

**UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA****Faculté de Technologie**

Département de Génie Civil

**MEMOIRE DE MAGISTER**

En Génie Civil

Spécialité : Construction

VULNERABILITE SISMIQUE

DE LA VILLE DE TIPAZA

Par

**Djilali HADJ IDRIS**

Devant le jury composé de :

GRINE	Khaled	Professeur	U. Blida 1	Président
BOURAHLA	Noureddine	Professeur	U. Blida 1	Examineur
BRAHMA	Abdelmalek	Professeur	U. Blida 1	Examineur
HADID	Mohamed	Professeur	ENSTP	Examineur
BENSAIBI	Mahmoud	Professeur	ENSTP	Rapporteur
HALFAYA	Fatma Zohra	M. A. A.	U. Blida 1	Invitée

Blida, 2014.

## RESUME

La vulnérabilité sismique d'un tissu urbain, constitue de nos jours, une priorité pour les gestionnaires des agglomérations sujettes au tremblement de terre. Dans ce but, nous nous proposons d'évaluer la vulnérabilité sismique à grande échelle de la ville de Tipaza (Algérie). Ce travail se déroule en deux phases bien distinctes : une première phase sur le terrain durant laquelle les informations les plus pertinentes concernant les bâtiments et le réseau d'AEP (Alimentation en Eau Potable) et les routes de la ville de Tipaza sont recueillis, puis une deuxième phase durant laquelle on calcul les indices de vulnérabilité de chaque bâtisse et de chaque pipeline, la méthode reposant sur la recherche de l'indice de vulnérabilité, a été appliquée dans ce travail, en utilisant les programmes nommés VIP (Vulnerability Index Program) ainsi que le programme PIPE.

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 bâti et du réseau d'AEP du centre-ville de Tipaza.

**Mots clés :** Tissu urbain, séismes, Tipaza, Indice de vulnérabilité, SIG, bâtiment, réseau d'AEP.

## ABSTRACT

The seismic vulnerability of urban areas is of a great challenge for managers of cities prone to seismicity. In the present work, the seismic vulnerability of Tipaza city (Algeria) is evaluated. To do this, two steps were conducted, the first one is an in situ investigation about buildings and lifelines and the second is a vulnerability index calculation for each city' component. Using VIP (Vulnerability Index Program) and PIPE programs a classification of buildings and water pipelines is made.

A Geographical Information System (GIS) is used to build a database for the city of Tipaza. Different requests and varied analyses were done highlighting the most vulnerable sector of the city.

**Key words:** Urban area, Earthquake, Tipaza, vulnerability index, GIS, buildings, lifelines, water network.

## ملخص

الهشاشة الزلزالية للنسيج الحضري، في الوقت الحاضر هو الأولوية بالنسبة لمديري المدن المعرضة للزلازل. لهذا الغرض، نقترح تقييم الهشاشة الزلزالية على نطاق واسع لمدينة تيبازة (الجزائر). هذا العمل يجري في مرحلتين متميزتين: المرحلة الأولى أكثرها ذات الصلة مع المباني وشبكة إمدادات المياه (مياه الشرب) وطرق المدينة اين يتم جمع المعلومات. اما المرحلة الثانية تحسب فيها مؤشرات الهشاشة لكل مبنى ولكل خطوط الانابيب، وذلك باستخدام برامج تسمى VIP و PIPE.

أداة نظام المعلومات الجغرافية (SIG) تم استخدامها لإنشاء قاعدة بيانات تستعمل لتحليل موضوعية. هذه التحليل بيّنت الهشاشة الزلزالية للبنيات وشبكة المياه الصالحة للشرب لوسط مدينة تيبازة.

**الكلمات الرئيسية:** النسيج الحضري، الزلازل، مدينة تيبازة، مؤشر سرعة التأثر، ونظم المعلومات الجغرافية، البنيات، شبكة المياه الصالحة للشرب.

## REMERCIEMENTS

Je remercie avant tout « ALLAH » le tout puissant de m'avoir gardé en bonne santé afin de mener à bien ce travail, ainsi que mes chers parents pour les sacrifices consentis tout au long de ma vie.

J'exprime ma profonde reconnaissance envers mon encadreur Pr. M. Bensaïbi de m'avoir fait confiance et accepté de diriger ce mémoire et qui, n'a jamais ménagé aucun effort pour suivre cette étude de près pendant toute la durée du travail.

Je ne saurais oublier de remercier les honorables membres du Jury qui m'ont fait l'immense honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.

Toute ma gratitude envers l'ensemble des enseignants du département du Génie Civil de l'université de Blida 1 qui ont contribué à ma formation en graduation et post-graduation.

Je voudrais exprimer mes sincères remerciements à Mme FZ. Halfaya, Mme N. Guessoum, Mr. N. Yousfi, Mr. AEK. Chaid, Mr. O. Amellal et Mr. A. Merah pour leurs conseils et les informations précieuses qu'ils m'ont procurées.

Je tiens aussi à remercier en particuliers le Pr. N. Bourahla, Mme Bourahla-Berediaf, et Mme Cherfa., qui m'ont toujours poussé à aller de l'avant dans ma carrière.

Je ne manquerai pas de remercier ma famille en particulier Azouzou, Lydia, Sarra et Koceila sans oublier mes amis Walid, Zakaria et S. Bachir, pour leurs encouragements et leurs prières.

Les remerciements seraient incomplets sans ceux, adressée à tous ceux et celles qui de près ou de loin m'ont apporté aide et encouragement. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

## TABLE DES MATIERES

RESUME.....	1
REMERCIEMENTS .....	4
TABLE DES MATIERES.....	5
LISTE DES TABLEAUX.....	12
INTRODUCTION.....	14
CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	16
1.1 Introduction.....	16
1.2. Notions de base.....	16
1.3. Vulnérabilité sismique des ouvrages.....	19
1.4. Vulnérabilité sismique d'un tissu urbain.....	21
1.4.1. Méthode RADIUS.....	22
1.4.2. Méthode de l'ATC.....	23
1.4.3. Méthode HAZUS.....	24
1.4.4. Méthode RISK-UE.....	25
a. Méthode de niveau 1 LM1.....	26
b. Méthode de niveau 2 LM2.....	26
1.4.5. Méthode de l'indice de vulnérabilité.....	27
1.5. Vulnérabilité sismique de différentes villes dans le monde.....	27
1.5.1. Vulnérabilité sismique à grande échelle de la ville de Renens « SUISSE ».....	28
1.5.2. Scénarios Départementaux de Risque Sismique « SDRS » en Guadeloupe.....	29
1.5.3. Scénario sismique de la ville de Barcelone « Espagne ».....	30
1.5.4. Vulnérabilité sismique de la ville Blida « Algérie».....	31
1.5.5. Vulnérabilité sismique du réseau AEP de la ville de Blida « Algérie».....	32
1.5.6. Vulnérabilité sismique du réseau AEP de la ville de Düzce (Turquie).....	34
1.5.7. Autres cas d'études plus anciens.....	34
1.6. Conclusion.....	35
CHAPITRE II : GENERALITES CONCERNANT LA ZONE D'ETUDE.....	36
2.1. Introduction.....	36

2.2. Présentation de la wilaya de Tipaza.....	36
2.2.1. Situation géographique.....	36
2.2.2. Découpage administratif.....	36
2.3. Présentation de la commune de Tipaza.....	37
2.3.1. Aperçu historique sur la formation de la ville de Tipaza.....	37
2.3.2. Situation géographique.....	40
2.3.3. La géomorphologie (Aspect morpho – tectonique) du site de Tipasa.....	41
2.3.3.1. L’ensemble Ouest.....	41
2.3.3.2. L’ensemble Central.....	42
2.3.3.3. L’ensemble Est.....	42
2.3.4. Aspect géologique de la région de Tipaza.....	42
2.3.5. Population de la commune de Tipaza.....	44
2.3.6. Accessibilité et réseau routier de la commune de Tipaza.....	44
2.3.7. Réseau d’alimentation en eau potable « AEP » de Tipaza.....	45
2.3.8. Croissance urbaine de la ville.....	47
2.4. Contexte sismotectonique de la région.....	48
2.4.1 Tectonique et Sismicité de la Mitidja.....	49
2.4.2 Les failles actives.....	49
2.4.3. La faille du Chenoua.....	50
2.4.4. Sismicité historique de Tipasa.....	51
2.5. Conclusion.....	52
<b>CHAPITRE III : METHODE DE L’INDICE DE VULNERABILITE POUR LES BATIMENTS ET LES RESEAUX AEP.....</b>	<b>53</b>
3.1. Introduction.....	53
3.2. Méthode de l’indice de vulnérabilité.....	53
3.2.1. Méthode de l’indice de vulnérabilité pour les bâtiments.....	54
3.2.2. Méthode de l’indice de vulnérabilité pour les réseaux d’alimentation en eau potable « AEP ».....	56

3.3 Classification de l'indice de vulnérabilité.....	58
3.4. Présentation du logiciel V.I.P (Vulnerability Index Program).....	58
3.4.1. Partie visuelle 'Interface utilisateur'.....	59
3.4.2. Partie programme 'code source'.....	61
3.5. Les systèmes d'informations géographiques « SIG ».....	61
3.5.1. Les disponibilités offertes par le SIG.....	61
3.6. Conclusion.....	62
<b>CHAPITRE IV : ANALYSES ET RESULTATS.....</b>	<b>63</b>
4.1. Introduction.....	63
4.2. Délimitation de la zone d'étude.....	63
4.3. Sectorisation de la zone d'étude.....	65
4.4. Indice de vulnérabilité sismique de la ville de Tipaza.....	65
4.4.1. Outils de travail.....	65
4.4.2. Récolte des données.....	67
4.4.3. Classes et indice de vulnérabilité des bâtiments.....	67
4.4.4. Classification des bâtiments selon leurs typologies.....	70
4.4.5. Classification des bâtiments selon leurs hauteurs.....	70
4.4.6. Classification des bâtiments selon la période de construction.....	72
4.4.7. Classification des bâtiments en maçonnerie.....	74
4.4.7.1. Classification selon le nombre d'étages des bâtiments en maçonnerie.....	74
4.4.7.2. Indice de vulnérabilité des bâtiments en maçonnerie.....	75
4.4.7.3. Indice de vulnérabilité des bâtiments en maçonnerie par rapport à leurs hauteurs.....	76
4.4.8. Indice de vulnérabilité des bâtiments en béton armé.....	77
4.4.8.1. Classification selon le nombre d'étages des bâtiments en béton armé.....	77
4.4.8.2. Indice de vulnérabilité des bâtiments en béton armé.....	79
4.4.9. Vulnérabilité du réseau d'alimentation en eau potable « AEP ».....	80

4.4.9.1. Classes et indice de vulnérabilité du réseau AEP.....	81
4.4.9.2. Différents types de conduites du réseau AEP de Tipaza.....	83
4.4.9.3. Indice de vulnérabilité par rapport au diamètre des conduites.....	84
4.4.9.4. Indice de vulnérabilité par rapport au type de matériaux des conduites.....	86
4.4.10. Etude du réseau routier de la ville de Tipaza.....	86
4.4.10.1. Largueur des routes.....	86
4.4.10.2. Etat du réseau routier de Tipaza.....	88
4.4.10.3. Sens de circulation du réseau routier.....	89
4.4.11. Zones les plus vulnérables de la ville de Tipaza.....	90
4.5. Conclusion.....	91
CONCLUSION GENERALE.....	92
REFERENCES.....	94

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Corrélation entre l'Aléa et la vulnérabilité.

