancées dans le calcul parasismique et au retour d'expérience accumulée lors du diagnostic post-sismique des structures. La méthode de l'indice de vulnérabilité, en considérant non seulement les paramètres intrinsèques de la structure, mais aussi l'évaluation de sa résistance au cisaillement, se présente comme une méthode intermédiaire entre l'évaluation à grande échelle spécifiquement typologique et l'évaluation individuelle qui ne traite généralement qu'un ensemble très restreint de bâtiments.

Cette méthode établie pour les bâtiments en maçonnerie, en béton armé, en charpente métallique et mixte (maçonnerie-charpente), étayée par un logiciel VIP (Vulnerability Index

Program) met entre les mains des utilisateurs un puissant outil pour l'étude de la vulnérabilité d'un ensemble urbain. Pour ce, on se propose dans le chapitre suivant d'utiliser cette méthode à l'aide du logiciel VIP et d'un système d'information géographique (SIG) pour déterminer l'indice de vulnérabilité des bâtiments du centre ville de la ville de Blida.

CHAPITRE 3

PRÉSENATION DE LA VILLE DE BLIDA

1 Introduction

Fondée durant la période Ottomane, au sud Ouest d'Alger sur le flan des montagnes de l'Atlas Tellien, Blida compte aujourd'hui parmi les villes les plus importantes du Nord Algérien. Cette ville considérée comme la capitale de la Mitidja s'est développée grâce à sa position régionale stratégique qui lui confère le statut de ville carrefour dans les échanges entre l'Est et l'Ouest du pays.

Entourée jadis par un rempart comportant six portes dont il ne subsiste que le nom (Bab el Dzair, Bab el Rahba, Bab el Sebt, Bab el Zaouia, Bab el Kseb, Bab el Kebor et Bab el Khouikha.)

Blida est actuellement un grand centre administratif, industriel, commercial, militaire, universitaire, sportif et sanitaire. Cette ville se définie aujourd'hui par sa géographie, son histoire, sa culture et son économie, néanmoins pour les besoins de notre travail, on ne s'intéresse dans ce chapitres qu'à certains aspects comme l'aspect urbain, géographique, géotechnique, son historique et son contexte sismotectonique que nous développerons en n'énonçant que les données directement liées à notre étude.

2 Présentation de la wilaya de Blida

Afin de situer le contexte de notre étude commençons tout d'abord par une présentation de la wilaya de Blida.

2-1 Situation géographique

La wilaya de Blida se situe dans la partie nord du pays, dans la zone géographique du Tell central. Elle est limitée au nord par la wilaya de Tipaza et la wilaya d'Alger, à l'ouest par la wilaya de Ain Defla, au sud par la wilaya de Médéa et à l'est par les wilayas de Boumerdes et de Bouira. Cette wilaya s'étend sur une superficie de 1478,62 Km^2 et se caractérise par sa position centrale au niveau local, régional et national. Elle se présente ainsi comme un carrefour entre les régions Est, Ouest, Centre et Sud [23].

2-2 Découpage administratif et population

Faisant partie initialement de la wilaya d'Alger, Blida fut promue au rang de wilaya à partir du découpage administratif de 1974. En 1984, la wilaya a fait l'objet d'une nouvelle délimitation de son territoire englobant ainsi 25 communes qui se repartissent en 10 daïras (fig. 3-1) [23].

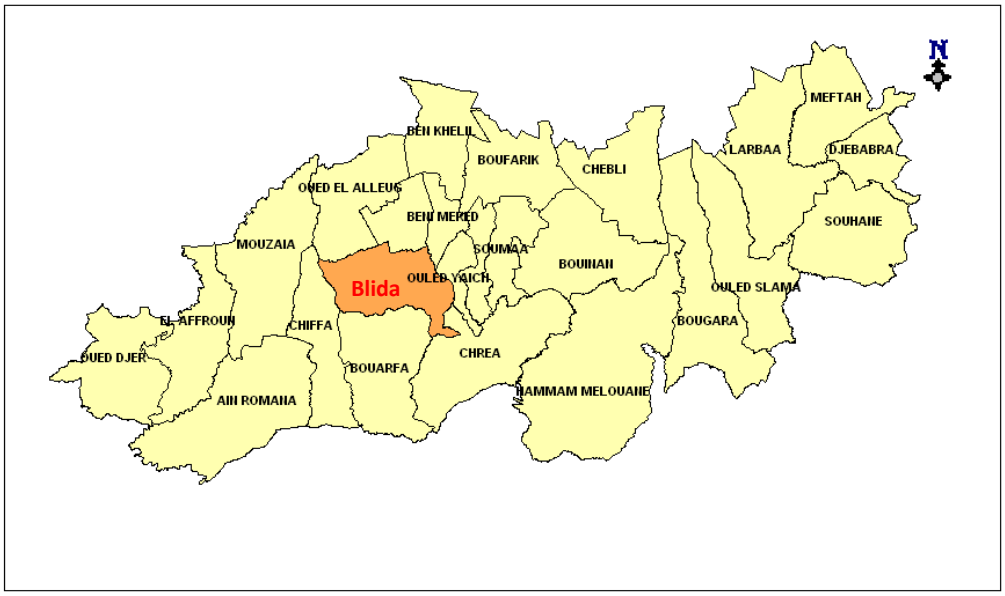


Fig. 3.1 : Wilaya de Blida

Au 31.12.2004, la population de la wilaya de Blida était estimée à 892 609 habitants dont 51 % d'hommes et 49 % de femmes et avec une densité moyenne de 590 habitants par Km² [24].

3 Présentation de la commune de Blida

Intéressons nous maintenant à la commune de Blida, objet de notre étude.

3-1 Aperçu historique sur la formation de la ville de Blida

A l'origine de la création de Blida, il y eut deux éléments : un homme et un site.

L'homme, c'est Sidi Ahmed Al Kebir El Aroussi. Quant au site, il est une vaste plaine adossée aux premiers contreforts de l'Atlas et généreusement nourrie d'eaux vives.

Parti sur les traces de son maitre spirituel Sidi Yacoub Ecchérif, Sidi Ahmed El Kebir El Aroussi entreprit un long voyage depuis le Tafilalet jusqu'à Blida où retrouvant le mausolée de son maitre, décida de s'y établir et d'y fonder un premier noyau urbain. Non que Blida n'existait pas auparavant - une sculpture romaine, quelques traces préhistoriques ont bien été citées ainsi que la présence remarquée de plusieurs tribus - mais l'histoire effective commence le jour de l'arrivée de ce disciple saharien dans la région et surtout le jour de sa rencontre avec le grand Beylerbey ottoman Kheir Eddine Barberousse et les habiles andalous de valence qu'il recueillit.

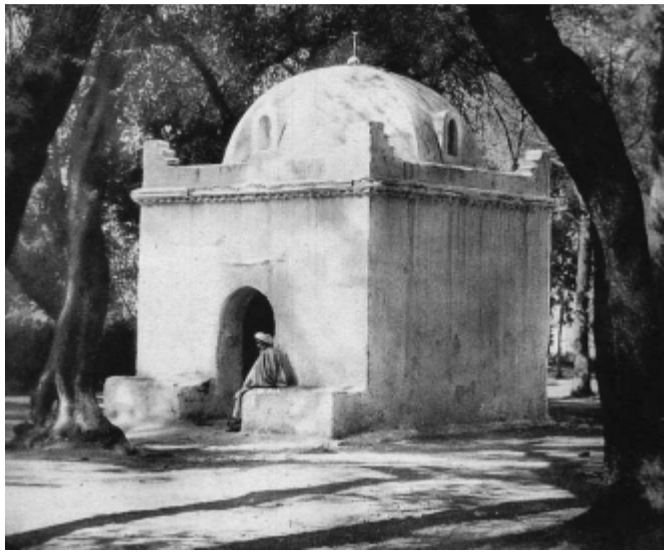


Fig. 3.2 : Le marabout de Sidi Yaakoub [25]

Préhistoire et antiquité

Si aucun vestige préhistorique n'a été mis en évidence à Blida même, l'existence de sites paléolithiques tout autour de la ville comme à Champlain (Médéa) à Oued Kerma (Boumerdès) et à Aïn Benian (Alger) témoigne bien de la présence d'un peuplement ancien remontant à la préhistoire. Cette absence de données archéologiques anciennes serait donc plus liée à l'intense érosion, aux fréquents lessivages des sols et à la tectonique qui affectent durement et constamment cette région et détruisent les traces matérielles enfouies.

Période médiévale

Fondée en 1519 par Sidi Ahmed El Kebir, l'espace originel abritant son ermitage et sa mosquée fut agrandit à l'arrivée des andalous en 1533. Sous les turcs et avec l'aide de Kheir Eddine, Sidi Ahmed El Kebir fit construire une mosquée, des bains, des remparts et des portes, un palais de justice, un autre pour le gouverneur et quelques maisons privées de style mauresque. Apprivoisant les eaux torrentielles qui déferlaient en crues vers la plaine, les andalous mirent en place des techniques d'irrigation appropriées, captèrent les nombreuses sources et firent prospérer la région. Grâce à cette richesse agricole, Blida devint l'entrepôt commercial du Beylic du Titteri.

Période coloniale

A l'arrivée des français, la trame urbaine, reconstruite entièrement après le séisme de 1825, subit sous leur autorité de nouvelles destructions. Les percées des Maréchaux de Bourmont et Clauzel (25 Juillet et 19 Novembre 1930) le saccage du Duc de Rovigo (1834) la création par le Maréchal Valée (1838) de camps de garnison, devenus les villages de Joinville et de Montpensier, transformèrent la physionomie de la ville. Très vite, son plan se latinisa, église, mairie, kiosque et place d'armes font leur apparition. Mais ce sera surtout les casernes en

raison de la situation stratégique de la ville ainsi que la création du bataillon de tirailleurs des provinces d'Alger et du Titteri, qui imprimèrent à Blida son nouveau cachet et sa vocation de ville militaire.

3-2 Situation géographique et aspect géomorphologique

La commune de Blida, située à 260m d'altitude est limitée au sud par la grande chaîne montagneuse de l'Atlas Blidéen, la wilaya de Médéa et la commune de Chréa, au nord par les communes de Oued Alleug et de Béni-Tamou, à l'ouest par la commune de la chiffa et à l'est par les trois communes de Boufarik, de Guerrouaou et de Soumaa.

Blida est aussi en contact avec les trois milieux naturels de la région : la plaine de la Mitidja, le piémont et la montagne.

- **La Mitidja** : une aire alluvionnaire orientée Sud-ouest, Nord-est, elle se situe entre deux structures montagneuses ; le Sahel qui la sépare du littoral au Nord et la chaîne de l'Atlas Tellien au Sud.

- **L'Atlas Blidéen :** La partie centrale de l'Atlas culmine à 1500 mètres présentant des pentes très fortes (supérieures à 30%) qui sont souvent sujettes à une érosion intense surtout dans les endroits où la couverture forestière fait défaut.

-**Le piémont :** L'altitude du piémont varie entre 200 et 600 mètres et présente des conditions favorables à un développement agricole

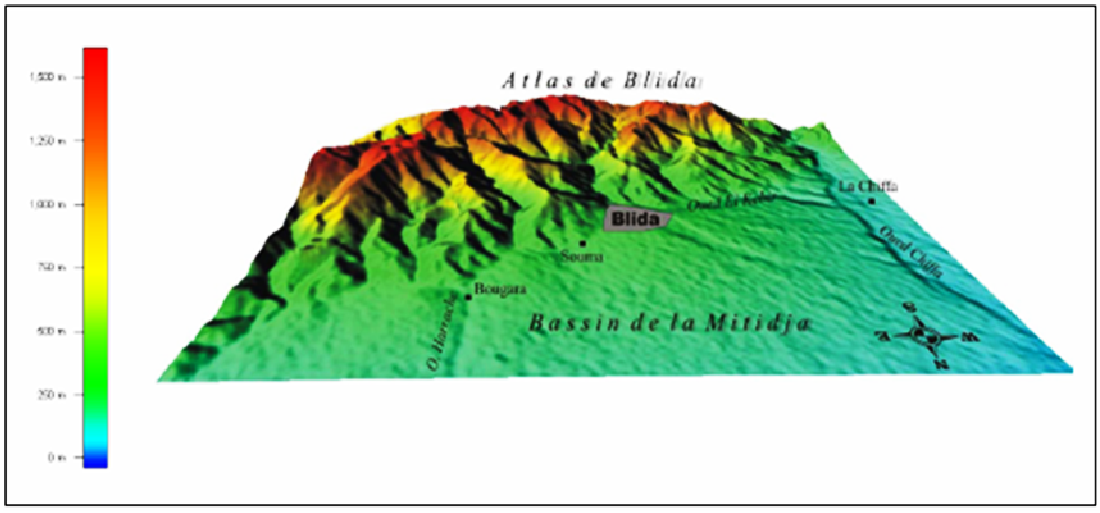


Fig.3.3 : Géomorphologie de la région de Blida [26]

3-3 Aspect géologique de la région de Blida

La région de Blida est située à une quarantaine de kilomètres au sud ouest d'Alger sur des formations récentes, marquant la limite entre l'Atlas Blidéen et la plaine de la Mitidja (fig 3-3).

La stratigraphie se lit à partir de la formation la plus récente à la formation la plus ancienne.

Le contexte litho stratigraphique de cette région est caractérisé par des formations allant du Trias au Quaternaire (Trias, Jurassique, Crétacé et Paléocène…), la région de Blida est constituée par un Miocène formé de marnes et d'argiles marneuses avec des intercalations de grès (figure 3.4 et 3.5). La granulométrie est de plus en plus fine en partant du piémont Blidéen vers la plaine.

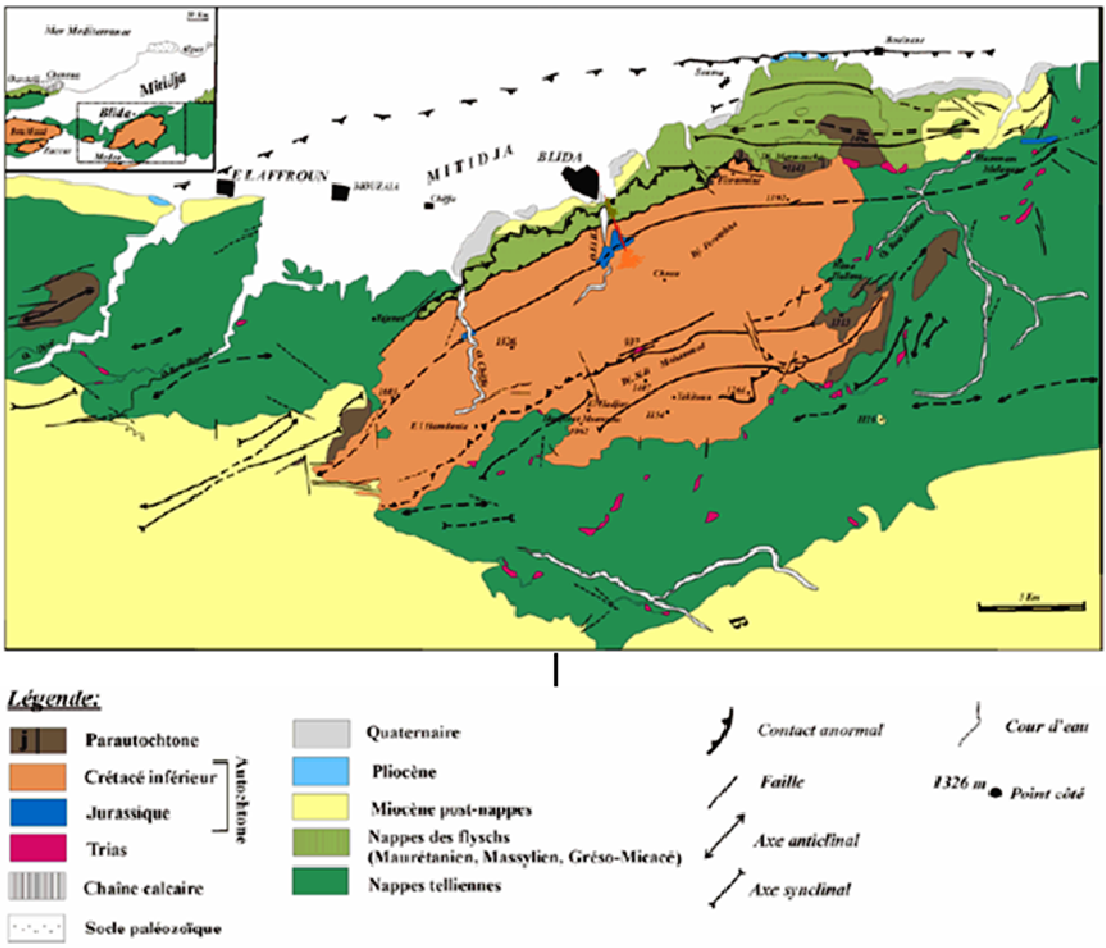


Fig. 3.4 : Carte géologique de la région de Blida (D'après Blés, 1971, modifiée) [26]