Figure 1.2: Indices de vulnérabilité selon les méthodes de Vulneralp et Risk UE

Figure 1.3: Distribution des bâtiments selon la typologie

Figure 1.4: Scénario de dommages par secteurs

Figure 1.5: Vue en plan d'une partie des bâtiments sur SIG

Figure 1.6: Classes de vulnérabilité et nombre de constructions

Figure 1.7: Classes de vulnérabilité du réseau d'AEP de Blida

Figure 1.8: Classes de vulnérabilité du réseau d'AEP de la ville de Düzce (Turquie)

Figure 2.1: Wilaya de Tipaza

Figure 2.2: Tipaza époque romaine

Figure 2.3: Tipaza, époque coloniale

Figure 2.4 : Tipaza aujourd'hui

Figure 2.5: Morphologie du Sahel d'Alger (Vue en 3 D)

Figure 2.6 : Carte géologique de la région de Tipaza

Figure 2.7 : Accessibilité vers le chef-lieu de Tipaza

Figure 2.8: Différentes altitudes des réservoirs de Tipaza

Figure 2.9: Différents réservoirs de la commune de Tipaza

Figure 2.10: Axes d'extension de la ville

Figure 2.11: Carte néotectonique «Carte des failles » qui montre le niveau élevé de la sismicité de l'Algérie du Nord

Figure 2.12: Schéma structural à partir de l'image Landsat

Figure 2.13: Ruptures de surface à la suite du séisme du Chenoua de 1989

Figure 2.14: Distribution spatiale des répliques des séismes du Chenoua (1989) et de Tipasa (1990) sur une carte (à gauche) et en profondeur (à droite)

Figure 2.15: Quelques photos des dégâts causés après le séisme de 1989.

Figure 3.1: Page d'accueil du programme VIP

Figure 3.2: Page d'accueil utilisateurs

Figure 3.3: Menu étude

Figure 3.4: Détermination de l'indice de vulnérabilité

Figure 3.5: La digitalisation et base de données de chaque élément.

Figure 4.1: Délimitation de la zone d'étude

Figure 4.2: Habitat de l'époque coloniale.

Figure 4.3: Habitat collectif récent.

Figure 4.4: Sectorisation de la zone d'étude en districts avec leurs numéros sur SIG

Figure 4.5 : Plan de restitution

Figure 4.6: Image satellite

Figure 4.7: Résultats de l'analyse des bâtisses sur SIG

Figure 4.8 : Classes de vulnérabilité et nombre de constructions

Figure 4.9: Proportion des bâtiments pour chaque classe.

Figure 4.10: Nombre de bâtiments en maçonnerie et en béton armé et charpente métallique.

Figure 4.11: Pourcentages suivant la typologie.

Figure 4.12: Vue en 3D des constructions en maçonnerie (rouge) et béton armé (vert).

Figure 4.13: Aperçu de la zone d'étude suivant le nombre de niveau des bâtisses.

Figure 4.14: Proportion du nombre de niveau selon le nombre de bâtiments.

Figure 4.15: Proportion de bâtiments suivant l'époque de construction.

Figure 4.16 : Nombres de bâtiments en maçonnerie en fonction du nombre d'étages.

Figure 4.17: Pourcentage des bâtiments en maçonnerie pour chaque nombre d'étages.

Figure 4.18: Classes de vulnérabilité et nombre de bâtiments en maçonnerie.

Figure 4.19: Classe de vulnérabilité et pourcentages des bâtisses en maçonnerie.

Figure 4.20: Proportion des bâtiments en maçonnerie selon leurs classes de vulnérabilité.

Figure 4.21: Indice de vulnérabilité des bâtiments en béton armé.

Figure 4.22: Passage de la faille sismique de Chenoua par rapport au réseau AEP de Tipaza.

Figure 4.23: Résultats de l'analyse du réseau AEP sur SIG.

Figure 4.24: Résultats de l'analyse du réseau AEP selon le nombre de conduite.

Figure 4.25: Résultats de l'analyse du réseau selon les longueurs des conduites.

Figure 4.26 : Longueur des conduites selon leurs types.

Figure 4.27 : Proportion du type de conduite du réseau AEP.

Figure 4.28: Indice de vulnérabilité par rapport au diamètre des conduites.

Figure 4.29 : Indice de vulnérabilité par rapport au type de matériaux des conduites.

Figure 4.30 : Différentes largeurs des routes du réseau de Tipaza.

Figure 4.31: Etat du réseau routier de Tipaza.

Figure 4.32 : Sens de circulation du réseau routier.

Figure 4.33 : Zones les plus vulnérables de la ville de Tipaza.

Figure 4.34 : Comparaison de l'indice de vulnérabilité de Tipaza et Blida

Figure 4.35 : Indice de vulnérabilité des villes de Tipaza et de Blida.

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1.1: Classification des méthodes et positionnement des références.

Tableau 1.2 : Différentes échelles d'analyse et leur applicabilité.

Tableau 1.3 : Comparaison des valeurs d'intensité entre les différentes échelles d'intensité (MMI, JMA, MSK et EMS98).

Tableau 1.4: Taux de réparation en fonction des dommages.

Tableau 2.1: Evolution de la population de 1998 à 2026.

Tableau 2.2: Répartition de la population et de l'habitat du chef-lieu de Tipaza

Tableau 3.1: Paramètres et facteurs de pondération  $K_i$  des bâtiments en maçonnerie en Algérie

Tableau 3.2: Paramètres et facteurs  $K_i$  pour les bâtiments en béton armé

Tableau 3.3: Paramètres et facteurs  $K_i$  pour les bâtiments en charpente métallique

Tableau 3.4: Paramètres et facteurs  $K_i$  pour les bâtiments Mixtes (Acier-Maçonnerie)

Tableau 3.5: Exemple de calcul du IV d'une conduite

Tableau 3.6: Classification selon l'indice de vulnérabilité

Tableau 4.1: Les résultats de l'analyse regroupés (MAÇ : maçonnerie, B.A : béton armé, CM : charpente métallique)

Tableau 4.2 : Proportion des différents types de bâtiments selon le nombre de niveau.

Tableau 4.3 : Proportion de bâtiments suivant époque de construction.

Tableau 4.4 : Proportion de bâtiments et leur pourcentage en fonction du nombre d'étage.

Tableau 4.5: Classification des bâtiments en maçonnerie selon leurs indices de vulnérabilité et leurs nombre d'étages.

Tableau 4.6 : Proportion de bâtiments et leur pourcentage en fonction du nombre d'étage.

Tableau 4.7 : Indice de vulnérabilité des bâtiments en béton armé.

Tableau 4.8 : Indice de vulnérabilité du réseau AEP.

Tableau 4.9 : Proportion du type de conduite du réseau AEP.

Tableau 4.10: Proportion de l'indice de vulnérabilité pour chaque type conduite.

Tableau 4.11: Proportions des largeurs des routes du réseau de Tipaza.

Tableau 4.12: Proportions des longueurs des routes par rapport à leurs états.

Tableau 4.13: Pourcentages des routes selon leurs sens de circulation.

Tableau 4.14: Zones les plus vulnérables du centre-ville de Tipaza par ilots.

## INTRODUCTION

Dans la famille des risques naturels, les séismes occupent une place importante car provoquant assez systématiquement des dégâts dans les ouvrages de génie civil (bâtiments, ponts, réseaux vitaux, barrages...) ainsi que des victimes. C'est la raison pour laquelle la prévention et la connaissance du comportement structures et infrastructures sont indispensables.

Il se trouve que les villes existantes ont été majoritairement construites avant la mise en place de la réglementation parasismique. L'évaluation de la vulnérabilité sismique du bâti et des réseaux vitaux constitue donc un enjeu considérable.

La difficulté dans l'évaluation sismique des ouvrages, est liée à la difficulté de reconstituer de façon exhaustive le dossier technique relatif au projet de l'ouvrage. Les éléments dont dispose l'évaluateur sont souvent très partiels et il est nécessaire alors de faire des hypothèses sur les paramètres à prendre en compte concernant l'infrastructure, les propriétés des matériaux,... L'absence de données précises conduit alors naturellement à traiter ces données de manière approximative. Au final, le problème de l'évaluation de la vulnérabilité sismique des ouvrages et des réseaux vitaux existants est alors lié à une estimation de la vulnérabilité des composantes de l'élément à risque.

Pour effectuer cette estimation, 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 comme 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 de construction, ainsi que pour quelques réseaux vitaux. Elle est utilisée dans ce travail pour évaluer la vulnérabilité sismique du tissu urbain de la ville de Tipaza.

Notre étude porte sur l'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments du réseau d'alimentation en eau potable (AEP), et à un degré moindre du réseau routier existant.

Cette étude a été élaborée et nous la présentons dans le cadre de ce manuscrit sous la forme de quatre chapitres plus une introduction générale et une conclusion générale.

Après une introduction général sur le contexte et les objectifs de l'étude le premier chapitre porte sur l'étude bibliographique des méthodes d'estimation de la vulnérabilité sismique des constructions et des réseaux vitaux, les plus répandues à travers le monde, ainsi que des exemples sur des études de vulnérabilité des villes effectuées dans d'autres pays.

Le deuxième chapitre est une présentation de la ville de Tipaza, en donnant 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 l'expertise in situ.

Dans le troisième chapitre, nous avons commencé par une présentation de la méthode de l'indice de vulnérabilité adaptée au contexte algérien pour différentes typologies constructions (maçonnerie, béton armé, charpente métallique, mixte) et pour le réseau d'AEP et le réseau routier. Nous avons ensuite présenté le VIP (vulnerability index program). Quelques notions sur les systèmes d'information géographique sont données à la fin du chapitre.

Le quatrième 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 (SIG). 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 ou d'un îlot en hiérarchisant ainsi les secteurs exposés.

Le présent document termine avec les conclusions générales et les différentes perspectives possibles.

## CHAPITRE 1

### ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

#### 1.1. Introduction

Les villes peuvent être exposées aux catastrophes naturelles telles que les volcans, les inondations, les séismes... etc [1]. Ces catastrophes naturelles provoquent des pertes en vies humaines et en actifs économiques [2,3]. La réduction du risque sismique devient, alors, une priorité dans les politiques de gestion des pays afin de protéger les citoyens, les propriétés et les infrastructures économiques et industrielles.

L'Algérie comme d'autres pays au monde est exposée à ces catastrophes. La majeure partie de la population est concentrée dans les villes du nord du pays, et la plupart de ces villes sont implantées dans des zones à forte intensité sismique d'où le risque grandissant de pertes importantes. Cette dernière décennie, plusieurs séismes importants ont causé des pertes conséquentes à certaines de ces agglomérations (Ain Timouchent 1999, Zemouri 2003). La réduction des pertes sismiques devient alors une nécessité et un enjeu politique. Cette réduction passe obligatoirement par l'étude de la vulnérabilité sismique des sites urbains.

#### 1.2. Notions de base

Les catastrophes naturelles ont des effets à court et à long termes sur la population, sur les constructions et les infrastructures, et sur les activités économiques [2,3]. Les catastrophes les plus dévastatrices sont les cyclones, les inondations, les tsunamis, les séismes, les glissements de terrain et les volcans [1], nous allons nous intéresser aux effets du séisme dans notre travail.

En général, le risque sismique se caractérise par sa variation dans le temps et dans l'espace, il est fonction non seulement de la sismicité mais aussi de la densité de la population, du niveau du développement économique et des moyens mis en œuvre pour résister à une crise post-sismique. Naturellement, la catastrophe sera d'autant plus grande que le séisme soit plus ou moins proche d'un centre urbain, ou bien que son intensité soit plus ou moins

importante, tout comme la densité de la population et le niveau social de la ville ou de la nature du sol sur lequel elle est bâti [4].

On définit, généralement, un risque comme étant une corrélation entre l'aléa (le phénomène) et la vulnérabilité.

Les définitions données lors de la décennie Internationale pour la prévention des catastrophes naturelles [5,2] sont :

**Risque** : C'est l'expression mathématique de perte en vies humaines, blessés, dommage aux biens et atteinte à l'activité économique au cours d'une période de référence et dans une région donnée pour un aléa particulier (Fig. 1.1).

**Aléa** : il est défini comme étant l'événement menaçant ou probabilité d'occurrence dans une région (un site) et au cours d'une période donnée, d'un phénomène pouvant engendrer des dommages.

**Vulnérabilité** d'un élément est définie comme étant le degré de perte qu'il subit lors d'une catastrophe naturelle. Sa nature et son estimation varient selon que l'élément représente une population, des structures sociales, des structures physiques, ou des actifs économiques.

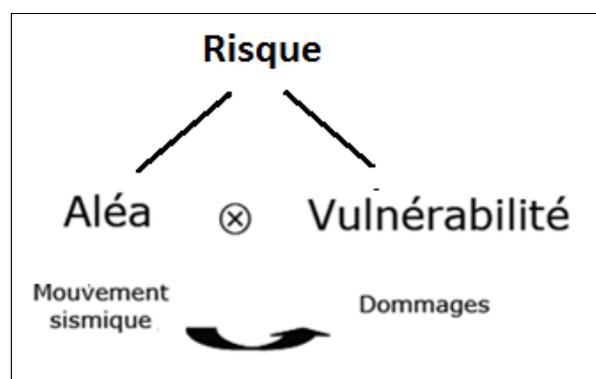


Figure 1.1: Corrélation entre l'Aléa et la vulnérabilité.

Dans ce qui suit, nous considérons l'aléa sismique uniquement. Il existe quatre (04) moyens classiques de représenter l'aléa sismique [1,5] :

1) La Magnitude sismique qui est une mesure objective et quantitative de la taille du tremblement de terre. L'échelle la plus connue est celle de Richter [9,6]. Elle est définie comme le logarithme (base 10) de l'amplitude maximal (en micron) enregistrée sur un sismographe de Wood-Anderson localisé à 100Km de l'épicentre du tremblement de terre. La magnitude locale ML est définie pour (une distance d'épicentre de moins de 600 kilomètres, et une période de la secousse de 1 à 2 sec). Pour des sismographes différents et des distances appropriées des calibrages sont employés. La formule (1.1) donne le calcul de la magnitude.

$$M = \text{Log } A - \text{Log } A_0 \quad 1.1$$

Où A est l'amplitude maximale enregistrée,  $\text{Log}A_0$  est le facteur de calibrage. D'autres échelles de Magnitude existent aussi.

2) L'intensité qui est la mesure des effets du séisme sur les bâtiments. Purement qualitative, elle reste très utilisée car c'est la seule donnée accessible pour les séismes historiques et de nombreuses méthodes d'évaluation de la vulnérabilité du bâti sont basées sur ce paramètre dans des pays très sismiques comme l'Italie la Grèce ou l'Algérie. Ce paramètre présente l'avantage d'être parfaitement défini en Europe grâce à l'échelle d'intensité européenne EMS98. Les échelles d'intensité comportent des degrés notés en nombres romains, de I à XII. Cependant, le niveau de l'intensité n'est pas totalement indépendant de la vulnérabilité bien qu'il soit évalué à partir des dommages observés sur les constructions réparties suivant leurs typologies en sept classes de vulnérabilité [7].

3) L'accélération maximale du sol (ou PGA, Peak Ground Acceleration) qui représente les accélérations maximales observées lors des séismes, ce paramètre est de moins en moins utilisé car il est restrictif dans sa représentation de l'aléa. Cependant, quelques courbes d'endommagement sont encore exprimées en fonction du PGA. Il est progressivement abandonné au profit du spectre de réponse qui intègre d'autres paramètres importants tels que le contenu fréquentiel, la vitesse maximale, le déplacement maximal.

4) Le spectre de réponse qui est la représentation de l'accélération subie par une série d'oscillateurs à un degré de liberté soumis à un accélérogramme donné. Ce paramètre est de plus en plus utilisé grâce à l'utilisation de plus en plus importante des méthodes en déplacement.

Lors de cette étude, nous nous intéresserons à l'étude de la vulnérabilité sismique des villes en considérant l'intensité sismique comme moyen de mesure de l'aléa sismique.

### 1.3. Vulnérabilité sismique des ouvrages

L'expérience des séismes récents a fourni beaucoup de données qui ont été utilisées dans le développement des modèles pour mieux estimer les pertes économiques dans les bâtiments et les infrastructures [18].

Le tableau (1.1) ci-dessous fait la synthèse du positionnement des différentes méthodes et reflète la plupart des approches qui concernent la vulnérabilité sismique. Ces méthodes peuvent être classées suivant leur échelle d'analyse ou suivant l'approche d'analyse.

Tableau 1.1: Classification des méthodes et positionnement des références [8].

Dépenses	Augmentation des frais et des assignments 				
Application	Agglomération		Constructions individuelles		
Méthodes	Vulnérabilité Observée	Opinions d'expert	Les méthodes analytiques simples	score assignment	Procédures d'analyses détaillées

Ces méthodes peuvent être classées suivant leur échelle d'analyse. Elles dépendent de l'échelle : pays, région, commune, du nombre de bâtiments à analyser ainsi que du budget et du temps disponibles. On distingue plusieurs échelles d'investigation [1] données dans le tableau (1.2).

Tableau 1.2 : Différentes échelles d'analyse et leur applicabilité [1].

Augmentation des moyens mis en œuvre Temps et difficulté de calcul 					
Echelle d'analyse	Plusieurs centaines de bâtiments		Quelques bâtiments		Bâtiment individuel
Méthodes	Vulnérabilité Hazus Radius EMS98 RISK-UE	Indice de vulnérabilité	Avis d'expert Calculs	analytiques simples	Analyse numérique modélisation
Applicabilité	Ville – Commune – quartier – parcs immobiliers – bâtiments stratégiques				
Moyen humain	Sans formation - Etudiant- technicien – Ingénieur - ingénieur confirmé				

D'après le tableau (1.2), la représentation de la vulnérabilité de la zone d'étude sera d'autant plus fine que la méthode sera précise et donc le coût important. Il faut donc trouver un compromis entre le coût de l'analyse, l'échelle de précision et la qualité de l'évaluation. Selon le besoin, le budget et le temps disponibles, il faut premièrement déterminer l'échelle d'analyse pour estimer de façon approchée les dommages engendrés par un séisme. Il existe trois échelles d'analyses qui sont :

a- Les analyses très globales

Les analyses des pertes très globales, utilisent directement les répartitions statiques des dommages des échelles d'intensité. Différentes échelles d'intensité Macroséismique sont utilisées partout dans le monde. Les pays anglo-saxon font référence à l'échelle de Mercalli modifiée (MMI) à l'origine développée par le sismologue italien Mercalli et modifiée en 1931 pour représenter mieux des conditions en Californie [9]. L'agence météorologique du Japon (JMA) a sa propre échelle d'intensité. Il y a aussi l'échelle EMS 98 développée comme clé de référence pour les pays européens, remplaçant l'échelle de Medvedev-Spoonheuer-Karnit (MSK). Le tableau (1.3) représente une comparaison des valeurs d'intensité entre les différentes échelles d'intensités citées.

Tableau 1.3 : Comparaison des valeurs d'intensité entre les différentes échelles d'intensité (MMI, JMA, MSK et EMS98) [5, 6].

MMI	JMA	MSK	EMS 98
I	0	I	I
II	I	II	II
III		III	III
IV	II	IV	IV
V	III	V	V
VI	IV	VI	VI
VII	V	VII	VII
VIII		VIII	VIII
IX	VI	IX	IX
X		X	X
XI	VII	XI	XI
XII		XII	XII

#### b- Les analyses globales

Les bâtiments ne sont pas analysés individuellement, mais de façon statique. Le traitement des données recueillies sur le parc immobilier, vise généralement à classer les bâtiments dans les typologies prédéfinies. Ces analyses sont désignées généralement par méthodes de niveau 1 [1].

#### c- Les analyses précises

Les bâtiments sont analysés individuellement avec des méthodes simplifiées. Ces analyses sont désignées généralement par méthodes de niveau 2 [1].

Une fois l'échelle de l'analyse définie. Nous pouvons passer à l'estimation des pertes et des dommages dans les constructions.

### 1.4. Vulnérabilité sismique d'un tissu urbain

Depuis plusieurs années, les régions du monde qui ont subi de forts séismes ayant provoqué d'importantes destructions ont initié des méthodes d'analyse de la vulnérabilité à

grande échelle. Issues des retours d'expérience, elles dépendent donc de l'échelle : pays, région, communes, nombre de bâtiments à analyser ainsi que du budget et du temps disponibles. Elles peuvent être utilisées pour estimer de façon approchée les pertes engendrées par le séisme [1].

Par ailleurs, une multitude de programmes et d'approches ont vu le jour depuis, en vue d'une mitigation du risque sismique, en l'occurrence les programmes : ATC (1985), RADIUS (1990), GNDT I, II (1984, 1994), HAZUS (1997 et 1999), et RISK-UE (2003).

#### 1.4.1. Méthode RADIUS [10].

Le secrétariat de la DIPCN (Décennie Internationale pour la Prévention des Catastrophes Naturelles) des Nations Unies, a lancé le projet RADIUS (Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas against Seismic Disaster) [10]. L'objectif direct du projet est de produire des outils pour évaluer les risques de séismes dans les zones urbaines.