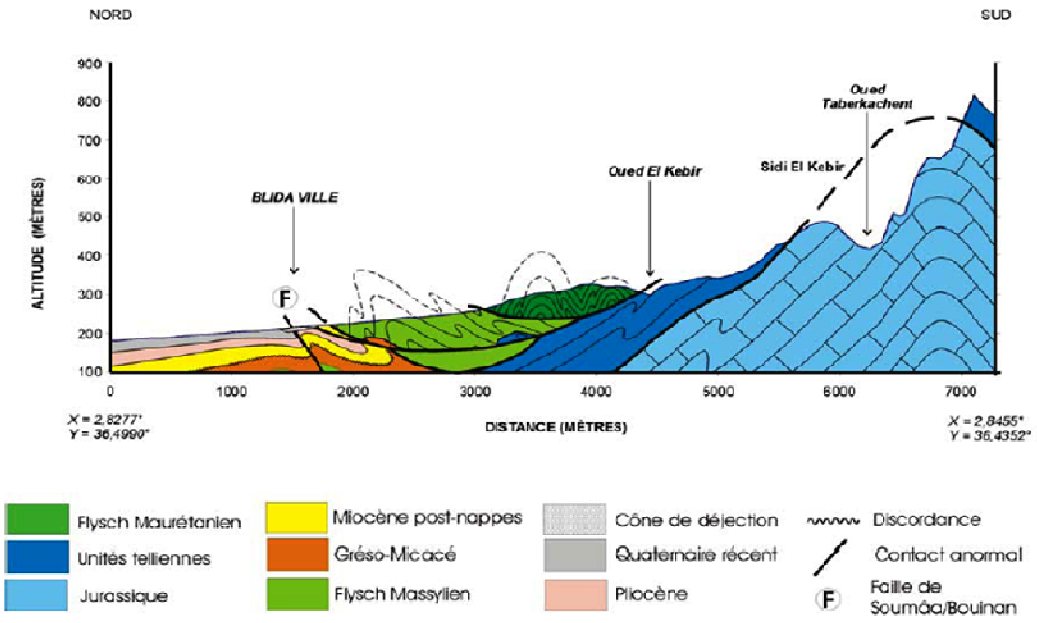


Fig. 3.5 : Coupe géologique illustrant la disposition des différentes unités tectono-sédimentaires dans la région de Blida [26]

3-4 Aspect géotechnique

La connaissance de l'aspect géotechnique est une étape primordiale dans l'étude des stabilités des pentes et de la sismicité. En ce qui nous concerne, on s'intéresse plus précisément aux différents types de sols formant cette région. Pour le secteur des piémonts blidéens, on distingue quatre types de sols : Les sols tendres, les sols moyens, les sols moyens à durs et les sols durs. Ces sols s'alignent suivant l'orientation générale de la chaine, c'est-à-dire NE-NW. Les piémonts sont occupés principalement par des sols moyens, et dans une moindre proportion, par des sols tendres au nord (vers la Mitidja) et durs au sud (vers les massifs de Blida) (fig. 3.6).

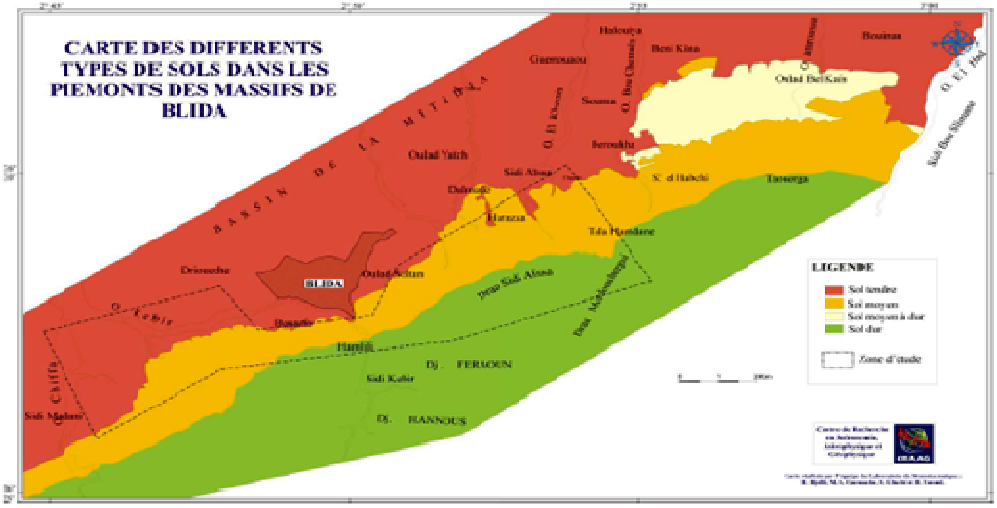


Fig. 3.6: Répartition des sols (durs, moyens et tendres) dans le secteur des piémonts de Blida [26].

3-5 Population de la commune de Blida

Nous donnons dans ce qui suit les estimations de la population de Blida faites respectivement en 1987, 1998 et 2008. Ces estimations sont établies suite aux recensements généraux de la population et de l'habitat (RGPH) (Tab 3-1).

Dispersion	RGPH		
	1987	1998	2008
Chef-lieu	124155	135645	150788
Hors chef-lieu	6695	6284	10273
Total Commune	130850	144225	161061

Tableau 3.1 : Evolution de la population de la commune de Blida de 1987 à 2008 [23],[27].

3-6 Occupation des sols de la commune de Blida

La commune de Blida couvre une surface totale d'environ 5737 ha, avec un nombre d'habitant jusqu'à l'année 2008 de 161061 habitants et un parc de 32582 logements. Cette superficie est répartie à travers le territoire de la commune de Blida, à savoir l'agglomération chef lieu, les agglomérations secondaires et la zone éparse [23].

En descendant du sud vers le nord de la commune, on distingue trois zones: la zone montagneuse, la zone urbaine et la zone plaine.

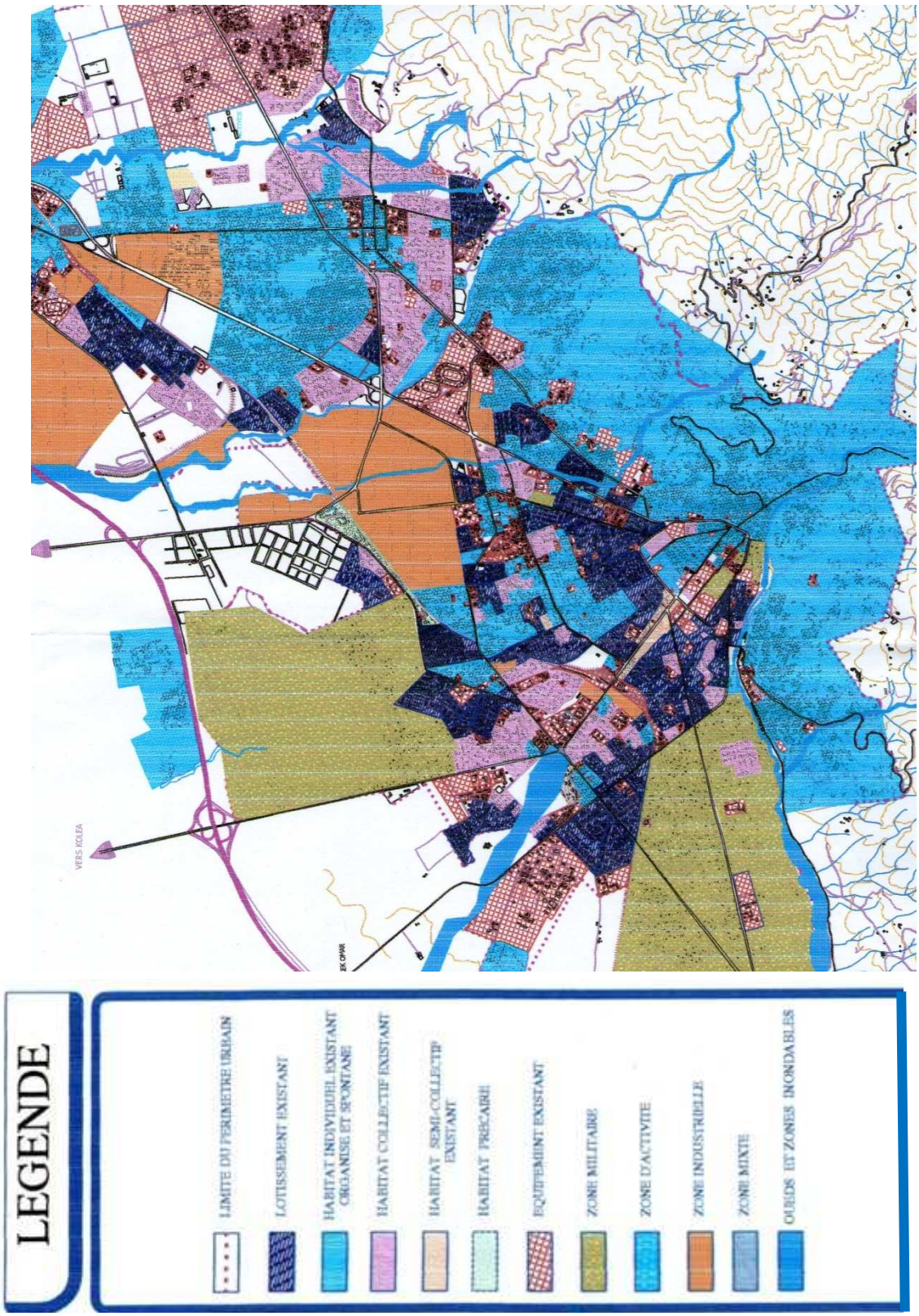
La zone urbaine **:** d'une superficie de 2377 ha, un parc de 30988 logements et 150788 habitants, la zone urbaine (agglomération chef-lieu) se caractérise par une structure très importante et par une diversité d'occupations opérationnelles qui ont une influence sur le territoire régional de la wilaya de Blida ainsi que par l'existence de grands équipements spécialisés qui offrent des services même pour les wilayas limitrophes.

L'occupation du centre urbain de Blida se caractérise aussi par une grande densité de constructions, immeubles à usages commerciaux, bâtiments administratifs ou religieux (marché, hôtel de ville, Mosquée), qui coïncident avec le premier noyau de la ville où convergent les grands axes routiers [23].

La zone plaine **:** elle couvre une surface considérable constituée principalement de terrains agricoles.

La zone montagneuse **:** elle couvre une surface importante de la commune de blida. Elle se situe sur le flanc nord de l'Atlas Blidéen, limitée à l'est par l'oued Béni Azza et à l'ouest par l'oued Sidi El Kébir.

Fig.3.7 : Plan d'occupation des sols de la ville de Blida [23]



3-7 Croissances urbaines de la ville de Blida

Nous distinguons principalement deux grands types de croissance : la croissance urbaine de l'époque coloniale à partir de 1926 et la croissance urbaine postcoloniale, après l'indépendance du pays à partir de 1962.

Période coloniale

En 1926, les remparts de l'ancienne ville sont démolis et remplacés par des boulevards qui ceinturent la ville. L'extension urbaine se dirige alors vers le Nord-Ouest où le quartier arabe de Ouled Soltane se développe rapidement avec l'implantation d'une forte démographie. La construction de l'hôpital psychiatrique de Joinville et les ateliers de la base aérienne ont générés quant à eux un grand nombre d'emplois et attirés ainsi près de deux mille colons. Après la dernière guerre mondiale, les quartiers européens situés le long des axes routiers principaux se développent fortement et forment :

- Au Nord Ouest, le quartier de la Gare formé de petits immeubles et d'ateliers.
- A l'Est, les grosses villas du faubourg d'Alger.
- Au Nord, le quartier de la zaouïa, quartier de résidence des habitants d'origine de Blida.

En 1948, s'amorce le processus de la décentralisation avec la construction de la poste, l'hôtel des finances, le commissariat central et la sous préfecture et forment ainsi le quartier administratif. Néanmoins, les plus fortes poussées d'urbanisme se font sentir lors du lancement du plan de Constantine, entre 1958 et 1960. Pendant cette période, on construit des immeubles collectifs et de l'habitat pavillonnaire [23].

En 1966, 45 % des logements de Blida sont le fruit d'une extension postérieure à 1945. Il y a eu d'abord l'extension par l'habitat pavillonnaire, disposant de bonnes infrastructures et réservé quasi-exclusivement aux européens (cité des Palmiers), qui s'est érigé parallèlement à des cités réservées aux populations Algériennes (cité musulmane) caractérisées par des maisons basses alignées précédées d'une cour (fig3-8), une voirie dégradée et une très forte densité [23]. Puis en 1958, apparait l'habitat vertical type HLM comme le quartier de Montpensier (Ben-Boulaid actuellement, figure 3.9), cité des Bananiers et cité l'Armaf.



Fig. 3.8 : Rue d'un quartier à population algérienne [25]



Fig. 3.9 : Cité Montpensier (Ben Boulaid actuellement) [28]

En 1960, les quartiers s'affirment en tant que quartiers homogènes : le quartier Bizot, à majorité européenne et Ouled Sotane à majorité algérienne.

Trois grandes phases sont donc observées dans l'évolution de la ville de Blida pendant la période coloniale :

- Une première phase qui dure jusqu'en 1926, date de la démolition des remparts avec la préservation de l'organisme urbain originel.
- Une deuxième phase qui se prolonge jusqu'en 1954 où la ville se développe de façon anarchique, en liaison avec la prolifération des lotissements.
- Une troisième phase de 1954 à 1962 qui laisse apparaître une croissance précipitée avec prédominance de l'habitat collectif [23].

Période post coloniale

Après l'indépendance, la construction de villas de style européen se poursuit à l'intérieur du périmètre urbain. A l'extérieur de ce périmètre, prolifèrent des quartiers de constructions sommaires, ne répondant à aucun critère d'urbanisation. La croissance de la ville s'effectue de façon spontanée échappant à tout contrôle sur des terrains agricoles sans infrastructures et voiries convenables.

Le mouvement de densification de la périphérie s'est poursuivi sous la poussée de deux phénomènes :

- La naissance illicite de quartiers nouveaux par le biais des constructions exigées par de nouveaux arrivants sur des terrains communaux ou sur des lots achetés.
- les grandes opérations de logements du type 1140 d'Ouled Yaich, 1360 de Sidi Abdelkader vers la fin des années 70.

Cette période se distingue essentiellement par l'implantation de programmes officiels par les sociétés immobilières (habitat collectif) et l'apparition de nouveaux quartiers formés de constructions sommaires sur des terrains agricoles sous équipés en infrastructures.

4 Contexte sismotectonique de la région de Blida

4-1 Tectonique et Sismicité de la Mitidja :

En Algérie, l'activité tectonique est due à la conséquence des mouvements de convergence entre les plaques africaine et eurasienne. Le bassin intra montagneux de la Mitidja se trouve justement au sein du rameau alpin sud-méditerranéen, plus connue sous le nom de chaîne des Maghrebides, incluant dans sa partie algérienne l'Atlas Tellien. Celle-ci correspond à une limite de convergence entre les plaques Afrique et Eurasie, où se concentre une activité sismique assez modérée mais ponctuée parfois de séismes forts. En Algérie, la convergence est actuellement dirigée NNOSSE et estimée à 5mm/an [29]

Le contact entre la plaine de la Mitidja et l'Atlas Blidéen forme une anomalie morphologique (rupture de pente) majeure marquée par le chevauchement des formations crétacées de l'Atlas sur des niveaux plus récents de la plaine.

Le contact sud Mitidja est marqué dans sa grande partie par des décrochements dextres, des chevauchements (plis-failles) et même des décrochements sénestres N 070.

Des indices d'une déformation récente Plio-quaternaire existent dans cette partie de l'Atlas tellien. Les chevauchements vers le nord des niveaux crétacés sur les formations néogènes du Miocène post nappe et surtout du Pliocène sont une évidence d'une activité tectonique récente moteur de l'activité sismique historique et instrumentale de la bordure sud de la Mitidja. Cette sismicité est générée par l'activité tectonique récente et actuelle.

4-2 Les failles actives

L'analyse de la limite sud de la Mitidja basée sur l'interprétation d'images satellites Landsat, sur l'analyse des modèles numériques de terrain (MNT) à différentes échelles et sur l'étude de photographies aériennes a permis auparavant à Boudiaf (1996) de mettre en évidence une bordure segmentée représentée par des failles qui affectent les niveaux quaternaires. Ces failles ont été localisées dans quatre sites [29] :

A l'Est de Menaceur dans la région de Sidi Yahia.

Au SW et au Sud de la ville de Hadjout.

Au SW de la ville d'El Affroun entre le Douar de lalla Aicha et le village de Oued Djer.

A l'Est de la ville de Blida dans la région de Ouled Yaich et Bouinan.

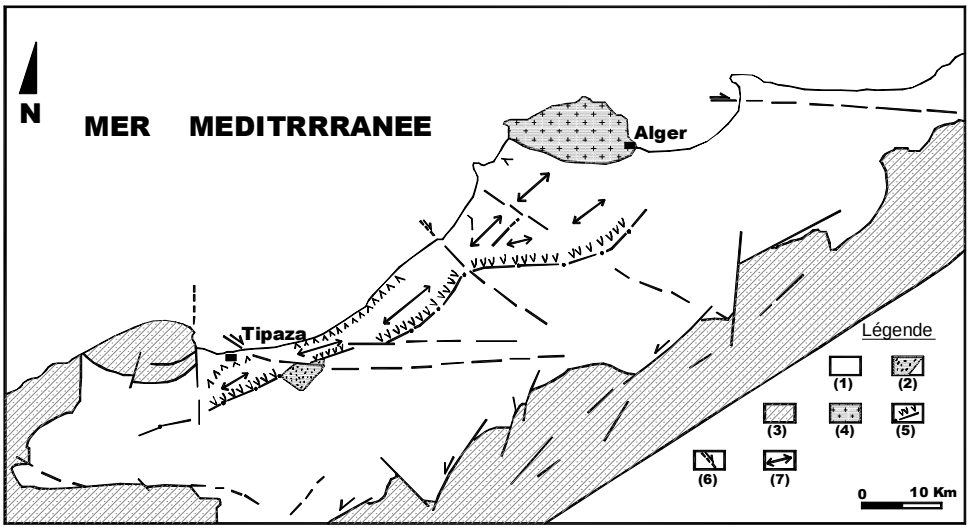


Fig.3.10 : Schéma structural à partir de l'image Landsat (Tectonique satellitaire) [31]

(1) Remplissage récent, (2) Lac Halloula, (3) Anténéogène, (4) Socle de la Bouzaréah, (5) Escarpement tectonique sud Sahel, (6) Linéaments, (7) Anticlinal du Sahel (Maouche, 2002).

4-3 La faille de Bouinan-Soumâa

Les récentes investigations géologiques à Blida révèlent l'existence d'un important
Segment de faille, affleurant dans de bonnes conditions entre les localités de Soumâa et Bouinan. Il est orienté NE-SO et plonge de 50° à 60° en direction du sud-est. Les études microtectoniques montrent qu'il s'agit d'une faille inverse à vergence nord-ouest. Le long de cette faille, les niveaux gréseux astiens sont fortement déformés, indiquant une tectonique post-astienne. L'étude des terrasses alluviales situées de part et d'autre des deux compartiments de la faille, qui montrent une dénivelée d'environ 30 mètres, indique que la faille a été active durant le Quaternaire. Localement, les terrasses sont chevauchées par les unités crétacées. Une estimation de la magnitude maximale Mw pouvant être générée par cette faille donne une valeur de 7. [29]

4-4 Sismicité historique de la région de Blida :

Les archives sur l'histoire de l'activité sismique dans la région de Blida révèlent par ailleurs que la région a connu des séismes de plus forte magnitude, qui ont souvent causé des pertes importantes en vies humaines et en biens matériels. En particulier, Au 19e siècle, la région de Blida à a été secouée par deux séismes destructeurs à fortes intensités, estimées par Roussel (1973) à des valeurs comprises entre X et XI.

La première secousse s'est produite le 02 mars 1825 et a détruit une moitié de la ville de Blida ainsi que deux villages avoisinants. Quelques 7000 personnes trouvèrent la mort lors de ce séisme, qui reste l'un des plus forts jamais recensés dans la Mitidja. La seconde secousse a eu

lieu le 02 janvier 1867 et a détruit la quasi-totalité du village de Mouzaïa. Des dégâts importants furent par ailleurs constatés à Blida et dans la plaine de la Chiffa, particulièrement à El Affroun [26]. Décrivant cette catastrophe, C.Trumelet (1887) [32] dit : « des montagnes des Bni-Salah se seraient ouvertes à leur sommet et fendues jusqu'à leur base ; des masses de terre s'en seraient détachées avec fracas ; ... des déchirures, des crevasses béantes auraient menacé d'engloutir des villages entiers ...». En particulier, «une fissure se serait produite du côté de Ouadjer et aurait vomi du feu, des vapeurs et des torrents d'eau sulfureuse»

Le tableau (3.2) montre la liste des principaux événements sismiques répertoriés depuis le début du 19e siècle jusqu'à l'année 2005 (sources : Catalogues CRAAG, 1994, 2002 et 2005).

La figure (3.11) montre la distribution cartographique des épicentres de ces événements dans la région de Blida. Celle-ci révèle que les épicentres se concentrent bien sur les massifs Blidéens et leurs piémonts. Ces séismes sont déclenchés par les failles du front atlasique et les nombreux accidents transverses qui les découpent.

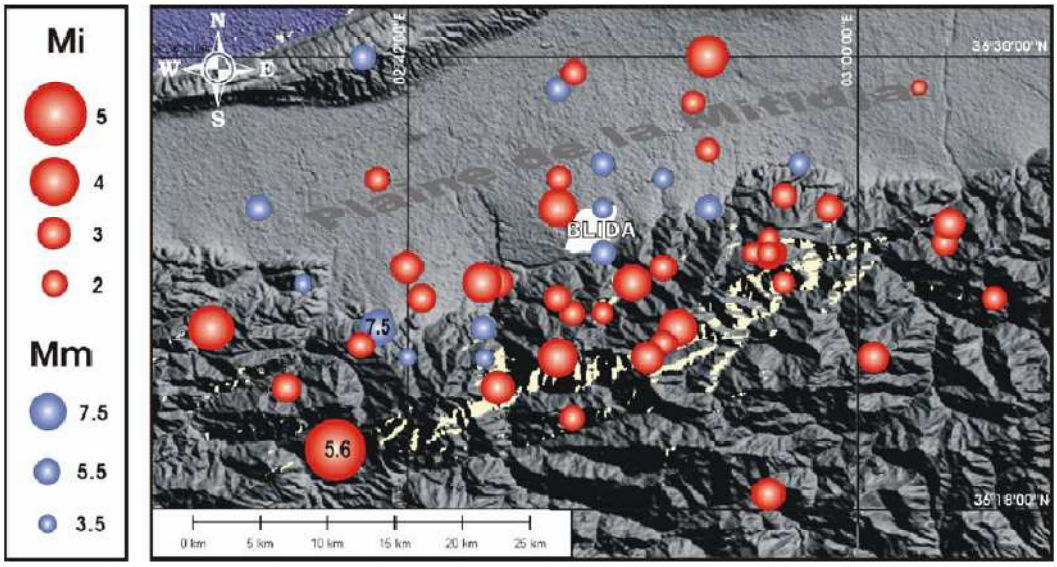


Fig.3.11:Distribution cartographique de la sismicité historique et instrumentale dans la région de Blida, entre 1825 et 2005. La taille des cercles est proportionnelle à la magnitude considérée [31]

Tableau 3.2: Sismicité historique et instrumentale de la région de Blida, entre 1802 et 2005

AA MM JJ	HH MM SS	LATITUDE	LONGITUDE	Mi	Mm	I_0
1802 11 07	11 45 00	-	-	-	-	-
1825 03 02	07 00 00	36.40	2.80	-	7.5 - 8.4	X-XI
		36.50	2.90	-	6.5	IX
1854 05 15	15 00 00	36.40	2.70	-	-	-
		36.50	2.90	-	-	VII
1861 03 29	05 15 00	36.50	2.90	-	5.2	VII
1867 01 02	07 13 00	36.42	2.68	-	7.5 – 8.4	X - XI
1867 06 29	20 15 00	36.47	2.83	-	5.7	VIII
1869 09 20	-	36.50	2.60	-	-	-
1873 10 16	22 42 00	36.60	2.90	-	4.6	VI
1876 03 23	06 34 00	36.50	2.60	-	5.2	VII
1888 01 06	23 40 00	36.50	2.60	-	5.7	VIII
1908 03 11	00 06 00	36.40	2.80	-	5.7	VIII
1911 07 11	01 22 00	36.50	2.83	-	4.6	VI
1924 11 05	18 54 34	36.60	2.90	5	5.7 - 6.5	VIII - IX
1925 02 20	22 00 00	36.60	2.67	-	5.2	VII
1927 01 20	21 33 10	36.53	2.83	-	5.2	VII
1928 11 25	01 07 15	36.60	2.67	-	4.6	VI
1931 03 04	05 36 40	36.40	2.70	-	-	-
1931 11 02	14 58 08	36.47	2.83	-	5.7	VIII
1938 03 02	07 43 49	36.42	2.75	-	5.2 - 5.7	VII-VIII
1941 04 04	12 00 36	36.60	2.90	-	4.6	VI
1951 02 09	04 54 45	36.40	2.80	-	4.1	V
1957 01 09	15 51 36	36.40	2.70	-	4.1 - 4.2	V-VI
1959 11 07	02 32 07	36.34	2.65	5.6	-	-
1960 08 14	21 35 18	36.60	2.90	-	4.6 - 5.2	VI-VII
1961 09 11	15 28 24	36.50	2.90	-	5.2	VII
1961 11 23	04 45 35	36.50	2.80	-	4.6 - 5.2	-
1965 10 25	21 03 20	36.40	2.80	3.9	4.1 - 4.6	VI
1966 01 02	10 00 48	36.50	3.00	-	-	-
1966 04 03	05 11 39	36.50	2.80	4.5	5.2	VII
1966 11 11	00 38 20	36.40	2.80	-	4.1	V
1967 09 11	07 00 28	36.40	2.80	4.6	5.2	VII
1975 07 20	10 49 53	36.53	2.96	-	4.6	VI
1978 01 07	14 02 00	36.58	2.80	-	3.5	IV
1980 03 12	21 30 00	CHREA		-	3.5	IV
1981 09 29	04 14 00	36.40	2.75	-	3.5	IV

1981 12 29	00 00 00	36.52	2.87	-	4.1	V
1982 03 16	20 22 00	36.38	2.62	3.1	3.5	IV
1984 12 09	11 42 00	EL AFFROUN		-	3.5	IV
1986 01 10	05 37 00	36.52	2.80	3.7	3.5	IV
1986 01 19	20 11 00	36.45	2.75	4.6	4.1	V
1986 02 11	04 58 00	36.45	2.85	4.1	4.6	VI
1986 12 17	09 10 00	BLIDA		4	-	IV
1986 12 19	23 41 00	BOUGARA		4.4	-	V
1988 10 31	10 13 09	36.42	2.57	5.4	-	VII
1989 02 12	12 02 32	36.45	2.63	-	4.1	V
1989 08 28	07 10 00	EL AFFROUN		-	4.1 – 4.6	V - VI
1990 07 28	13 56 48	36.54	2.90	3	-	-
1993 11 09	11 30 56	36.44	2.71	3	-	-
1995 06 21	04 16 01	36.52	2.68	3.6	-	-
1996 04 23	04 32 08	36.46	2.70	3.5	-	IV
1996 04 29	20 03 31	36.31	2.94	3.7	-	IV
1996 07 18	03 21 54	36.49	3.06	3.4	-	III
1998 03 29	22 49 00	36.48	3.06	3.2	-	IV
2001 04 09	08 59 00	36.41	2.87	2.7	-	III
2001 04 14	21 42 55	36.44	3.09	2.6	-	-
2001 08 04	18 32 35	36.40	3.01	3.4	-	-
2002 04 04	04 00 13	36.46	2.87	2.9	-	-
2003 03 08	00 29 26	36.44	2.80	2.8	-	-
2003 12 07	16 15 30	36.41	2.67	2.9	-	III
2003 12 12	01 35 58	36.42	2.88	4.4	-	V
2004 03 21	10 56 17	36.50	2.98	3	-	IV
2004 07 28	11 30 58	36.36	2.81	2.5	-	-
2004 09 23	01 36 48	36.38	2.76	3.6	-	IV
2004 10 12	03 58 30	36.58	3.04	2	-	-
2004 11 01	06 09 12	36.47	2.93	2	-	-
2004 12 15	15 40 59	36.43	2.81	2.6	-	-
2005 02 08	03 35 09	36.51	2.95	2.8	-	-
2005 02 08	03 44 26	36.45	2.95	2	-	-
2005 02 08	03 45 55	36.48	2.94	2	-	-
2005 02 08	03 47 14	36.47	2.94	2.4	-	-
2005 02 17	21 52 02	36.43	2.83	2.2	-	-
2005 03 04	23 32 32	36.57	2.89	2.4	-	-
2005 04 01	10 37 00	36.47	2.94	3.9	-	III
2005 04 12	10 14 33	36.59	2.81	2.5	-	-
2005 08 25	21 15 27	36.45	2.76	3.2	-	-
2005 09 06	00 35 09	36.40	2.86	3.6	-	III

5 Conclusion

L'étude de la croissance urbaine à l'époque coloniale et post coloniale fait ressortir la typologie du tissu urbain de la ville de Blida. Le noyau de cette ville se compose d'un ensemble très dense de bâtiments en maçonnerie principalement en brique pleine ou en moellons datant de l'époque coloniale. Ces bâtiments se composent principalement de un ou deux niveaux

atteignant rarement quatre niveaux et plus. On trouve aussi à l'intérieur de ce noyau en proportions réduites des bâtiments en béton armé, récentes destinés à l'habitat individuel et quelques vestiges de l'époque précoloniale.
A l'extérieur de ce noyau et le long des axes routiers principaux se développe un habitat en béton armé datant soit de l'époque coloniale soit post indépendance.
Cet ensemble de construction est soumis à un aléa sismique assez important vue le contexte géologique de la région.

CHAPITRE 4

ANALYSES ET RÉSULTATS

1 Introduction

Actuellement il n'est pas possible de prévoir avec exactitude l'occurrence d'un séisme à court et moyen terme, mais il reste possible par contre d'évaluer son impact et ses conséquences sur le bâti existant en estimant la vulnérabilité de ce bâti. Pour cela, plusieurs pays se dotent ou adaptent des méthodes pour mener des analyses de vulnérabilité. C'est ce qui a été fait par exemple à Quito (Equateur) [22], en Espagne [33] ou en Guadeloupe [10].

La situation de la ville de Blida (Algérie), son contexte géographique et tectonique nécessitent à plus d'un titre, une analyse de vulnérabilité de son bâti existant. Pour ce, on se propose dans ce chapitre, de déterminer l'indice de vulnérabilité des bâtiments du centre ville de Blida, un tissu urbain caractérisé par son noyau historique avec ses structures en maçonnerie et son extension rapide durant ces dernières années avec ses structures principalement en béton armé.