L'outil RADIUS permet d'établir des scénarios des dommages qui peuvent être engendré par les séismes en zones urbaines. Le processus général d'étude de la vulnérabilité sismique d'une région urbaine utilisé dans la méthode RADIUS, considère quatre points importants, à savoir, les caractéristiques des séismes, les conditions du sol, les données démographiques et les fonctions de vulnérabilité.

Concernant les réseaux vitaux, et selon RADIUS l'estimation des dégâts dans les réseaux vitaux tels que l'eau potable, l'assainissement, l'électricité, le gaz et les réseaux de transport, à savoir routes et ponts, etc. ne considère pas seulement les pertes directes et les efforts de la reconstruction, mais aussi l'interruption des activités de la vie journalière [10].

La méthode RADIUS adopte une méthode simple qui estime les dégâts totaux à partir du nombre total de réseaux vitaux dans la région étudiée. Une base de données qui inclut des renseignements sur l'emplacement, le type de structure et les attributs de ces installations est nécessaire afin d'estimer précisément les dommages dans les réseaux vitaux.

Le projet RADIUS a déterminé des classes de taux de réparation associées à un état d'endommagement pour les conduites d'eau (Tableau 1.4).

Tableau 1.4: Taux de réparation en fonction des dommages [10].

<b>Taux de réparation (réparation/km)</b>	<b>Utilisation</b>	<b>Etat de dommage</b>
$\geq 0.60$	$\leq 10\%$	Complet
0.15 à 0.60	10 à 50%	Important
0.05 à 0.15	50 à 85%	Modéré
$\leq 0.05$	$\geq 85\%$	Mineur

Les premiers travaux quant à l'évolution des réseaux d'alimentation en eau potable AEP, réalisé par Eiding et Young [11] ont discuté l'état de performance et la réduction de la distribution lors d'un séisme, en prévoyant des niveaux de secousses, et leurs impacts sur le sol tels que la liquéfaction, l'éboulement, et la dislocation du sol en surface. D'autres études réalisées par Shinozuka M. [12, 13], sur les réseaux vitaux de la ville de Memphis ont touché les réseaux d'eau, de gaz et d'électricité, il a étudié la fragilité des équipements de traitement, de pompage et des réservoirs de stockage.

#### 1.4.2. Méthode de l'ATC (ATC13 pour les bâtiments et ATC25, ATC25-1 pour les réseaux d'AEP)

Un des premiers rapports traitant le calcul de la vulnérabilité sismique des constructions est celui du Conseil de la Technologie Appliquée (Applied Technology Council, « ATC »), Ce rapport a été établi en 1971 et récapitulé dans le rapport ATC13 [1, 8].

Les matrices de probabilité des dommages (DPM), dus aux tremblements de terre, de l'ATC13, sont développées pour 78 classes différentes, dont 40 se rapportent aux bâtiments, par 58 experts (ingénieurs, constructeurs,...) se basant sur leurs connaissances et leurs expériences personnelles, les experts ont complété un questionnaire formel, pour estimer le pourcentage prévu des dommages qui résulterait à un type structural spécifique soumis à une intensité sismique donnée [14].

L'inconvénient de l'approche ATC13, est que les matrices de probabilité des dommages sont exclusivement basées sur l'opinion des experts : par conséquent, en plus des

incertitudes de l'évaluation des dommages dues à la variabilité dans l'exécution réelle des constructions, on a les incertitudes liées à l'opinion des experts, sans oublier que les matrices DPM, basées sur les avis des experts, sont également difficiles à modifier afin d'incorporer de nouvelles données ou technologies [1, 8, 14].

En outre, il est difficile d'appliquer l'ATC13 à d'autres types de constructions et à d'autres régions. Néanmoins, c'était la première étude relativement complète sur l'évaluation des pertes et des dommages sismiques qui est devenue la référence standard pour d'autres méthodes jusqu'au milieu des années 90 [14].

Concernant les réseaux vitaux, l'état de dommage des canalisations a été défini comme le nombre de cassure par kilomètre. L'addenda à l'ATC-25, l'ATC 25-1 est dédié aux systèmes d'alimentation en eau potable et présente une méthodologie pour l'estimation des dommages sismiques pour ce type de réseau ainsi que les impacts de la fissuration des canalisations et de la rupture d'alimentation en eau [15].

Dans l'ATC 25-1 les canalisations ont été subdivisées en deux groupes : canalisations de refoulement (diamètre > 508 mm) et canalisations de distribution (diamètre < 508 mm). Il y est fait l'hypothèse que les canalisations de distribution sont plus susceptibles de subir des dommages que les canalisations de refoulement. Cette hypothèse est faite sur la base des constatations du retour d'expérience sismique [15].

#### 1.4.3. Méthode HAZUS

HAZUS est un logiciel interactif élaboré en 1997 par le NIBS (National Institute of Building Science) [16] 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 [17].

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 supplied 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.

Concernant les réseaux vitaux, HAZUS considère deux types de dommages pour les canalisations : les fuites et les cassures. Par ailleurs, il ne considère pas que le diamètre des canalisations soit un facteur dominant pour l'estimation des dommages dans les tuyauteries, on a d'une part, des conduites fragiles (amiante, ciment, béton, fonte et acier soudés avec le chalumeau) et les conduites malléables (PVC, acier a soudé l'arc électrique) sont différenciées. Il est fait l'hypothèse que le mouvement du sol PGD (Peack Ground Displacement) et la propagation des ondes PGV (Peack Ground Velocity) provoquent des cassures et des fuites respectivement. Dans l'estimation des pertes, le dommage par défaut dû aux PGV est estimé à 80% de fuites et 20% de cassures [17].

#### 1.4.4. Méthode RISK-UE

Le programme RISK-UE [18], est un programme d'évaluation du risque sismique à l'échelle européenne. L'étude a abouti à une méthodologie d'analyse du risque sismique du bâti existant et historique en Europe.

Sept villes ont fait l'objet de l'étude: Nice (France), Barcelone (Espagne), Catagne (Italie), Sofia (Bulgarie), Bucarest (Roumanie), Thessalonique (Grèce) et Bitola (Macédoine). La méthodologie s'est basée sur l'établissement d'un inventaire complet de tous les éléments à risque. Le modèle inclue une nouveauté par la prise en compte des anciens centres urbains, les monuments et les bâtiments historiques.

Le programme RISK-UE est modulaire. Il comporte deux niveaux d'évaluation: Niveau 1 (level1) dite LM1 méthode, et Niveau 2 (level2) dite LM2 méthode.

### a. Méthode de niveau 1 LM1

C'est une méthode utilisée pour l'analyse de la vulnérabilité du tissu urbain des villes ne disposant pas suffisamment de données relatives à la sismicité historique. La méthode est basée sur la corrélation entre l'intensité macrosismique et les dommages apparents des séismes passés. Elle est basée sur un modèle implicite de vulnérabilité incluant l'échelle Européenne macrosismique (EMS-98).

En termes de dommage apparent, le comportement sismique des bâtiments est subdivisé en classes de vulnérabilité. L'indice de vulnérabilité (IV) est introduit pour représenter et quantifier l'appartenance de la construction à une certaine classe de vulnérabilité.

### b. Méthode de niveau 2 LM2

C'est une méthode basée sur l'analyse de la capacité d'une structure à dissiper de l'énergie. Elle nécessite la détermination du modèle capacité et du modèle fragilité ainsi que le choix adéquat de l'input sismique (la demande) permettant de quantifier au mieux le potentiel de dommage de la structure résultant de l'occurrence de l'événement sismique [18].

Le modèle capacité est définie comme étant la courbe de capacité reliant la capacité de résistance à la capacité de déplacement de la structure. Ce modèle permet la détermination de la réponse de la structure pour une demande donnée en considérant une analyse par push over.

La méthode LM2, définit le spectre de capacité. Ainsi l'effort tranchant  $V$  à la base est considéré en termes d'accélération spectrale et le déplacement au sommet du bâtiment est considéré en termes de déplacement spectral. Le modèle capacité (force-déplacement) est alors remplacé par le modèle capacité spectrale. Ce dernier permet une comparaison directe entre le spectre de la demande et de la capacité [18].

Par ailleurs, le modèle de fragilité définit la probabilité conditionnelle que le bâtiment accuse un état de dommage pour un niveau de séisme donné. L'amplitude ainsi que le contenu fréquentiel de l'excitation sismique contrôle le niveau de la réponse maximale de la structure définissant ainsi la performance de la structure.

Concernant les réseaux vitaux, la typologie des conduites dépend des paramètres suivants:

- Localisation (conduits enterrées ou aérienne)

- Matériau de la conduite
- Géométrie de la conduite (diamètre, épaisseur)
- Types de joints (rigide ou fragile)
- Appartenance ou non à une ramification
- Corrosion (âge et conditions du sol)

Un modèle pour la vulnérabilité des conduites a été donné, selon que les conduites soient soumises aux propagations des ondes sismiques, aux glissements de terrains et/ou à la présence de faille ainsi qu'aux types de joints : rigide ou fragile.

Les conséquences possibles de dommage pour les conduites sont décrites par un taux de réparation qui combine les cassures et les fuites comme suit 80% des dégâts sont dus aux fuites et 20% sont dus aux cassures dans le cas d'onde sismique. Dans le cas de mouvement du sol (glissements de terrains ou liquéfaction) les dégâts sont de 20% pour les fuites et 80% pour les cassures [18].

#### 1.4.5. Méthode de l'indice de vulnérabilité

En Algérie, plusieurs travaux sur l'étude de vulnérabilité des bâtiments ont été effectués. Cette méthode permet d'évaluer la vulnérabilité sismique des constructions en maçonnerie, en tenant compte de l'influence des éléments structuraux et non structuraux sur la réponse sismique de la construction [19, 20, 21, 22, 23, 24, 25].

Concernant les réseaux d'alimentations en eau potable AEP, la méthode proposée est basée sur des statistiques modèles d'estimation de la vulnérabilité des conduites à l'égard de caractéristiques suivantes: le diamètre, le type de matériaux, l'intensité sismique et les conditions du sol (Glissements de terrain, Liquéfaction, Tassement) ainsi que d'autres données (continuité des conduites, l'âge et la corrosion des conduites) [26, 27, 28].

#### 1.5. Vulnérabilité sismique de différentes villes dans le monde

Quelques travaux déjà réalisés dans différentes villes et avec différentes méthodes.

##### 1.5.1. Vulnérabilité sismique à grande échelle de la ville de Renens « Suisse » 2009 [29].

Dans le cadre de ce projet, l'indice de vulnérabilité des bâtiments étudiés c'est été déterminé selon deux méthodes : Vulneralp et RiskUE.

Les cartes (Fig. 1.2) représentant les indices de vulnérabilité calculés selon les deux méthodes utilisées.

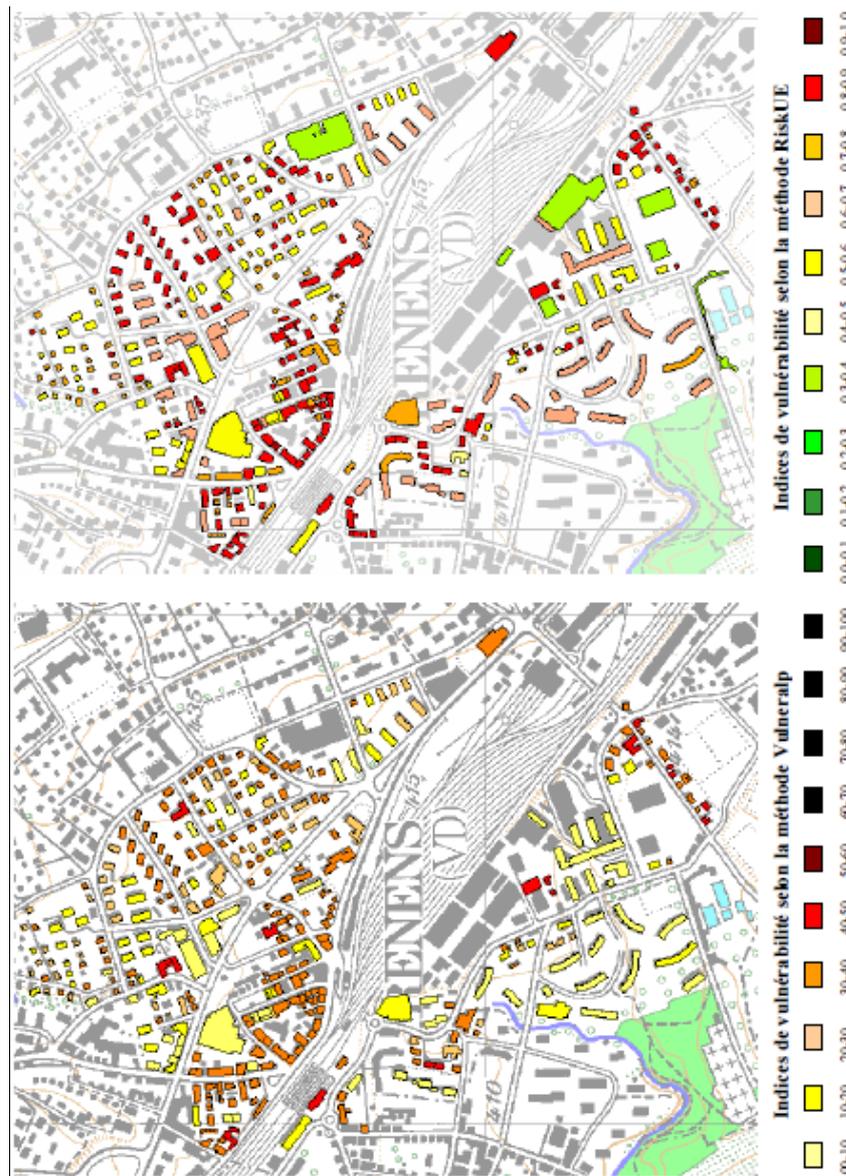


Figure 1.2: Indices de vulnérabilité selon les méthodes de Vulneralp et Risk UE [29].

### Commentaire

La carte représentant la vulnérabilité calculée selon la méthode RiskUE montre que les bâtiments anciens en maçonnerie de pierre ou de brique avec planchers en bois, tels qu'on peut en trouver notamment au Nord de la gare, ont un indice relativement élevé. De même, les bâtiments locatifs de taille moyenne en maçonnerie de brique construits en grand nombre représentent un groupe à risque. Les bâtiments en béton possèdent un indice de vulnérabilité un peu plus faible, mais l'effet négatif des irrégularités en plan ou en élévation de certains d'entre eux qui présentent souvent une architecture un peu moins

conventionnelle est mis en évidence. Les constructions en acier sont, quant à elles, les moins vulnérables, ce qui peut s'expliquer partiellement par la ductilité de l'acier, et donc son comportement favorable face aux actions sismiques [29].

La méthode Vulneralp donne des résultats quelque peu différents. En effet, un même type de matériau donne des valeurs d'indices différents. Ces différences sont dues aux effets négatifs pris en compte selon des caractéristiques telles que l'année de construction, la forme du toit, ou encore les irrégularités. Il est à noter que cette méthode ne tient pas compte des constructions métalliques, d'où l'absence de certains bâtiments.

Pour comparer les deux méthodes, il faut se rendre compte que les résultats ne sont pas donnés sur la même échelle. RiskUE produit des indices allant de 0 à 1, alors que ceux donnés par Vulneralp sont sur une échelle de 0 à 100. Pour permettre de comparer visuellement, on distribue les bâtiments dans dix classes. On se rend compte en regardant les deux cartes que les indices de vulnérabilité sont pour la première (RiskUE) importants alors que la seconde méthode (Vulneralp) donne des indices nettement moins élevés. Les bâtiments apparaissent donc plus vulnérables avec la méthode RiskUE [29].

#### 1.5.2. Scénarios Départementaux de Risque Sismique « SDRS » en Guadeloupe 2009 [30].

Dans le cadre de ce projet, l'indice de vulnérabilité des bâtiments étudiés a été calculé selon la méthode RiskUE, en utilisant un outil de simulation des conséquences des phénomènes naturels dangereux qui a pour objectif l'évaluation des dommages provoqués par ces phénomènes sur les éléments exposés.

Neuf séismes de scénarios ont été choisis par le Comité de Pilotage, sept correspondant à des séismes superficiels intra-plaques (profondeur ~ 10 km) au niveau de l'Archipel de Guadeloupe et de magnitude 6.2 à 6.5, 2 correspondant à des séismes de subduction (magnitude 7.0 et 8.2) [30].

#### **Commentaire**

Tous les scénarios choisis donnent au moins 3000 logements en dommage D4 ou D5 (Effondrement partiel ou total).

Le scénario de loin le plus destructeur correspond au séisme de «subduction interface 8.2». Les dégâts envisagés sont considérables (plus de 23 000 logements D4/D5). Le scénario sur la faille de Gosier a des effets très destructeurs sur l'agglomération de Pointe-à-Pitre.

Les autres scénarios sont moins destructeurs car ils affectent cette agglomération de façon moins forte [30].

### 1.5.3. Scénario sismique de la ville de Barcelone « Espagne » 2004 [31].

La composition du tissu urbain de la ville de Barcelone est représenté sur la figure 1.3. La méthode RISK UE a été utilisée pour étudier ce tissu urbain.

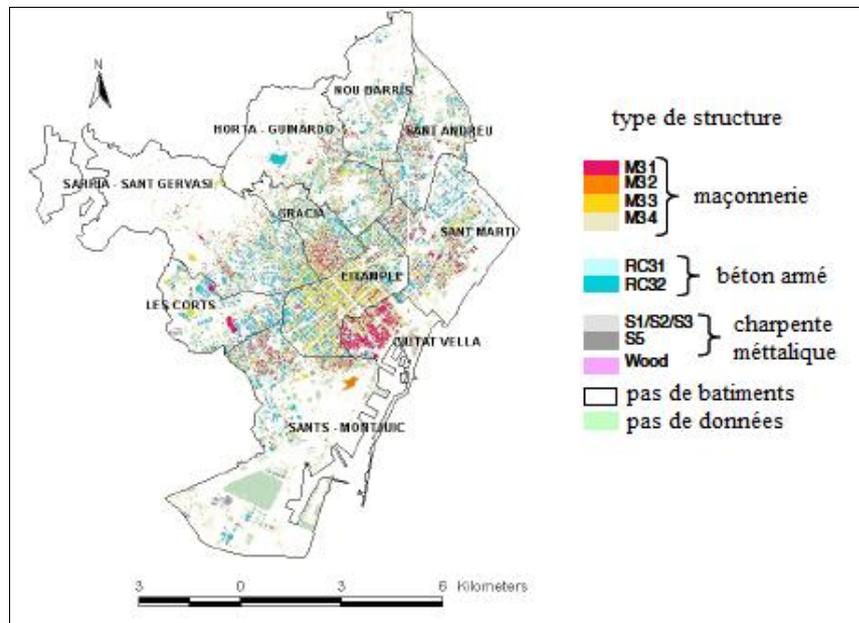


Figure 1.3: Distribution des bâtiments selon la typologie [31].

Ci-dessous, une représentation sur SIG des différents résultats trouvés.

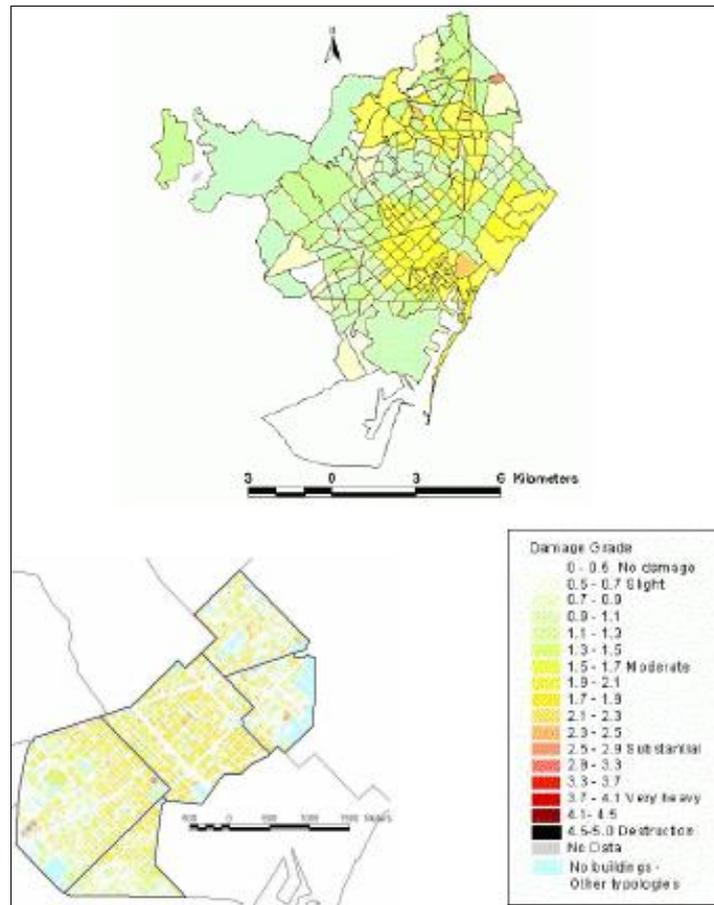


Figure 1.4: Scenario de dommages par secteurs [31].

### Commentaire

Le constat est que là où la densité de population est plus élevée et l'activité économique est plus importante, la vulnérabilité et les dommages sont les plus élevés [31].

#### 1.5.4. Vulnérabilité sismique de la ville de Blida « Algérie » 2012 [32].

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.

Ci-dessous, une représentation sur SIG donnant les différents résultats trouvés.



Figure 1.5: Vue en plan d'une partie des bâtiments sur SIG [32].