Pour mener à bien ce travail, une base de données du bâti doit donc être établie ; plusieurs sorties sur terrain sont donc nécessaires et indispensables ; une tache qui, de plus, menée individuellement s'avère particulièrement difficile car celle-ci nécessite beaucoup de temps et beaucoup d'efforts pour gérer les problèmes inhérents à l'administration d'une part et à la population locale, d'autre part.

Les données recueillies pour chaque structure sont traitées par le programme VIP (vulnerability index program) pour déterminer son indice de vulnérabilité. L'ensemble de ces données est ensuite traité et analysé au moyen d'un outil d'information géographique SIG.

2 Délimitation de la zone d'étude

la zone d'étude (fig. 4.1) comprend le centre historique (centre ville) (fig. 4.2) considéré comme le quartier le plus ancien où la majorité des bâtiments date de l'époque coloniale. Ce quartier comporte principalement des structures d'un ou de deux niveaux souvent dans un état de vétusté avancé (fig. 4.3), (fig. 4.4). On y trouve aussi de l'habitat récent et quelques bâtiments datant de l'époque turque.



Fig. 4.1 : Délimitation de la zone d'étude

Les quartiers limitrophes au centre historique se caractérisent par un habitat hétérogène et très dense allant de l'habitat individuel qui comprend l'habitat traditionnel datant de l'époque turque, l'habitat de type colonial (qui est prédominant), l'habitat récent et l'habitat collectif colonial ou récent (fig. 4.5) dont le gabarit varie entre quatre et dix niveaux.


Fig. 4.2 : Limite du centre ville de Blida



Fig. 4.3 : Habitat de l’époque coloniale [13]



Rue Didouche Mourad (centre)

Fig. 4.4 : Habitat de l’époque coloniale [13]



Fig. 4.5: Habitat collectif récent [13]

3 Sectorisation de la zone d'étude

Pour faciliter l'inventaire des différentes constructions de la zone d'étude, il est préférable de diviser la zone d'étude en secteurs identifiés dans le plan d'occupation des sols comme secteurs de base composant le centre ville. Dans notre cas, on a choisi une sectorisation suivant 20 unités d'analyse dont chacune représente un district (fig. 4.6) identifié par son numéro.

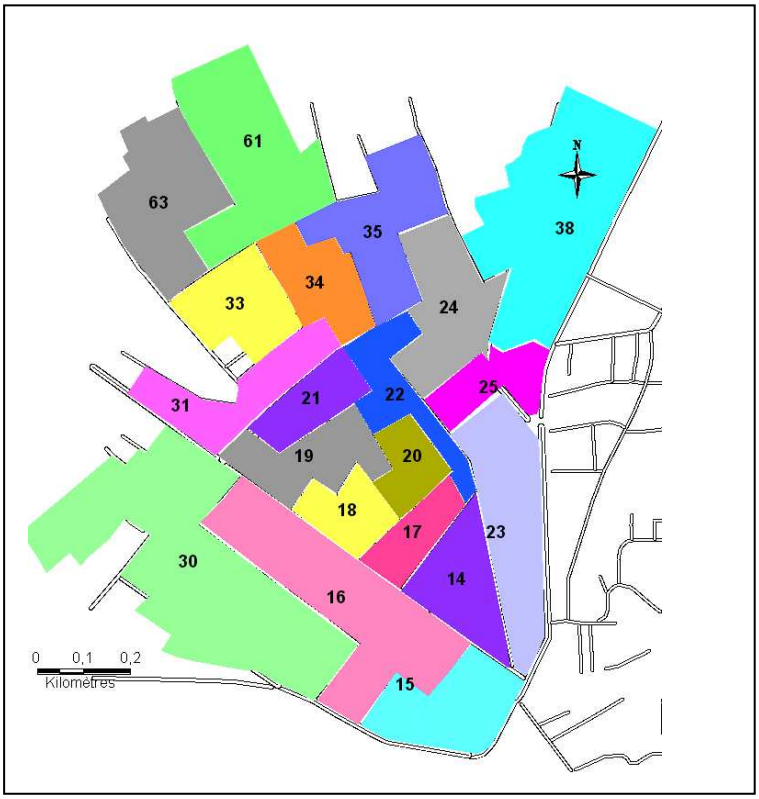


Fig. 4.6 : Sectorisation de la zone d'étude en districts avec leurs numéros sur SIG

4 Recensement général de la population et de l'habitat

L'analyse des données sur la population et l'habitat faite pour les besoins d'étude de la vulnérabilité sismique du centre ville de Blida, est basée sur les résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH-2008) fait par l'Office National des Statistiques (ONS) en 2008 [27]. Pour des raisons d'exploitation rapide des résultats du RGPH-2008 sur notre zone d'étude, une base de données sur système d'information géographique a été créée délimitant chaque districts tout en lui associant des données attributaires dont le numéro du district, le nombre de constructions, le nombre d'habitants et le nombre de logements habités et inhabités (fig. 4.7).

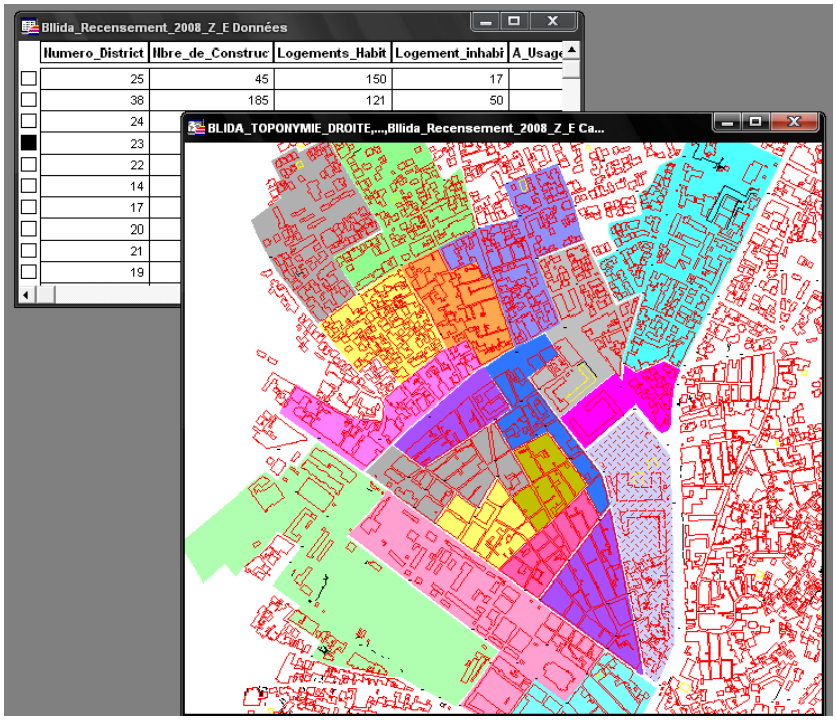


Fig. 4.7 : Base de données sur SIG du RGPH-2008 (zone d'étude)

Dans la zone d'étude, le nombre total de constructions est de 2512 pour une population de 14997. La distribution par district de la population et des constructions est donnée par les figures (4.8) et (4.9).

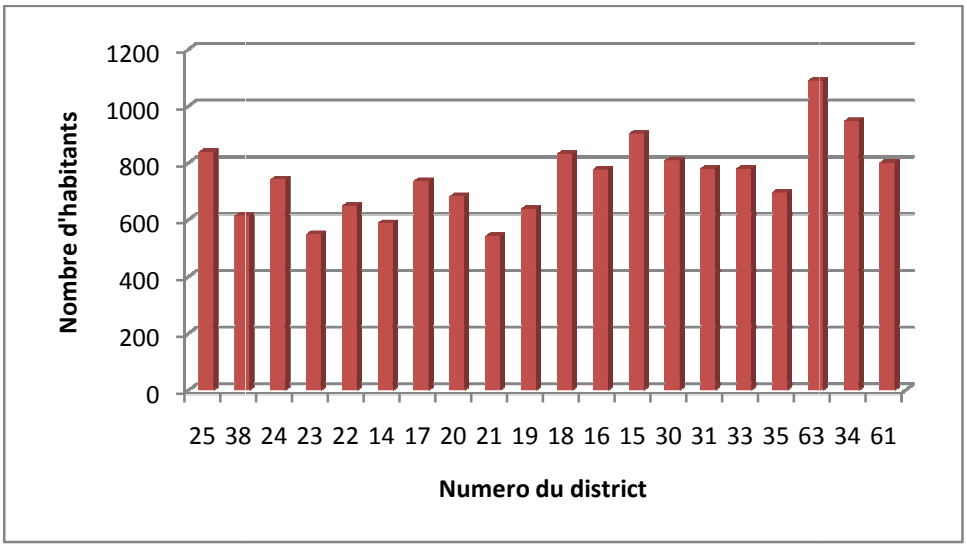


Fig. 4.8 : Nombre de la population par district

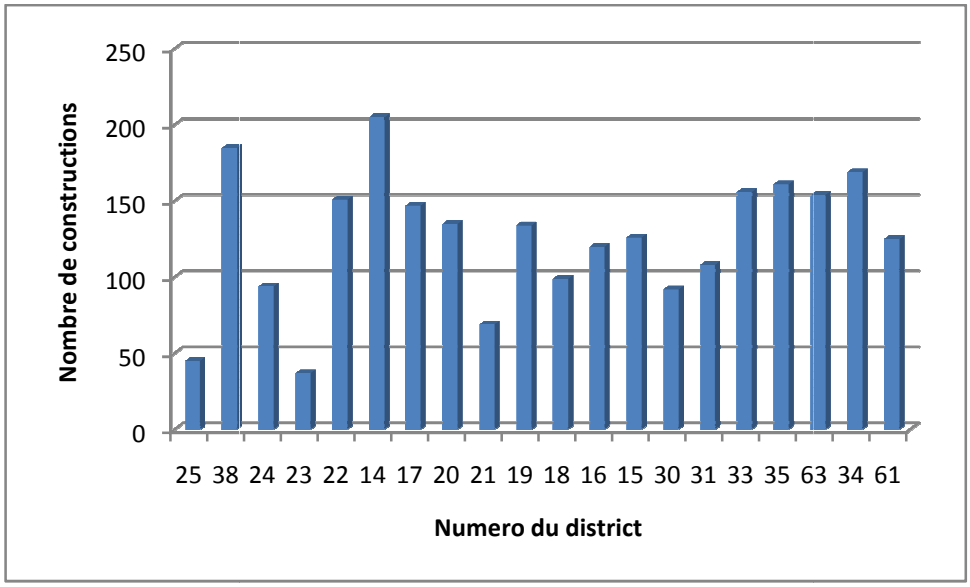


Fig. 4.9 : Nombre de constructions par district

5 Indice de la vulnérabilité sismique du centre ville de Blida

La vulnérabilité du bâti existant de la zone d'étude a été estimée en utilisant l'outil VIP.

5-1 outils de travail

L'expertise des bâtisses par la méthode de l'indice de vulnérabilité nécessite un certain nombres de données dont celles récoltées avant la sortie sur terrain et qui sont la vue en plan des structures pour évaluer leur régularité en plan, le plan de la ville, le plan d'occupation des sols et celles récoltées in situ et qui concernent un certain nombre de paramètres comme l'état des planchers, celui des murs, l'état d'entretien, etc. paramètres déjà précisés au deuxième chapitre. Il est donc nécessaire surtout lorsqu'on travaille dans une zone à très forte densité de bâtiments et où les plans architecturaux sont quasiment inexistants de se munir d'un minimum d'outils. Parmi ces outils, nous citerons :

- Un plan d'occupation des sols (P.O.S) et un plan de toponymie de la ville permettant la localisation des différents quartiers (fig. 4.10).

- Un plan de restitution fourni par le CADASTRE : un fichier vecteur établi à partir de photos aériennes qui facilitera le géo positionnement des bâtisses dans un SIG (fig. 4.11).

- Une photo aérienne ou une image « google earth » : un fichier raster pour évaluer les formes en plans et la contiguïté des structures (fig. 4.12).



Fig. 4.10 : Plan de la ville

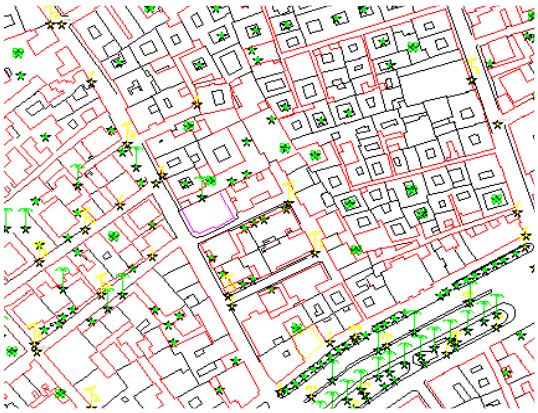


Fig. 4.11 : Plan de restitution



Fig. 4.12 : Photo aérienne

5-2 Récolte des données

La zone d'étude avec ses vingt districts comprend un nombre total de constructions de 2512 avec un maximum de 205 constructions pour le district le plus dense et 37 constructions pour le district le moins dense. Sur ce nombre total, un échantillon de 370 bâtisses soit près de 15 % du nombre total des constructions a été choisi de manière aléatoire sur toute la superficie de la zone d'étude. Cet échantillon est composé exclusivement de bâtiments en maçonnerie et de bâtiments en béton armé vu l'absence d'un échantillon représentatif de bâtiments en charpente métallique dans cette zone. Une base de données a été donc établie pour chaque bâtiment en vue d'une analyse ultérieure.

5-3 Classes et indice de vulnérabilité des bâtiments

Après analyse sur SIG (fig.4.13), sur un nombre total de bâtiments de 370 dont 300 en maçonnerie et 70 en béton armé, on a dénombré 78 classés 'vert', 185 classés 'orange' et 109 classés 'rouge' (tableau 4.1, fig.4.14) selon les classements définis dans le chapitre (2). La proportion du nombre appartenant à chaque classe par rapport au nombre total des constructions est donnée par la figure (4.15).



Fig. 4.13 : vue en plan d'une partie des bâtiments sur SIG

Indice de vulnérabilité IV	Nombre de constructions
M :[0 - 0,20] et B.A : [0 - 0,40]	**76**
M :[0,21 – 0,60] et B.A : [0,41 – 0,70]	**185**
M :[0,61 – 1] et B.A : [0,71 – 1]	**109**

Tableau 4.1 : indice de vulnérabilité et nombre de constructions
(M : maçonnerie et B.A : béton armé)

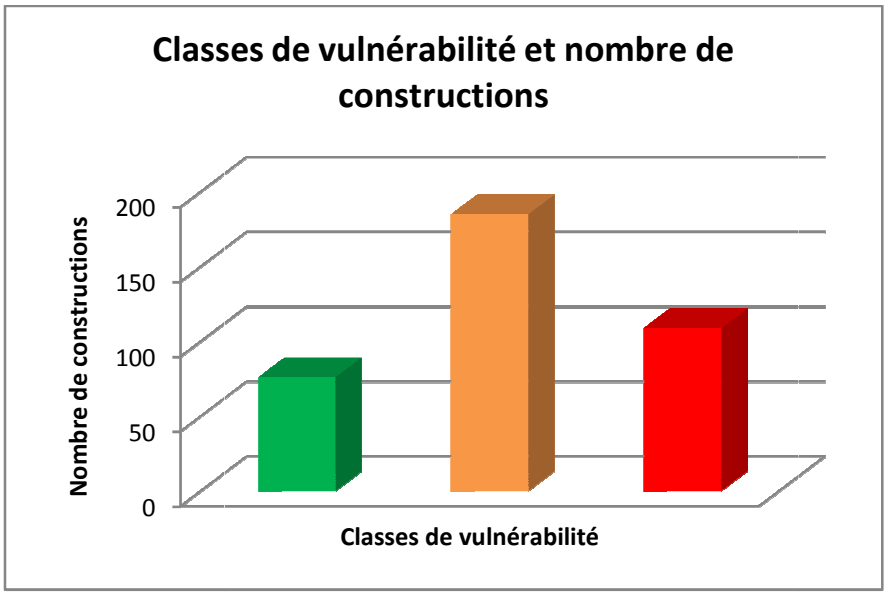


Fig. 4.14 : Classes de vulnérabilité et nombre de constructions

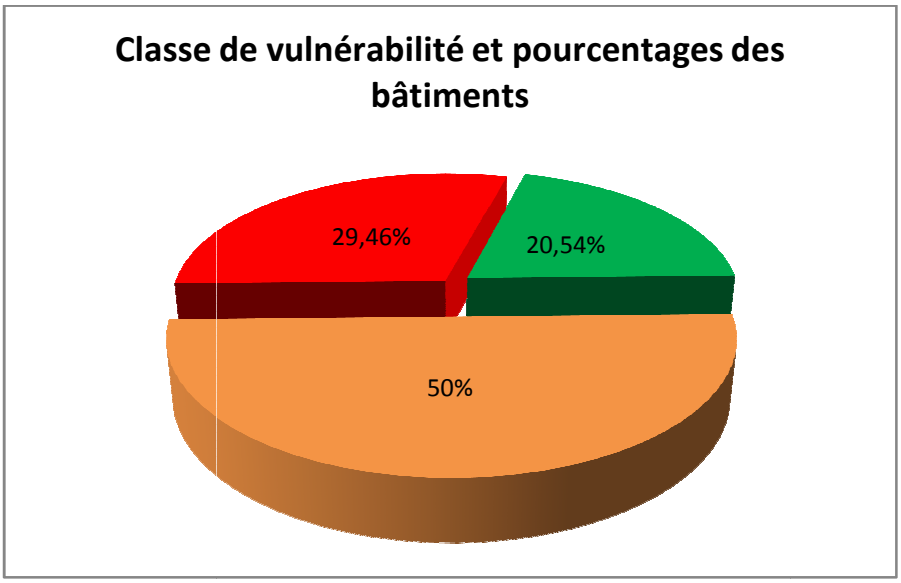


Fig. 4.15 : Proportion des bâtiments pour chaque classe

Commentaire

La proportion des bâtiments classés 'orange' et 'rouge' représente 79 % du nombre total des constructions, une proportion extrêmement importante. En plus, prés de 30 % des constructions sont classés 'rouge' ce qui conduit à affirmer que le parc immobilier de cette zone présente une très grande vulnérabilité vis-à-vis des séismes. Notons cependant que cette vulnérabilité est calculée pour un séisme probable spécifique à une zone classée à très forte sismicité par le règlement parasismique algérien. En effet, cet indice est calculé en fonction du paramètre 'Résistance au cisaillement' dont les paramètres d'estimation comme la 'classification de la zone' est spécifique à une zone à très forte sismicité. Pour un séisme d'une magnitude inférieure à celle probable en zone classée à très forte sismicité, l'indice de vulnérabilité des bâtiments prendra des valeurs inférieures à celles déterminées par l'expertise. Néanmoins cette classification donne une hiérarchisation dans l'ordre d'intervention pour un éventuel renforcement des structures.

5-4 Classification des bâtiments selon leurs typologies

Dans notre échantillon, nous avons 70 bâtisses en béton armé et 300 en maçonnerie (fig. 4.16) soit un ratio de 81,08 % pour la maçonnerie et 18,92 % pour le béton (fig. 4.17).

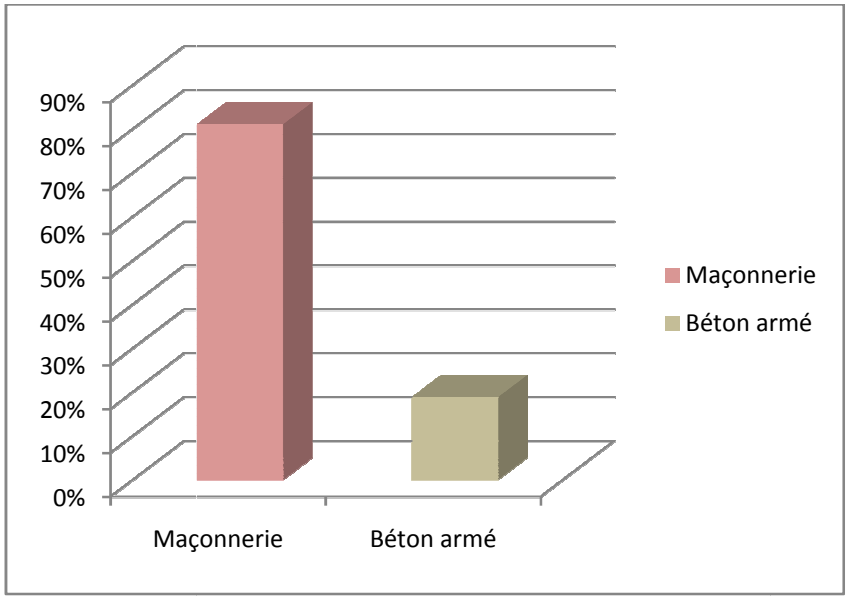


Fig. 4.16 : Nombre de bâtiments en maçonnerie et en béton armé

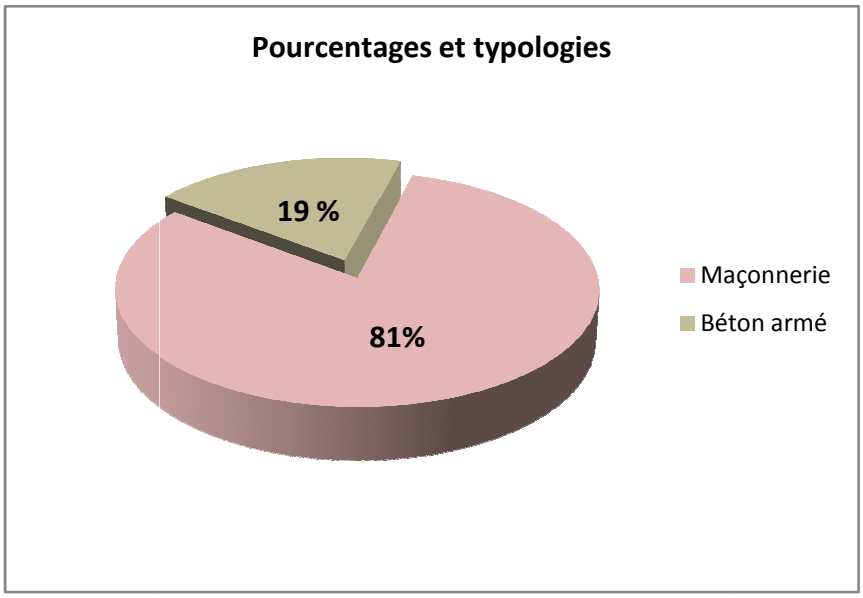


Fig. 4.17 : Pourcentages suivant la typologie

5-5 Indice de vulnérabilité et bâtiments en maçonnerie

On s'intéresse dans ce qui suit à l'indice de vulnérabilité sismique des bâtiments en maçonnerie. Comme il a déjà été précisé, ces bâtiments occupent une proportion très importante dans le bâti de la ville de Blida (80 %). Une attention particulière est donc nécessaire dans le but de classer et répertorier ces structures en fonction de leur vulnérabilité sismique. Néanmoins, il est tout aussi judicieux de faire une classification en catégories de niveaux c'est-à-dire en fonction du nombre d'étages des bâtisses.

5-5-1 Nombre d'étages des bâtiments

Une analyse thématique sur SIG des structures en fonction du nombre d'étages nous a permis d'établir le tableau (4-2) où l'on a opté pour quatre classes allant de (R+0) c'est-à-dire rez-de-chaussée seulement, jusqu'au (R+3 et plus).

Niv. des bâtisses	Nbr. de bâtisses	Pourcentage
R+0	105	35 %
R+1	132	44 %
R+2	42	14 %
R+3 et plus	21	7 %

Tableau 4.2 : Nombre de bâtiments et leur pourcentage en fonction du nombre d'étage

Une représentation est établie ci-dessous donnant le nombre de bâtiments (fig. 4.18) et leur pourcentage en fonction du nombre d'étages (fig. 4.19)

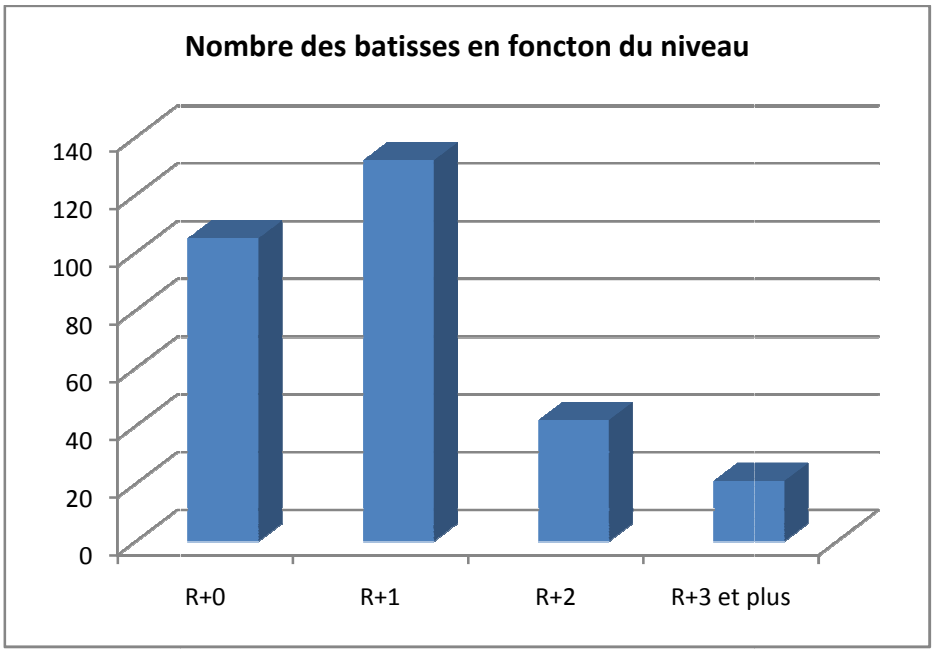


Fig. 4.18 : nombres de bâtiments en fonction du nombre d'étages

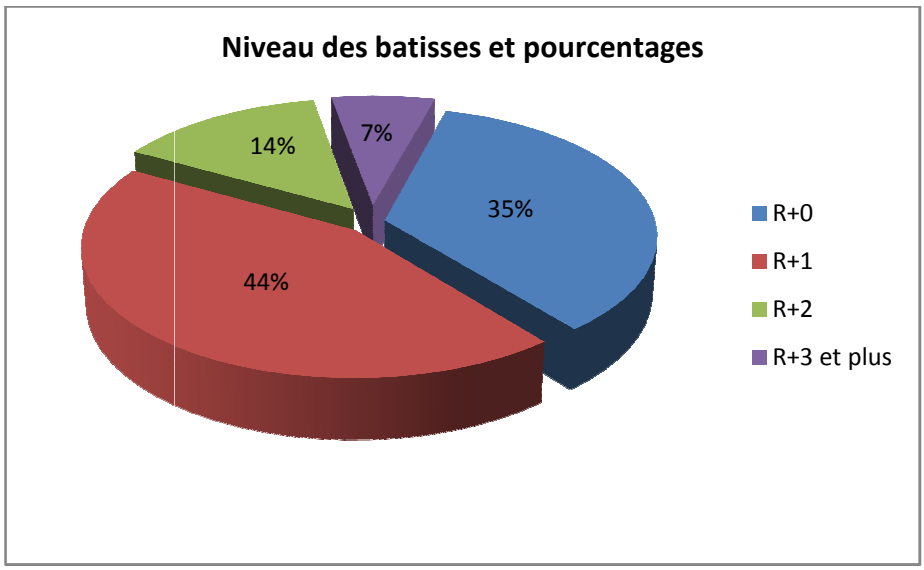


Fig. 4.19 : Pourcentage des bâtiments pour chaque nombre d'étages

Commentaire :

Les bâtiments en (R+0) et (R+1) occupent à eux seuls près de 80 % du parc immobilier. les bâtiments en (R+2) et plus ne représentent que 20 %. Quant aux bâtiments en (R+3) et plus, leur nombre est très réduit et ne représentent que 7 %. Une plus grande attention doit donc être portée aux bâtiments en (R+1) et (R+0).

5-5-2 Indice de vulnérabilité

L'analyse thématique effectuée sur SIG a donné les résultats suivants : 6 bâtiments classés 'vert', 185 classés 'orange' et 109 classés 'rouge' soit respectivement des pourcentages de 2%, 61,67 % et 36,33 % (Tab 4-3). Une représentation graphique est donnée ci dessous (fig.4.20) et (4.21).

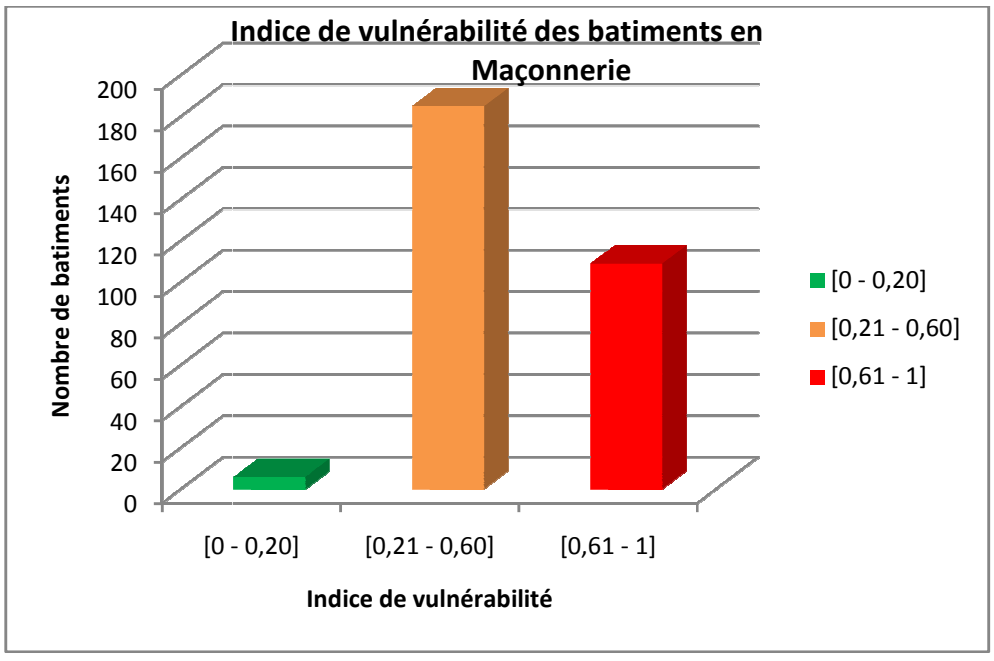


Fig. 4.20 : Classes de vulnérabilité et nombre de bâtiments

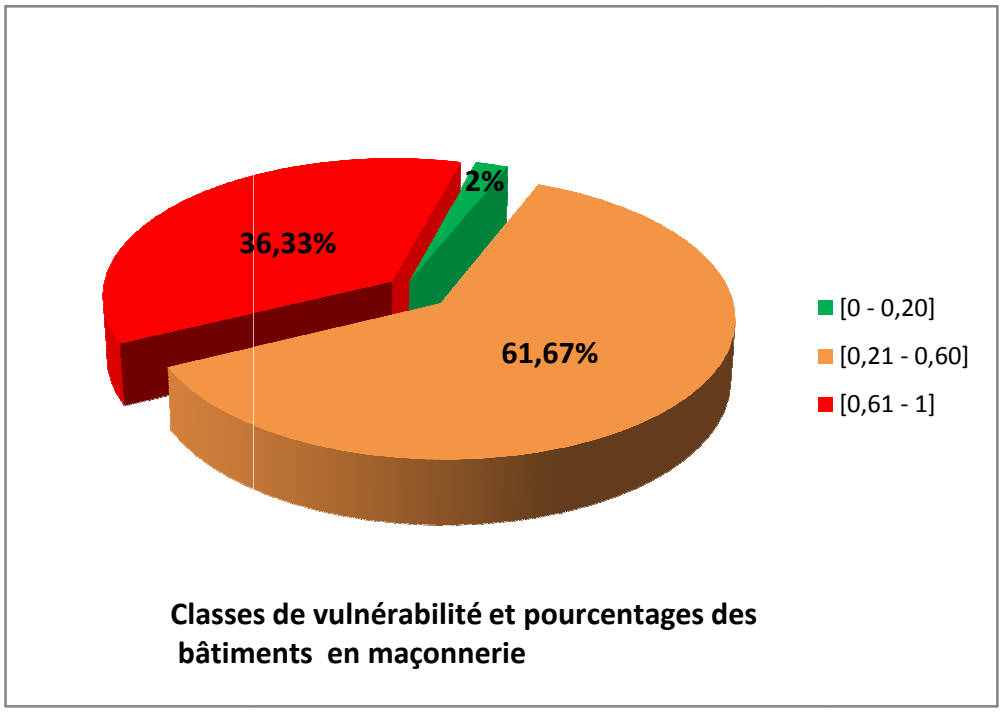


Fig. 4.21 : Classe de vulnérabilité et pourcentages des bâtisses

Commentaire :

Presque tous les bâtiments en maçonnerie de cette zone sont classés 'orange' ou 'rouge' avec une proportion de 36,33 % de bâtiments classés rouge, un pourcentage très important pour un centre ville. En considérant en plus la proportion des bâtiments en maçonnerie, on peut affirmer que le centre ville de Blida est particulièrement vulnérable.