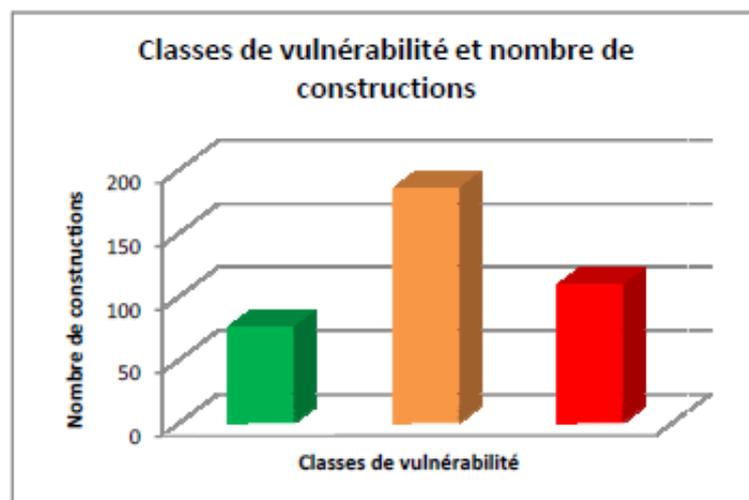


Figure 1.6: Classes de vulnérabilité et nombre de constructions [32].

### Commentaire

La proportion des bâtiments classés 'orange' et 'rouge' représente 79 % du nombre total des constructions, une proportion extrêmement importante. En plus, près de 30 % des constructions sont classés 'rouge' ce qui conduit à affirmer que le parc immobilier présente une très grande vulnérabilité [32].

#### 1.5.5. Vulnérabilité sismique du réseau AEP de la ville de Blida « Algérie » 2012 [26].

La ville se caractérise par un réseau d'Alimentation en Eau Potable (AEP) dense et diversifié du point de vue âges, diamètres et matériaux car comportant des conduites anciennes, rénovées et nouvelles.

Les paramètres qui agissent sur le comportement sismique des conduites d'eau sont : le diamètre, la longueur et le matériau de la conduite ainsi que les conditions du sol (liquéfaction).

A partir de là, un diagnostic de vulnérabilité du réseau d'AEP de la ville en soulignant ses points forts et ses points faibles a été donné, en utilisant la méthode de l'indice de vulnérabilité.

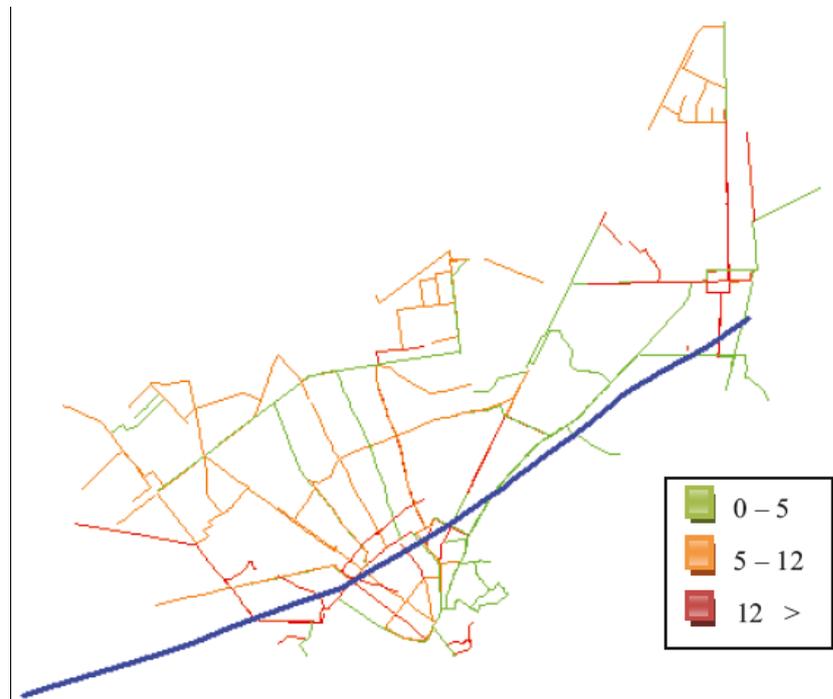


Figure 1.7: Classes de vulnérabilité du réseau d'AEP de Blida [26].

### Commentaire

Environ 70% du réseau a besoin de rénovation. Ces résultats montrent que 23% des pipelines « classé rouge », ce qui représente 24,1% de la longueur totale du réseau sont vulnérables à l'action sismique; ils doivent être remplacés en premier. Ensuite, ceux de couleur « orange » doivent être remplacés, en commençant par les petits diamètres (plus vulnérables que les grands). Il a été conclu donc que l'ensemble du réseau est très vulnérable [26].

### 1.5.6. Vulnérabilité sismique du réseau AEP de la ville de Düzce (Turquie) [33].

Le système d'AEP de la ville de Düzce est d'environ 500 km de long. Le réseau se compose principalement de conduites en fonte et d'amiante-ciment, ce qui pourrait être considéré comme des conduites fragiles. La méthode utilisée est la méthode HAZUS, les résultats sont présentés dans la figure 1.8:

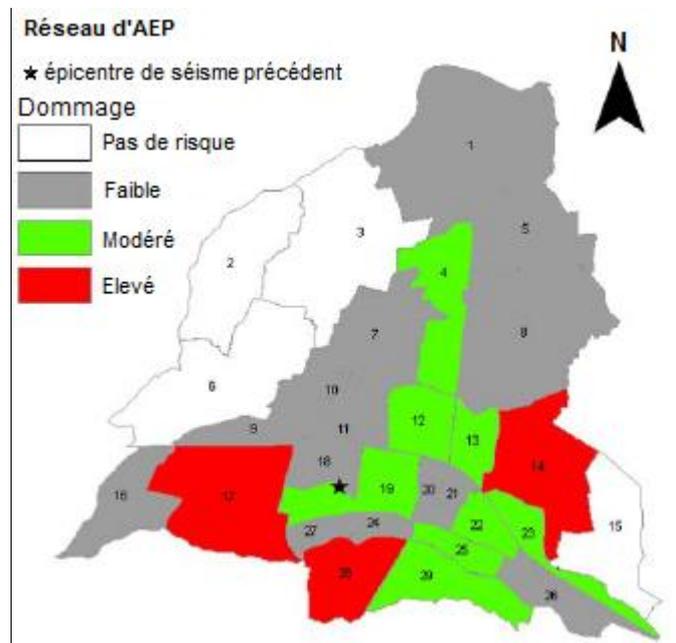


Figure 1.8: Classes de vulnérabilité du réseau d'AEP de la ville de Düzce (Turquie) [33].

### **Commentaire**

La majorité des dommages sont attendus dans la partie Sud et Sud-Ouest de la ville [33].

### 1.5.7. Autres cas d'études plus anciens

D'autres cas d'études pour les bâtiments existents comme : l'étude effectuée par Jara et al. [34] pour estimer la vulnérabilité sismique de la ville de Mexico en considérant un coefficient de résistance ( $k$ ). Ce dernier permet une classification des bâtiments en fonction de la résistance de l'étage présentant la plus faible résistance. Les résultats obtenus étaient en conformité avec les enquêtes post sismique (séisme de Mexico 1985). En effet les plus faibles valeurs du coefficient ( $k$ ) correspondent aux structures les plus endommagées. Par ailleurs, J. Chàvez et al. [35], ont évalué le risque sismique de la région de la Catalogne (Espagne) en considérant une classification des bâtiments existants en classe de

vulnérabilité selon l'EMS-92. Plusieurs paramètres ont été considérés pour cette classification à savoir l'âge, la hauteur ainsi que la localisation de la structure. Il y a eu aussi, M. Ghafory et al. [36] qui ont analysé la vulnérabilité de la ville de Téhéran en se basant sur une classification séparant les constructions urbaines à caractère social et à caractère historique.

Pour ce qui est des réseaux d'AEP, on trouve l'étude effectuée par J. Azevedo et al. [37] sur la ville de Lisbonne au Portugal où la méthode HAZUS a été utilisée. Aussi, il y'a l'étude de Monge O. et al. [38] sur la Martinique (Polynésie française), où la méthode Risk-UE a été utilisée.

### 1.6. Conclusion

Plusieurs méthodes d'estimation de la vulnérabilité sismique ont été développées à travers le monde. Nous avons présenté, dans ce chapitre, les principales méthodes qui touchent les bâtiments et les réseaux vitaux en même temps.

Nous avons aussi présenté différents exemples de différentes études sur la vulnérabilité d'autres villes dans le monde utilisant différentes méthodes. Nous constatons que chaque pays utilise une méthode adaptée à la typologie du bâti et des réseaux vitaux ainsi qu'à la densité sismique de la région.

Nous allons opter dans notre travail pour la méthode de l'indice de vulnérabilité qui a été développé et adapté au cas algérien.

## **CHAPITRE2**

### **ZONE D'ETUDE**

#### 2.1. Introduction

La wilaya de Tipasa fait partie de la région Nord Centre, fortement urbanisée et polarisante à la fois, jouissant d'atouts majeurs économiques, touristiques et naturels, la mettant à l'avant-garde du reste du territoire national.

Elle ne cesse de reproduire les effets des différents déséquilibres et inégalités induits par l'attractivité de la métropole.

La commune de Tipasa fut érigée en chef-lieu de wilaya en 1985. Distante de 80 km d'Alger elle occupe une superficie évaluée à 7000 Ha, c'est une ville côtière à caractère touristique.

#### 2.2. Présentation de la wilaya de Tipaza

Nous allons présenter les caractéristiques de la wilaya afin de bien situer la zone d'étude et de comprendre ces différents aspects y ayant trait.

##### 2.2.1. Situation géographique

La wilaya de Tipaza se situe dans la partie nord du pays, dans la zone géographique du Tell central. Elle est limitée au Nord par la mer méditerranée par l'Est la wilaya d'Alger, à l'Ouest par la wilaya de Chlef, au Sud par les wilayas de Blida et Ain Defla [39].

##### 2.2.2. Découpage administratif

Faisant partie initialement de la wilaya de Blida, Tipaza fut promue au rang de wilaya à partir du découpage administratif de 1985, la wilaya a fait l'objet d'une nouvelle délimitation de son territoire englobant ainsi 28 communes qui se répartissent en 10 daïras couvrant une superficie de 1707 Km<sup>2</sup> (fig. 2-1) [39].

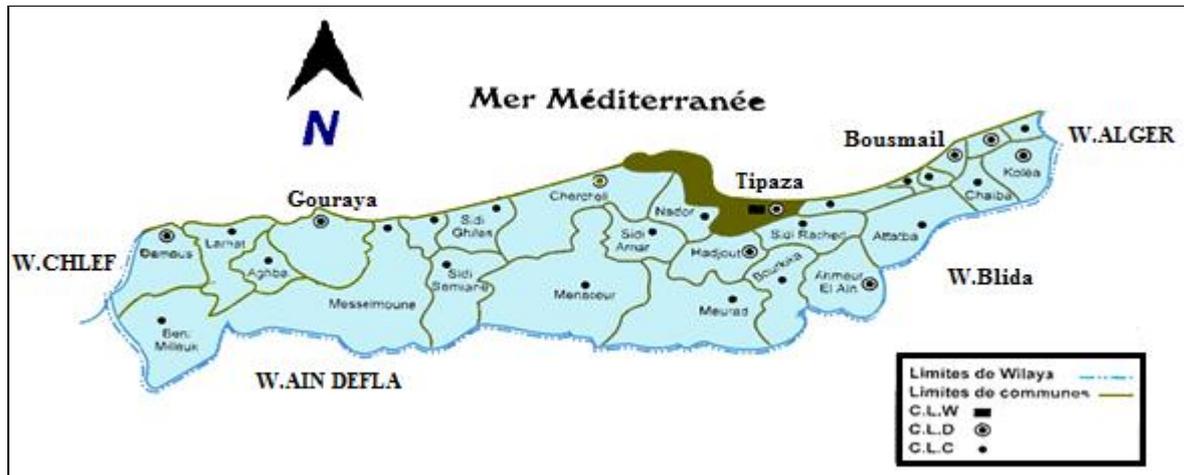


Figure 2.1: Wilaya de Tipaza [39].

### 2.3. Présentation de la commune de Tipaza

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

#### 2.3.1. Aperçu historique sur la formation de la ville de Tipaza [39]

Le peuplement de la région de Tipasa, au même titre que l'ensemble du pays a connu plusieurs civilisations. D'importants témoignages subsistent et constituent aujourd'hui un patrimoine historique et culturel indéniable.

##### ***L'époque préhistorique (Au milieu du 3eme millénaire AV. JC)***

Les hommes se sont abrités dans les grottes du littorale, à l'Est comme à l'Ouest de Tipasa, à proximité des rivages. Ce choix leurs permettait de combiner à la fois: la chasse dans la montagne, et la récolte des produits de la mer à des fins alimentaires ou esthétique [39].

##### ***L'époque phénicienne (1er siècle AV-J)***

A cette époque, Tipasa n'est pas restée en dehors du mouvement d'expansion phénicienne à travers le bassin méditerranéen. Au début, elle était une escale parmi d'autres, échelonnées tous les 30 à 50Km sur la côte méditerranéenne située entre ICOSIUM (Alger) et IOL (Cherchell), d'où est l'origine de son appellation ainsi que le rôle primitif de son établissement. Elle devient par la suite un comptoir maritime. De cette époque, toutes les traces d'urbanisation avaient disparues, et seules les nécropoles demeurent témoins de celles-ci [39].

### *L'époque romaine*

Après la chute de Carthage au II<sup>ème</sup> siècle avant J.C, la ville de Tipasa fut intégrée dans le noyau des royaumes mauritaniens dont IOL (Cherchell) fut désignée comme l'une des capitales du Roi maure (Bocchus).

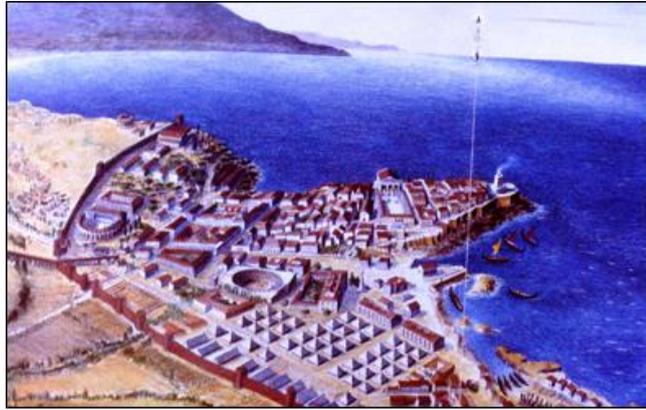


Figure 2.2: Tipaza époque romaine [39].

Quant à Tipasa elle devient entre 145 et 150 après J.C « Colonia Aelia Tipasensis » et reçoit toutes les prérogatives de la citoyenneté romaine c'est dans ces mêmes années que la grande enceinte de Tipasa est construite (fig. 2.2).

C'est une preuve que les villes romaines n'étaient pas dotées de remparts à l'aube de leurs annexions, mais il est très important de rappeler qu'en 46 après J.C, l'empereur Claude accorda à Tipasa un statut municipal en lui octroyant le droit latin [39].

### *L'époque Vandale et Byzantine*

En 429 après J.C., les tribus Vandales accostèrent sur le rivage du Maghreb, leur marche vers l'Est fut rapide, et en 430 ils occupèrent la ville de Tipasa et détruisirent le rempart pour faire de celle-ci une ville ouverte.

Quant à l'époque Byzantine, elle a commencée en 533, mais n'a laissé que peu de traces, le port de Tipasa n'a pu connaître qu'une occupation temporaire, certaines basiliques (Sainte Salsa et St Pierre et Paul) ont fait l'objet de remaniements pouvant être attribués aux Byzantins [39].

### *L'époque Musulmane*

Du IX<sup>ème</sup> au XV<sup>ème</sup> siècle, Tipasa fait partie des dynasties locales: les Rustumides, les Fatimides, les Zirides puis les Abdelwadites, dont la contribution au développement

urbanistique de Tipasa est inexistante sur le terrain, ce qui amena trois hypothèses possibles.

Utilisation des vestiges de la cité romaine trouvés d'une façon sporadique.

Rajout de structures minimales aux structures romaines qui avaient disparu avec le temps.

La cité de Tipasa ne fut pas occupée par les musulmans, mais son territoire fut simplement géré par le pouvoir des dynasties qui se sont succédé en Afrique du Nord [39].

### *L'époque coloniale*

Les français s'intéressaient à Tipasa qui relève d'une situation stratégique, dotée surtout d'une importance économique grâce à la fertilité de ses terres agricoles.

Les premières intentions coloniales visaient le point du 1er plan de colonisation «Demonchy» en création d'une grande ville (1853).

Les premiers tracés formant le noyau villageois de Tipasa, sont, en réalité des trames urbaines définitives, car les extensions jusqu'à 1948 (fig. 2.3), ne sont que des remplissages d'îlots, et de la réalisation des voies, préalablement dressés dans les premiers projets urbains de 1854. Le caractère principal de la trame viaire de ce noyau ancien, réside dans la symétrie de l'axe Nord-Sud et dans la régularité formelle et caractéristique de l'espace [39].



Figure 2.3: Tipaza, époque coloniale [39].

En 1959 : le mode de croissance change car il prend la direction Sud avec la création de la cité Oued Merzoug et la cité HLM dans le cadre du plan de Constantine (1958-1962).

Cette rupture s'explique par l'hypothèse, qu'on ait choisi le lieu le plus favorable par sa position au sommet qui permet de dominer la mer, par son orientation différente des autres exposés aux vents d'hiver... La cité HLM fut édifée sur un plateau, elle est constituée de bâtiments juxtaposés d'une manière ponctuelle.

### *Epoque post Indépendance à nos jours*

A partir de 1962 jusqu'à 1985, la ville de TIPASA a connu une expansion qui avait donné deux formes d'extensions distinctes.

Une densification des Ilots à l'intérieur du village .Les cours intérieures ou les jardins avaient constitué une véritable réserve foncière ont été franchies par des chemins d'accès.

Après 1985 la ville est promue chef-lieu de wilaya. La nouvelle agglomération urbaine s'est réalisée par la construction de plusieurs cités d'habitat du type HLM et d'autres cités administratives aux caractères semi préfabriqué afin de répondre aux besoins nouveaux du chef-lieu de wilaya en termes d'implantation de sièges de directions et d'habitat pour les fonctionnaires et d'équipements d'accompagnement (fig. 2.4).

Cette nouvelle agglomération avait pris la direction des hauteurs du site au vu des contraintes archéologiques et leurs zones de servitudes qui se présentaient sur toute la zone littorale (Les deux parcs archéologiques de l'Est et de l'Ouest) [39].



Figure 2.4 : Tipaza aujourd'hui [39].

### 2.3.2. Situation géographique

La Commune de Tipasa érigée chef-lieu de wilaya en 1985, se situe dans les couffins Ouest du Sahel d'Alger et dans la partie Est du Massif du Chenoua et la vallée de l'oued

Nador. Elle se trouve à 80 km à l'ouest d'Alger la capitale et couvre une superficie d'environ 7000 Ha [39].

### 2.3.3. La géomorphologie (Aspect morpho – tectonique) du site de Tipasa

La commune de Tipasa est subdivisée naturellement en trois (03) ensembles géomorphologiques qui sont [2]:

Le massif de Chenoua à l'Ouest.

Les contreforts du Sahel à l'Est.

La vallée d'Oued Nador.

La plaine de Tipasa s'inscrit dans une large cuvette en forme d'hémicycle qui continue à se glisser et à s'enfoncer sous le massif de Chenoua en le soulevant, depuis plus de 200000 ans.

Ces mouvements morpho – tectoniques rendent instable le substrat de Tipasa et forment des zones de ruptures par flexion sur la roche et provoquent des zones d'effondrement en bloc des promontoires côtiers. La succession des criques et des promontoires est donc une conséquence de ces mouvements.

#### 2.3.3.1. L'ensemble Ouest

Le massif montagneux du Chenoua s'est formé à la suite de mouvement splio-quatérnaires. L'édifice tectonique a été redéployé en un bombement d'allure anticlinal et affecté de fractures. Ces déformations au cours desquelles le massif de Chenoua a acquis progressivement son aspect morphologique actuel (fig.2.5) [40].

Trois (03) mouvements tectoniques ont donné les structures suivantes :

Le géosynclinal, d'âge primaire, au Nord.

Une chaîne calcaire au Centre.

Une nappe de flysch au Sud.

La tectonique est variée passant de l'âge primaire au Sud à l'âge récent au Nord, mais inscrivant le Chenoua comme massif primaire ancien.

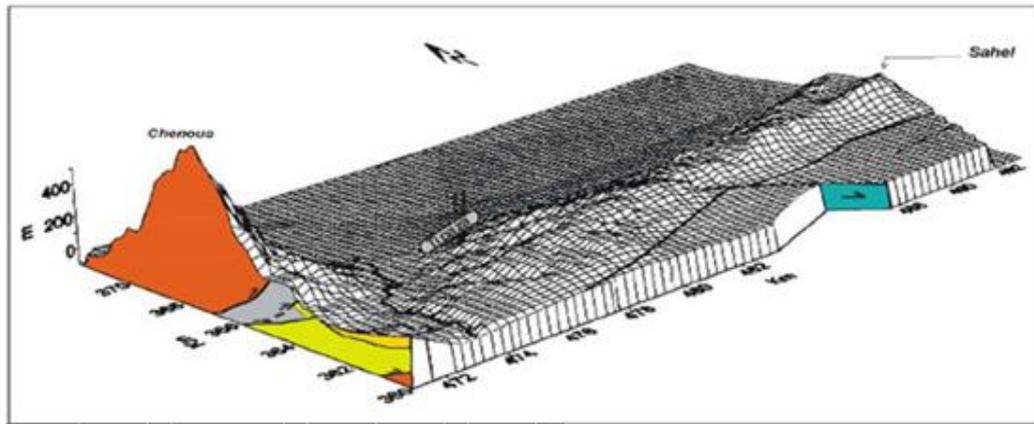


Figure 2.5: Morphologie du Sahel d'Alger (Vue en 3 D) [40].