5-5-3 Indice de vulnérabilité et nombre d'étages

Nous examinerons dans ce qui suit, la vulnérabilité des bâtiments en maçonnerie en fonction du nombre d'étages. Nous commencerons par donner des résultats statistiques pour chaque catégorie de niveau pour voir les plages dans lesquelles varie l'indice de vulnérabilité. Des graphes donnant cet indice pour chaque bâtiment de chaque catégorie nous permet de mieux visualiser ces variations. Ensuite, nous donnerons le nombre de bâtiments pour chaque classe de vulnérabilité et chaque catégorie de niveau.

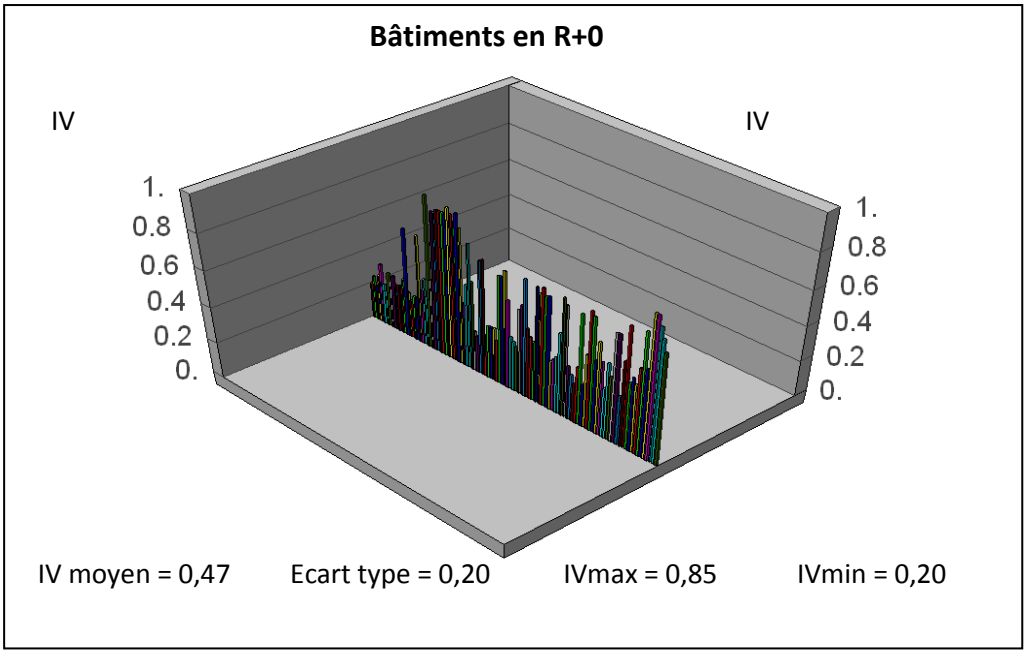


Fig. 4.22 : Variation de l'IV pour chaque bâtiment de catégorie R+0

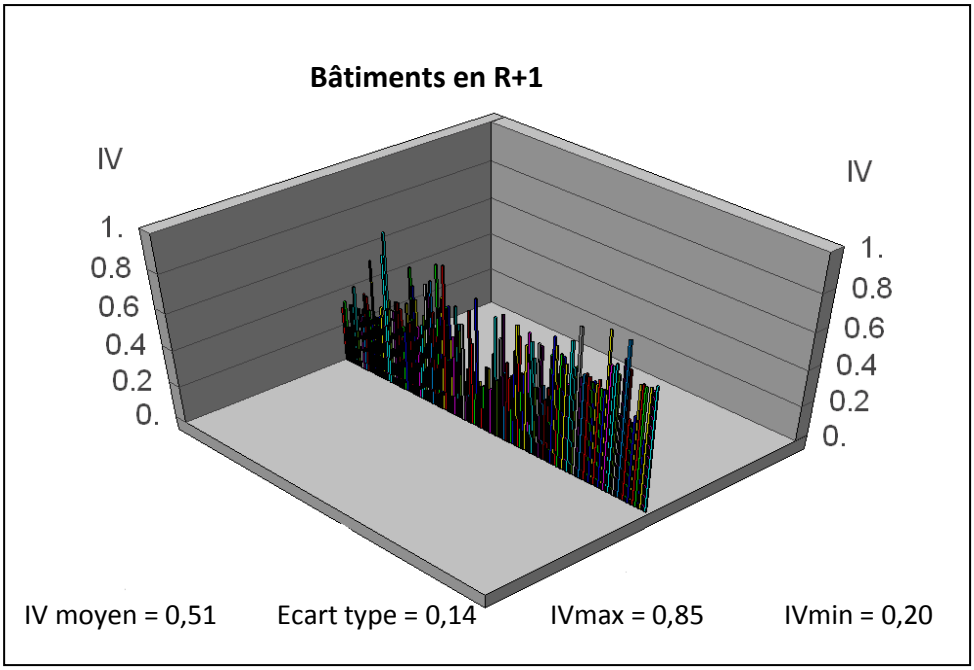


Fig. 4.23 : Variation de l'IV pour chaque bâtiment de catégorie R+1

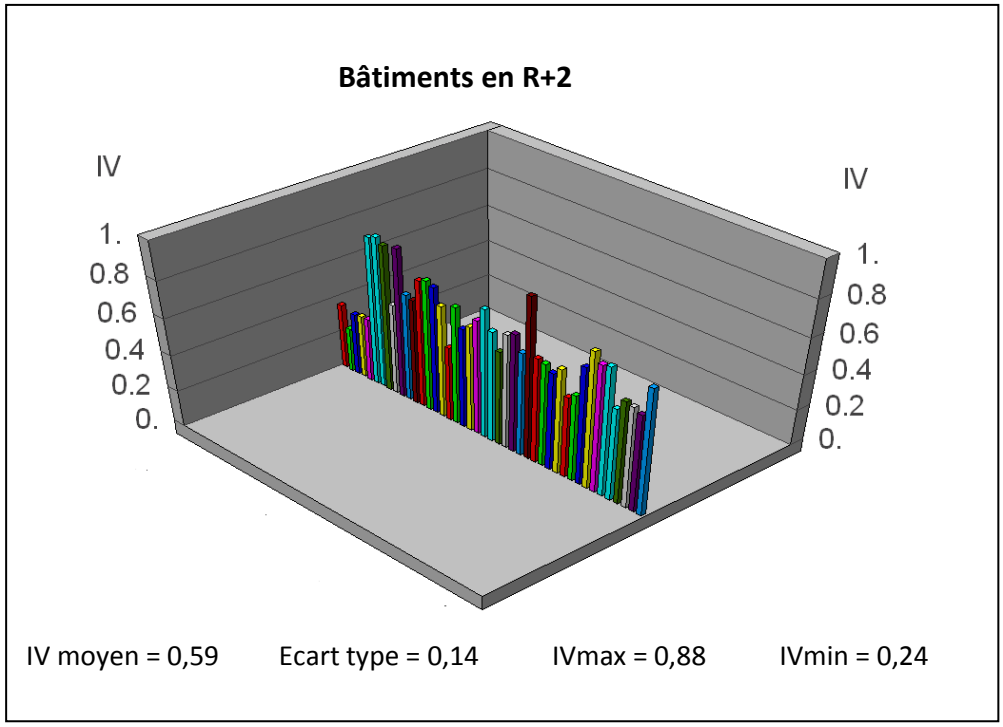


Fig. 4.24 : Variation de l'IV pour chaque bâtiment de catégorie R+2

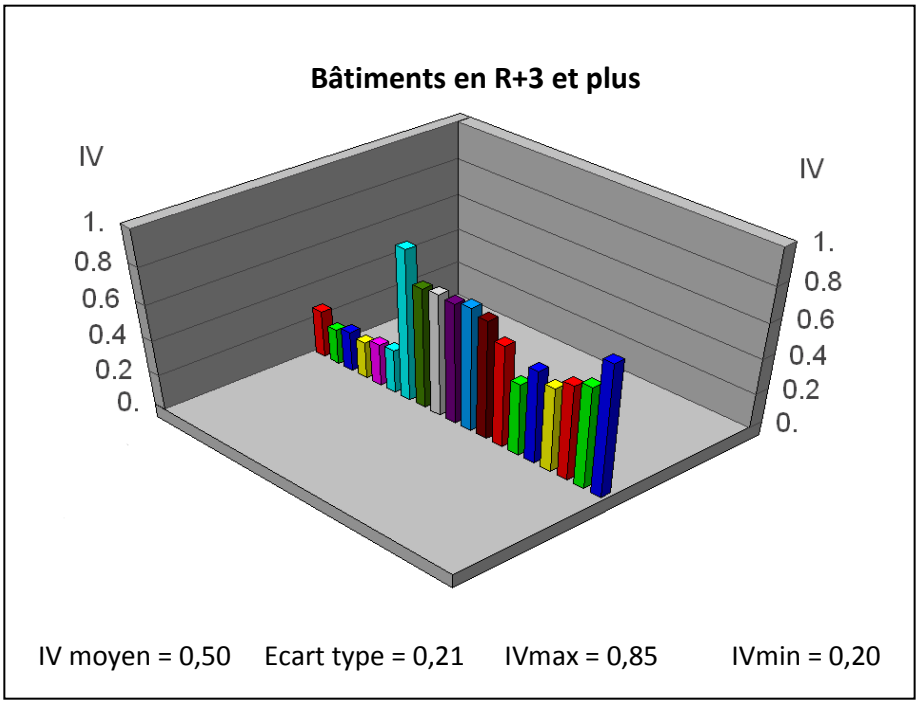


Fig. 4.25 : Variation de l'IV pour chaque bâtiment de catégorie R+3 et plus.

Commentaire :

Les diagrammes (fig.4.22), (fig.4.23), (fig.4.24) et (4.-25) montrent que l'indice de vulnérabilité a une valeur 'seuil' qui avoisine 0,20 dans le cas des bâtiments (R+0), (R+3) et 0,45 dans le cas des bâtiments (R+1) et (R+2). D'un autre coté, une partie des bâtiments de chaque catégorie semble avoir des indices de vulnérabilité très voisins qui traduisent vraisemblablement le fait que les bâtiments en maçonnerie ont tous plus ou moins les mêmes caractéristiques de vulnérabilité. On peut donc conclure que dans notre cas, pour les constructions en (R+0) et (R+3 et plus), deux classent apparaissent : une première classe avec un IV proche de 0,20 par valeurs supérieures et une deuxième classe principalement celles en (R+0) avec un IV très élevé. Par contre, pour les constructions en (R+1) et (R+2), ils se regroupent tous autour d'une seule classe avec un IV voisin de 0,45. Le calcul de la moyenne de l'indice de vulnérabilité des bâtiments en (R+1) et (R+2) a donc donné une valeur très significative pour cette catégorie de bâtiments, par contre celle des bâtiments en R+0 et (R+3 et plus) traduit plutôt une moyenne entre les deux classes précitées.

5-5-4 Indice de vulnérabilité et catégories

En se basant sur une analyse thématique, nous donnons ci après pour différents niveaux, le nombre de bâtiments appartenant à chaque classe de vulnérabilité des constructions en maçonnerie (Tableau 4.3), (fig.4.26).

Nbr. d'étages	Plages de IV		
	[0 - 0,20]	[0,21 – 0,60]	[0,61 – 1]
R+0	3	62	40
R+1	3	89	40
R+2	0	22	20
R+3 et plus	0	12	9

Tableau 4.3 : Classification des bâtiments selon leur indice de vulnérabilité et leur nombre d'étages

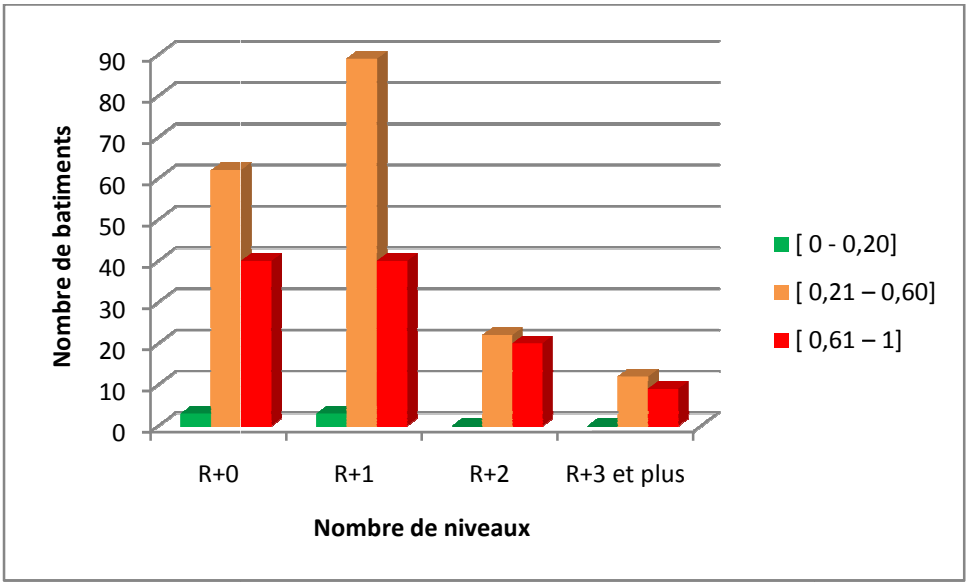


Fig. 4.26 : Représentation du nombre de bâtiments selon leur nombre d'étages et leur classe de vulnérabilité

Commentaire :

Les bâtiments classés 'vert' sont quasiment inexistants dans cette typologie. La majeure partie des bâtiments est classée 'orange' et une très grande partie des bâtiments est classée 'rouge'.

5-6 Indice de vulnérabilité des bâtiments en béton armé

Dans cette typologie, toutes les structures sont classées 'vert' (fig.4.27) ; cela est expliqué par le fait que dans notre base de données, les bâtiments en béton armé sont tous récents.

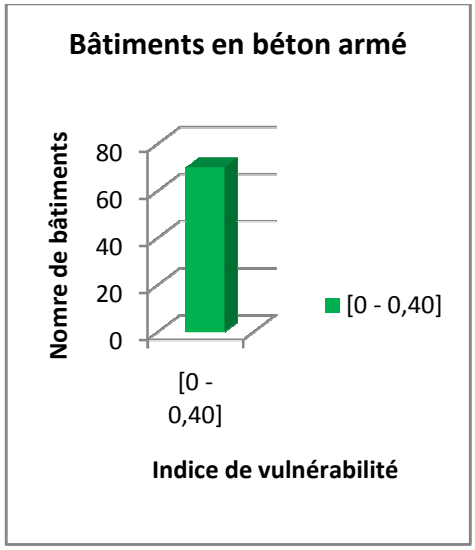


Fig. 4.27 : Indice de vulnérabilité des bâtiments en béton armé

5-7 Analyse spatiale

Ce qu'on entend par analyse spatiale est l'ensemble des requêtes sur SIG pour visualiser l'ensemble des bâtiments, leur classe de vulnérabilité respective, leur localisation géographique, la toponymie, les différentes possibilités d'accès aux structures. L'analyse spatiale offre aussi d'autres possibilités de requêtes grâce aux programmes du SIG et constitue un outil puissant dans la prise de décision et l'intervention (fig.4.28).

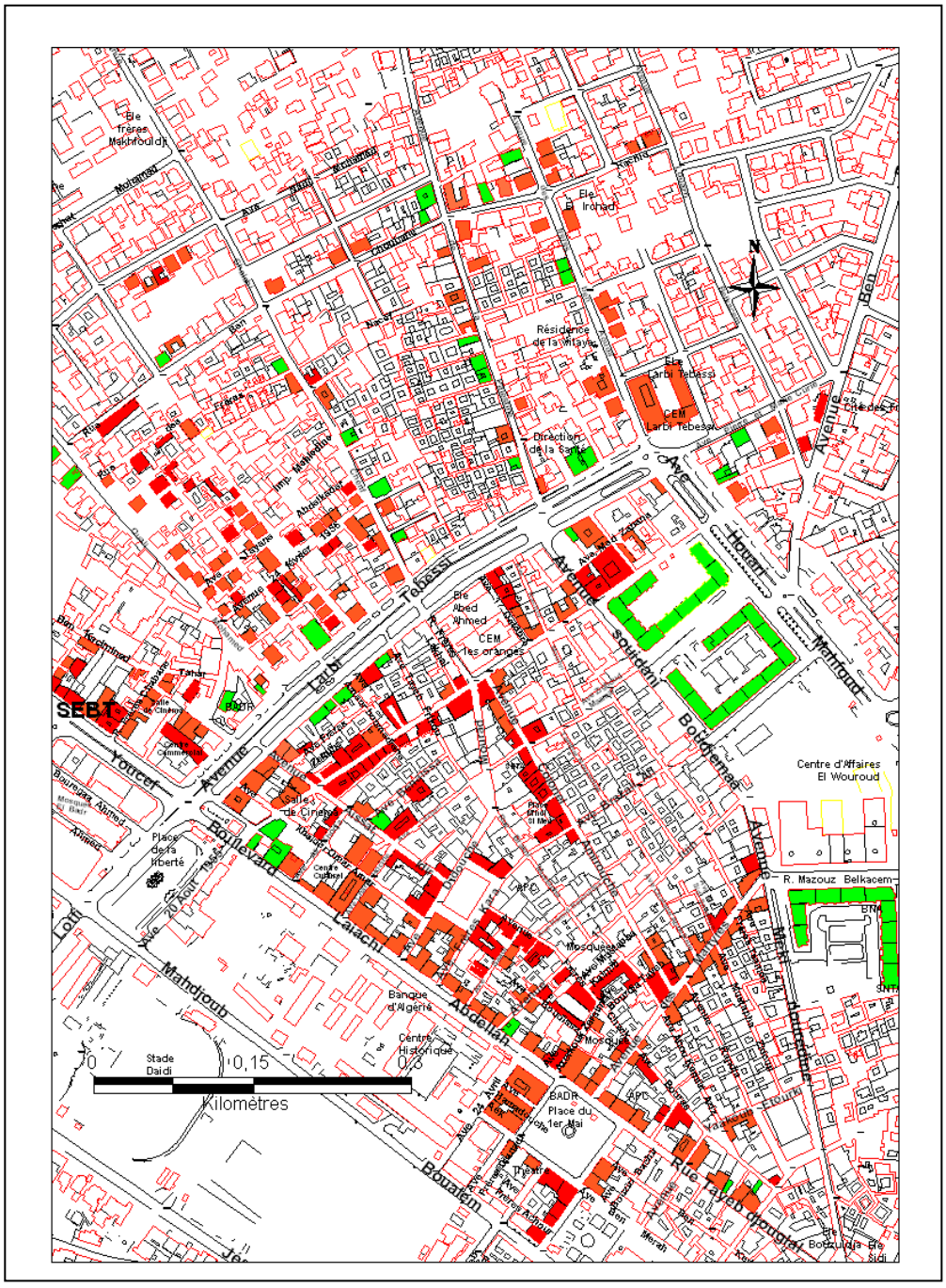


Fig. 4.28 : Visualisation spatiale du bâti, de l'indice de vulnérabilité et de la toponymie.

L'ensemble des résultats de l'étude est représenté ci-dessus fig.4.28 et met en relief les zones à risque élevé, à risque modéré et à risque faible. Ainsi, il apparaît que la ceinture extérieure est à faible risque de dommage, alors que plus on se rapproche du noyau central, plus le risque augmente.

5-8 Vulnérabilité des districts

La vulnérabilité des districts sera gouvernée par l'indice de vulnérabilité des constructions du district ainsi que de sa population. Ainsi un district ayant un grand nombre de constructions en rouge avec une grande densité de population sera plus vulnérable qu'un autre avec une densité moindre par exemple. Une requête sur SIG nous permet de réaliser cette analyse. Le résultat est donné sur la figure (4.29).

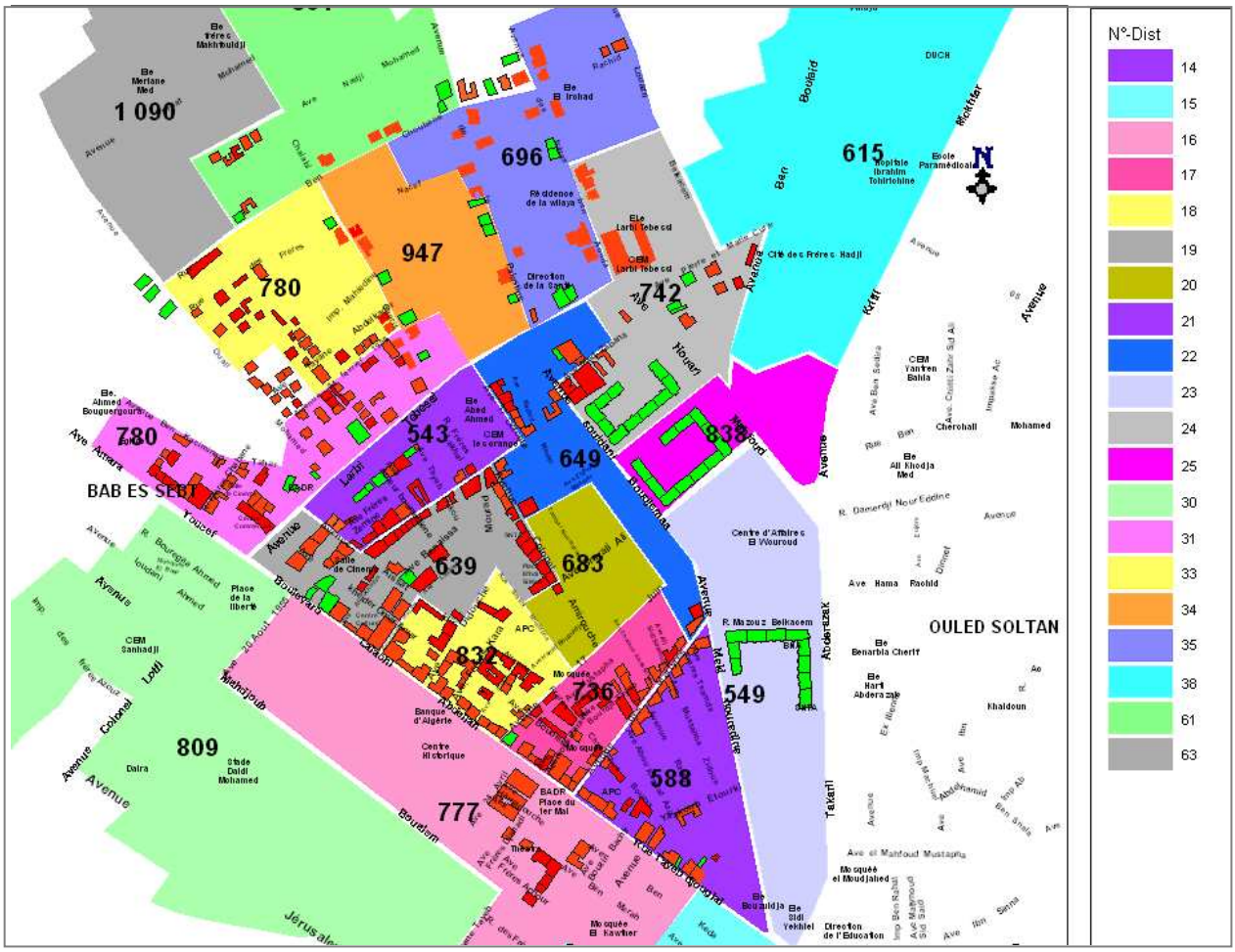


Fig. 4.29 : Visualisation du bâti, de son indice de vulnérabilité et du nombre de la population par district.

Ainsi on retient les quatre districts les plus vulnérables selon le pourcentage des bâtiments classés 'rouge' et le nombre de la population (fig.4.30). Le district (19) est donc considéré comme le plus vulnérable avec un pourcentage de bâtiments classés 'rouge' de 55,81 % et une population de 639 habitants, suivi du district (33), avec un pourcentage de bâtiments 'rouge' de 48,14 % et une population de 832 habitants ; en troisième position, se trouve le district (18), avec un pourcentage de 'rouge ' de 37,5 % et une population de 780 habitants et enfin le district (17) avec 36,66 % de bâtiments 'rouge' et une population de 736 habitants.

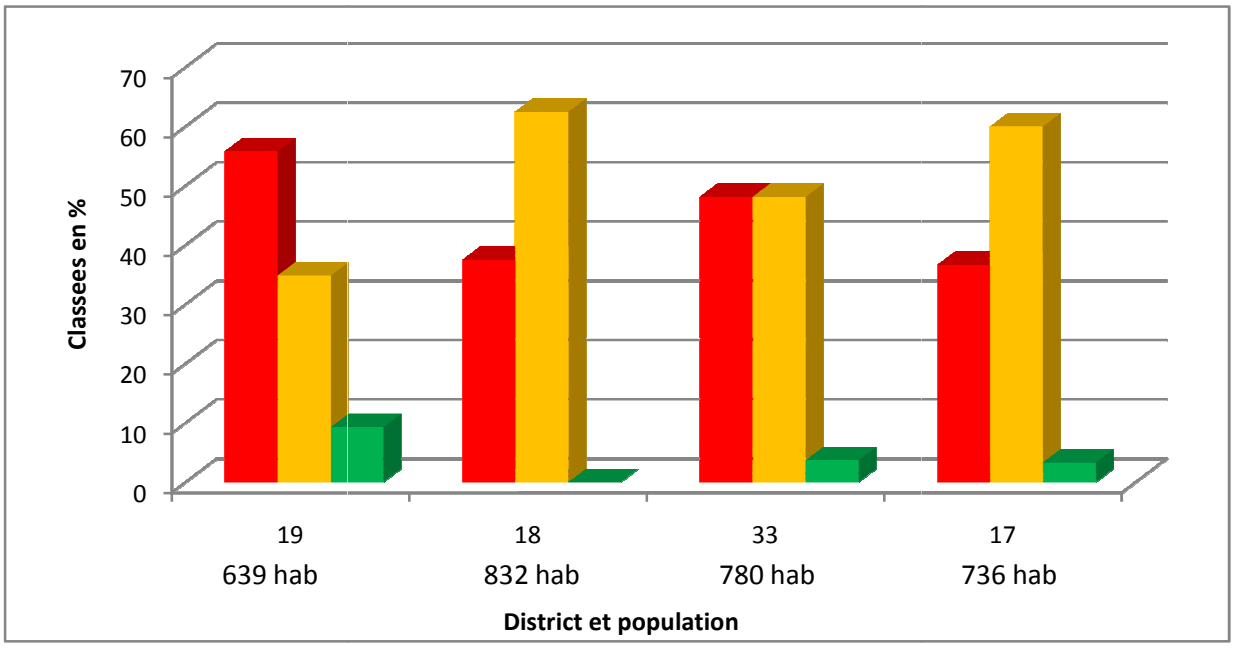


Fig. 4.30 : Classes de vulnérabilité en fonction du nombre de la population par district.

Il convient donc d'axer les interventions de renforcement ou de relogement sur ces districts qui englobent une population de 2987 habitants soit près de 20 % de la population de notre zone d'étude.

5-9 Vulnérabilité des quartiers

En délimitant la zone d'étude, on a considéré que celle-ci englobe vingt unités d'analyses, soit vingt districts. En considérant par la suite une analyse en unités de quartiers, il est utile de remarquer que la délimitation des quartiers dans la zone d'étude, n'englobe pas parfois toutes les limites de ces derniers. La figure 4.31 montre la délimitation de la zone d'étude ainsi que les quartiers du centre de la ville de Blida. On retient donc les quartiers suivants :

- Quartier centre ville
- Quartier Kouchet El Djir
- Quartier Bab Ezzaouia

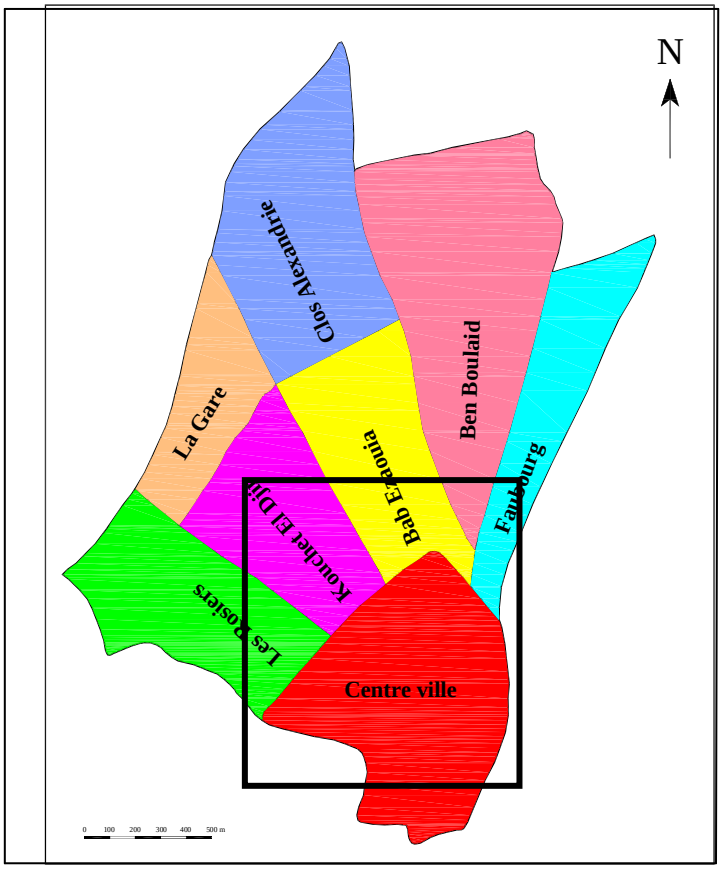


Fig. 4.31 : Zone d'étude et quartiers du centre ville de Blida

Une requête sur SIG (fig. 3.32) nous a permis d'obtenir le pourcentage des bâtisses pour chaque classe de vulnérabilité (tab. 4.4).

Quartiers	Classes de vulnérabilité		
	vert	orange	rouge
centre ville	20.1 %	45.32 %	35.58 %
Kouchet El Djir	9.18 %	60.21 %	30.61 %
Bab Ezzaouia	31.91 %	65.96 %	2.13 %

Tab. 4.4 : classes de vulnérabilité des quartiers

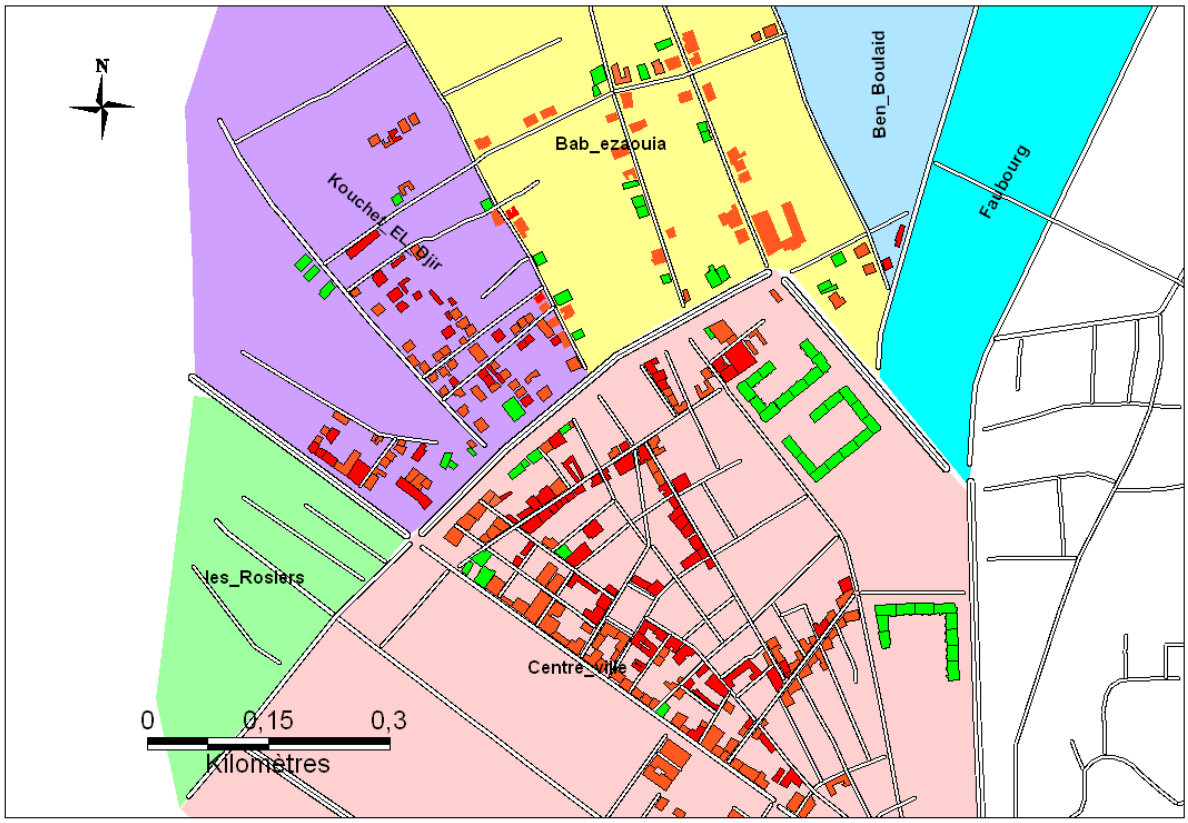


Fig. 4.32 : Classes de vulnérabilité des bâtiments par quartier.

Incontestablement, le quartier centre-ville est considéré comme le plus vulnérable ; nous remarquons (fig. 4.32) que les bâtiments les plus vulnérables se situent à l'intérieur du noyau de ce quartier caractérisé par une très grande densité de constructions et des ruelles étroites et que les bâtiments classés 'vert' se situent principalement sur la périphérie de ce quartier.

6 Conclusion

On s'est intéressé dans ce chapitre spécialement à la détermination de l'indice de vulnérabilité du centre ville de Blida ; mais au préalable, notons encore une fois que notre travail in situ s'est révélé une tache ardue qui a nécessité beaucoup d'efforts et beaucoup de temps. D'un autre côté, cela nous a permis de cumuler une expérience qui permettra à l'avenir d'appréhender le travail in situ avec le recul nécessaire. L'utilisation d'un SIG dans ce travail s'est avérée un outil puissant pour l'exploitation des données récoltées in situ. Cet outil nous a en effet, permis de faire les requêtes nécessaires et suffisantes pour approcher l'indice de vulnérabilité de manière analytique et spatiale. Une première analyse nous a permis de conclure que ce centre est constitué majoritairement de structures en maçonnerie particulièrement vulnérables et le reste du parc, de structures en béton armé récentes présentant une faible vulnérabilité sismique. L'étude spécifique aux bâtiments en maçonnerie montre que la majorité de ces structures ne dépasse pas deux niveaux et que cette catégorie s'est avérée la plus vulnérable des structures précitées. Notons également que dans la catégorie des structures composées d'un rez-de-chaussée seulement, on a constaté qu'elles présentent deux classes de vulnérabilité : une classe qui observe un indice de vulnérabilité proche de 0,2 par valeurs supérieures (0,2 est la valeur limite supérieure du 'vert') et une classe présentant une très forte vulnérabilité.

Enfin, une analyse spatiale nous a permis de localiser géographiquement les structures avec leur vulnérabilité, leur typologie et leur nombre d'étages.

Cette analyse spatiale offre des informations capitales pour la prise de décision pour l'intervention in situ pour ce qui concerne l'opération de renforcement des constructions ou de relogement selon les décisions des autorités en charge de la gestion de la ville. Ainsi, pour le centre-ville de Blida, il est apparu que les districts les plus vulnérables sont les districts (19), (18) et (33), aussi convient-il de commencer à concentrer les efforts sur ces districts afin de réduire les pertes en vies humaines.

Conclusion Générale et perspectives

La méthode de l'indice de vulnérabilité adaptée au contexte algérien est une méthode qui prend en compte non seulement la typologie des bâtiments (cas de l'EMS) mais aussi les paramètres structuraux et non structuraux des bâtiments. Cette méthode nous renseigne sur la vulnérabilité sismique des bâtiments en leur affectant un indice traduisant la qualité sismique de la structure. Mentionnons que cet indice dépend de l'aléa sismique car ce dernier est calculé en tenant compte de la classification des bâtiments en fonction des zones à faible, moyenne et forte sismicité.

Cette méthode appliquée à un centre urbain au moyen d'un système d'information géographique (MAPINFO) nous a permis de réaliser deux types d'analyses sur le tissu urbain du centre ville de la ville de Blida, à savoir :

- Une analyse thématique : portant sur le recensement de la population, de l'habitat (dans la zone d'étude), le choix d'un échantillon de370 bâtiments représentant plus de 15% du bâti de la zone d'étude, la détermination de l'indice de vulnérabilité de chaque bâtiment, la détermination de l'indice de vulnérabilité pour chaque typologie de bâtiments, la détermination de l'indice de vulnérabilité en fonction du nombre de niveaux des bâtiments et la classification de la vulnérabilité pour chaque catégorie de niveau.

- Une analyse spatiale : portant sur l'établissement de cartes géo référencées qui précisent la zone d'étude, la toponymie, la sectorisation, la localisation des bâtiments avec leur indice de vulnérabilité, leur typologie et leur nombre d'étages.

L'analyse thématique fait ressortir le fait que le centre -ville de Blida est composé d'un parc très vulnérable avec 20.5 % seulement de bâtiments classés en 'vert', 50 % classés en 'orange' et 29.5 %' classés en rouge. Ce parc est principalement composé de bâtiments en maçonnerie qui occupent une proportion de 81% et qui enregistrent une vulnérabilité encore plus importante que celle calculée pour l'ensemble de la zone. Cette typologie est composée essentiellement de bâtiments en R+0, R+1 et R+2 qui représentent à eux seuls près de 90 % de l'ensemble des bâtiments en maçonnerie et dont les plus vulnérables sont les bâtiments en R+1 et R+2. Les bâtiments en R+0 sont aussi de classe 'orange'. Néanmoins, nous remarquons l'existence dans cette classe, d'une bonne proportion de bâtiments ayant un indice de vulnérabilité proche de la valeur inférieure de cette classe donc non- vulnérable.
Quant aux bâtiments en béton armé qui représentent 20 % du parc, ils sont généralement de construction récente et sont classés 'vert'.

D’autre part, les cartes établies permettent par une analyse spatiale, d’estimer la vulnérabilité sismique au niveau d’un district, d’un ilot et même au niveau d’un bâtiment individuel en hiérarchisant ainsi les secteurs exposés. En effet, on remarque que le centre -ville de Blida est caractérisé par un noyau très vulnérable composé de bâtiments en maçonnerie (moellons équarris et bruts ou briques pleines) et un nombre très réduit de bâtiments en béton armé. Ce noyau est ceinturé le long des axes routiers principaux par un ensemble de bâtiments moins vulnérables avec un nombre plus important de bâtiments en béton armé.

De cette analyse, une première exploitation peut être faite en identifiant les structures les plus vulnérables au séisme de façon à planifier et organiser une politique de renforcement du bâti. Cette approche ne fait aucune évaluation des dommages et des pertes ; elle permet seulement de hiérarchiser les secteurs les plus vulnérables et offre une base pour une étude de vulnérabilité exhaustive. Ainsi, il a été mis en évidence que les secteurs les plus vulnérables sont les districts (19), (18) et (33).
Une deuxième exploitation nécessitant beaucoup plus de temps et d’effort peut être ainsi entreprise avec le tracé des courbes de vulnérabilité pour le bâti existant ainsi que pour les réseaux vitaux afin d’évaluer les dommages et les pertes dans la perspective d’établir une méthode pour la gestion du risque sismique d’une agglomération adaptée au contexte Algérien.

Références

[1] :AFPS (Association Française du Génie Parasismique) Vulnérabilité sismique du bâti existant , Approche d'ensemble. Cahier technique n° 25, France, 2005.

[2] : Règles Parasismiques Algériennes, RPA99 modifié en 2003, Algérie, 2003.

[3] : G. GRüNTHAL, l'Echelle Macrosismique Européenne, Cahier du centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, volume 19, Edition Française A.Levert, Luxembourg, 2001.

[4] : MARIE-JOSÉ. NOLLET, ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITE SISMIQUE DES BÂTIMENTS EXISTANTS, État des connaissances, rapport technique de l'ETC, Montréal, 16 juin 2004.

[5] : Kerstin Lang, Seismic Vulnerability of existing buildings, these de doctorat, SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ZURICH, Suisse, 2002.

[6]:G.M.Calvi, R.Pinho, G.Magenes, J.J. Bommer, L.F Restrepo Vélez end H. Crowley,DEVLOPMENT OF SEISMIC VULNERABILITY ASSESMENT METHODOLOGIES OVER THE PAST 30 YEARS, ISET journal of Earthquake Technology, Paper n°472 Vol 43, UK, London, septembre 2006.

[7]: ATC-13-1 (Applied Technology Council), Commentary of the use of ATC-13 Earthquake Damage Evaluation Data for Probable Maximum Loss Studies of California Building.

[8]: FEMA 155 (Federal Emergency Management Agency) ATC-21-1(Applied Technology Council), Rapid visual Screening of Potential Seismic Hazards: Supporting documentation, avril 1986.

[9]: FEMA 154 (Federal Emergency Management Agency), Rapid visual Screening of Potential Seismic Hazard, A.Handbook, edition 2, Mars 2002.

[10]: BRGM, Scenarios Départementaux de Risque sismique en Guadeloupe. Rapport Final, BRGM/RP-57488-FR, Septembre 2009.

[11] : BRGM, Plan Séisme-Etude exploratoire en vue d'une base de données relative au bâti. Rapport Final, BRGM/RP-55423-FR, Mai 2007

[12] : Silvia del Carmen MOQUERA MACHADO, Analyse multi-aléas et risque naturels dans le département du Chocó (nord-ouest de la Colombie). Thèse de Doctorat, N° 3351, Genève 2002.

[13] : Khalida TADJER, SCENARIO CATASTROPHE SISMIQUE DU CENTRE VILLE DE BLIDA, Mémoire de Magister, Université Saad Dahlab Blida, Algérie, Juin 2007.

[14] : Mehdi BOUKRI, Détermination de l'Index de Vulnérabilité Pour les Constructions en Maçonnerie de la Ville d'Alger, Mémoire de Magister, Université Saad Dahlab Blida, Algérie, Décembre 2003.

[15] : Mahmoud BENSAIBI, Fouzia DJAALALI, Fatma Imene BELHEOUANE, Omar AMELLAL et Nacim YOUSFI, Seismic Vulnerability Index Method - Algerian case studies, 8 th International Conference on Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japon, 7-8 Mars 2011.

[16] : Mahmoud BENSAIBI, Fouzia DJAALALI, Fatma Imene BELHEOUANE et Nourredine BOURAHLA, Vulnerability Index Method - Algeriers case study Seventh National Conference of Earthquake Engineering, Istambul, Turquie, 30 Mai-3 Juin 2011.

[17] :Fatma Imene BELHEOUANE, DÉTERMINATION DE L'INDICE DE VULNÉRANILITÉ POUR LES BÂTIMENTS EN BÉTON ARMÉ, Mémoire de Magister Université Saad Dahlab Blida, Algérie, Juin 2006.

[18] : Omar AMELLAL, ÉVALUATION DE L'INDICE DE VULNÉRANILITÉ POUR LES STRUCTURES EN CHARPENTE MÉTALLIQUE, Mémoire de Magister Université Saad Dahlab Blida, Algérie, 2008.

[19] : Nacim YOUSFI, ESTIMATION DE L4INDICE DE VULNÉRANILITÉ DES STRUCTURES MIXTES, Mémoire de Magister Université Saad Dahlab Blida, Algérie, 17 Mars 2010.

[20] : Fatma Imene BELHEOUANE et Mahmoud BENSAIBI, Evaluation de l'Indice de Vulnérabilité sismique des structures en béton armé, cas d'étude : Structures en béton armé en Algérie, 8^{em} Colloque National AFPS 2011, Ecole des ponts ParisTech, 6-7-8 Septembre 2011.

[21] : Hocine HAMMOUM et Redha BOUZIDA, Pratique des Systèmes d'Information Géographique (SIG), Algérie 2010.

[22] : Jean-Luc CHATELAIN, Bernard GUILLET, Marc SOURIS, Eric DUPERIER, Hugo YEPES, SIG ET ÉVALUATION DES RISQUES NATURELS : APPLICATION AUX RISQUES SISMIQUES DE QUITO, Quito, Equateur, 1995.

[23] : Centre d'étude et de réalisation eu urbanisme URBA BLIDA, PDEAU du grand Blida analyse et diagnostic phase1, Juin 2004.

[24] : http://www.ands.dz/dsp-blida/sitedsp09/wilayablida.htm

[25] : GASTON RICCI, BLIDA, Février 1930.

[26] : Étude géologique, géophysique et géotechnique des piémonts Est et Ouest de la ville de Blida, CRAAG (Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique), Rapport, Décembre 2005.

[27] : ONS office national des statistiques, Recensement Général de la population et de l'Habitat RGPH, 2008.

[28] : PRESENTATION de la ville de Blida, Compact Disk (CD), La mairie de Blida, 2006.

[29] : Mehdi Amine GUEMACHE, Hamou DJELLIT, Hayet YMMEL, Sofiane GHARBI et Catherine DORBATH, La faille post-astienne de Bouinan – Soumâa (région de Blida, bordure Sud du bassin de la Mitidja, Algérie) : expression néotectonique et implication dans l'évaluation de l'aléa sismique. *Bulletin du Service Géologique National*. Vol. 21, 2010.

[30] : A.Boudiaf, Etude sismotectonique de la région d'Alger et de la Kabylie (Algérie), Thèse de Doctorat, Académie de Montpellier, Université Monpellier II, Science et Technique de Languedoc, 1996.

[31] : D. Ait Benamar N.Guessoum, Etude géologique et géophysique sur le site du projet de l'hôpital militaire de Blida, Rapport, CGS (Centre Génie Parasismique), Alger, 2003.

[32] : C.TRUMELET, BLIDA, Récits selon la Légende, La Tradition & l'histoire, tome 2, Algérie, 1887.

[33] : Lantada N., Pujades L.G, et A.H. Barbat, RISK SCENARIOS FOR BARCELONA, SPAIN, 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, paper N° 423, Canada, 1-6 Août 2004.