#### 2.3.3.2. L'ensemble Central

L'ensemble central constitue la vallée de l'oued Nador qui est une dépression où s'entassent les matériaux meubles et récents. Le synclinal Mitidjien de l'Oued Nador empreinte un axe d'orientation Nord-Est, Sud-Ouest [40].

Les terrains du pliocène qui affleurent en bordure du synclinal disparaissent sous les dépôts alluvionnaires quaternaires au centre de la structure.

#### 2.3.3.3. L'ensemble Est

Les contreforts du Sahel se présentent sous l'aspect d'un anticlinal entre Haouch Bel Medah à l'Ouest et le tombeau de la Chrétienne à l'Est, dans lequel est implantée la ville de Tipasa. C'est l'une des déformations à grands rayons de courbure post astien [40].

Au-delà vers l'Est, la retombée de l'anticlinal vers la mer n'est plus distinguée, le littoral est occupé par des dunes consolidées dessinant des criques et quelques promontoires dont celui du phare.

#### 2.3.4. Aspect géologique de la région de Tipaza

On distingue quatre formations géologiques affleurant dans le site d'étude (fig. 2.6) [40].

Les formations d'âge quaternaire (l'Actuel, le Pléistocène, le Villafranchien).

Les formations d'âge tertiaire représentées par des dépôts Néogènes (Pliocène et Miocène).

Les formations d'âge secondaire représentées par le flysch mauritanien (Crétacé supérieur), des terrains jurassiques, triasiques et grès et pélites conglomérats.

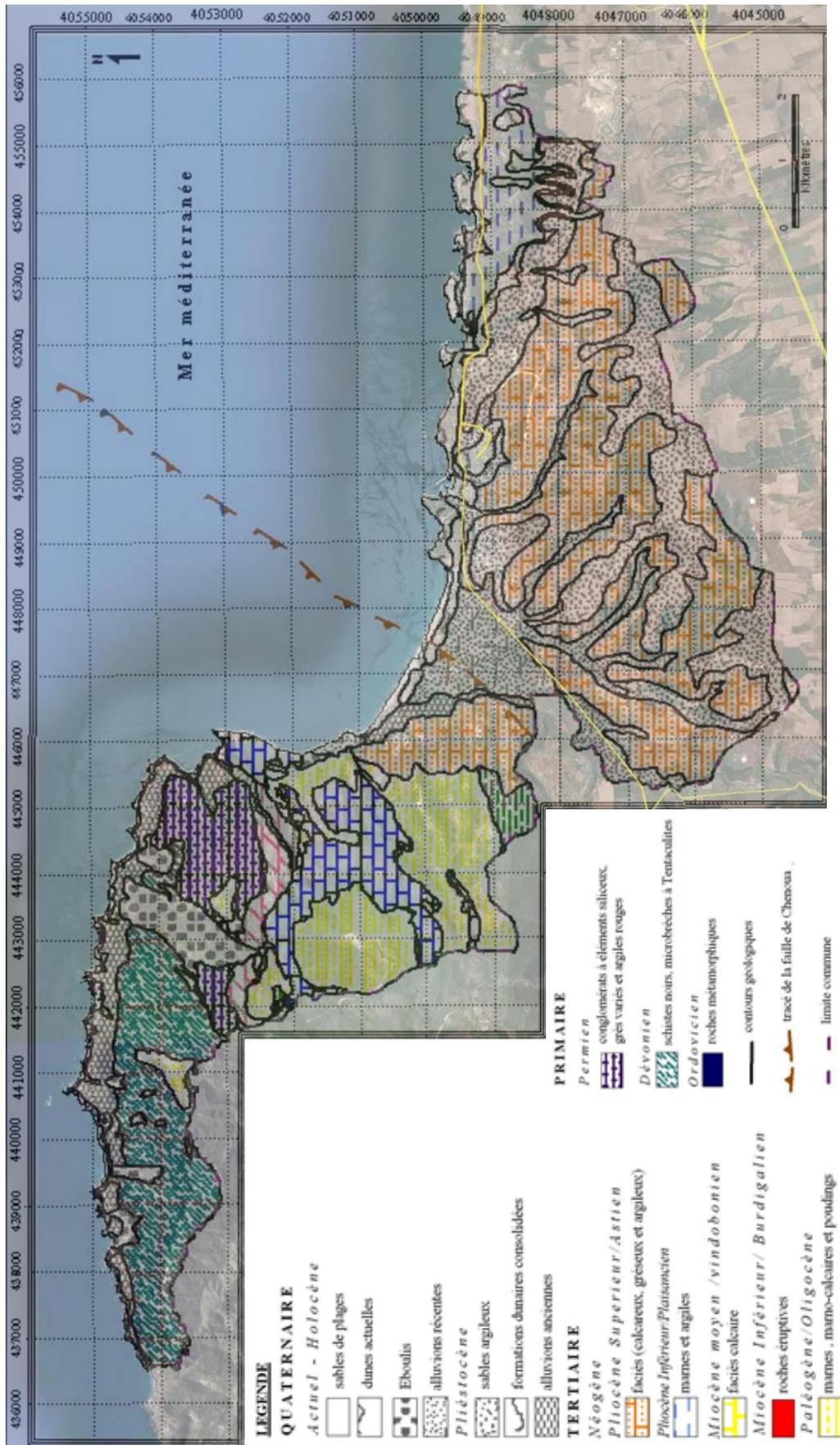


Figure 2.6 : Carte géologique de la région de Tipaza [40].

### 2.3.5. Population de la commune de Tipaza

Au recensement général de la population et de l'habitat en 1998, la commune de Tipaza comptait 21 915 habitants.

En l'an 2006, elle a été estimée à 24196 habitants et les estimations prévoient une population de 43690 d'ici à 2026 (Tab. 2.1). Le récent dénombrement de la population et de l'habitat de 2006, entrant dans le cadre des préparatifs du RGPH 2008, a donné en matière de répartition, les résultats suivants (Tab. 2.2) [41].

Tableau 2.1: Evolution de la population de 1998 à 2026 [41].

<b>année</b>	1998	2004	2011	2026
<b>Population</b>	21915	24080	31210	43690

Tableau 2.2: Répartition de la population et de l'habitat du chef-lieu de Tipaza [41].

	<b>Plan d'Occupation de Sol</b>	<b>Population</b>	<b>Nbre de bâtis</b>	<b>Nbre de logts</b>
1	Tipasa Sud	10382	1006	2461
2	Village Colonial	1972	317	210
3	Oued Merzoug (+ Douar Hamiti)	2134	412	141
4	Hai El Gherbi	1578	299	450
5	Cité Nouvelle	1850	526	643
6	Hai Mansour	471	68	76
7	Chenoua Matares	1191	169	122
8	Douar Rabta	651	133	146
9	Pôle Multifonctionnel	2321	158	245
12	Hai Mansour Nord	471	68	76
14	Parc-Archeologique	723	82	413
	<b>TOTAL</b>	<b>24196</b>	<b>3248</b>	<b>4993</b>

### 2.3.6. Accessibilité et réseau routier de la commune de Tipaza

La commune dispose d'un réseau routier composé de routes nationales, de chemins de wilaya, de chemins ruraux, de chemins vicinaux et de pistes agricoles.

La commune est desservie par un réseau routier relativement bien maillé composé de liaisons régionales qui servent de relais entre les différents centres de peuplement ou

d'activité, et de liaisons qui véhiculent les échanges avec les wilayas limitrophes (Alger-Blida-Ain Defla) [39].

La Commune est principalement desservie par (fig. 2.7).

La RN 11 Assurant la liaison Est-Ouest et à l'ensemble des villes côtières. Cet axe prend naissance d'Alger, au niveau de Tipasa, il se subdivise en deux branches à partir du piémont Sud du Massif Chenoua.

Le CW 106 Relie Tipasa à Sidi Rached et se raccorde à la RN.67.

Le CW 109 Représente l'axe principal longeant la corniche du Chenoua pour rejoindre plus loin la RN 11.

La voie expresse Relier les villes du littoral entre elles comme Cherchell, Tipasa et Bousmail et faciliter l'accès aux différentes plages de la région vu le caractère touristique de la commune.

Par ailleurs, la Commune dispose d'un réseau interne très important.

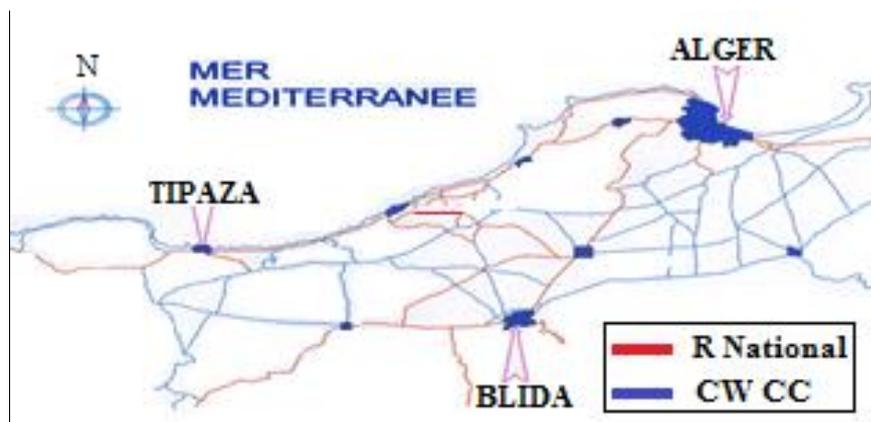


Figure 2.7 : Accessibilité vers le chef-lieu de Tipaza [39].

### 2.3.7. Réseau d'alimentation en eau potable « AEP » de Tipaza

L'agglomération chef-lieu de TIPAZA est alimentée à partir de plusieurs réservoirs de capacités respectives de  $(2 \times 1000 \text{ m}^3 + 500 \text{ m}^3)$ ,  $2 \times 500 \text{ m}^3$  et  $2 \times 2000 \text{ m}^3$  en bon état de types semi enterrés, ils sont disposés à trois différentes altitudes de la ville (Fig. 2.8). L'arrivée de l'eau vers la ville est assurée à partir du barrage Boukerdane (Sidi Amar), d'un réservoir tampon de capacité  $(2 \times 2000 \text{ m}^3)$  se trouvant au sommet de la ville (altitude +170.20 m).

À partir de ces réservoirs de stockages se fait la distribution vers les autres réservoirs de la ville gravitairement [3], à travers une conduite de diamètre 200mm en fonte, d'abord vers les deux réservoirs ( $2 \times 500 \text{ m}^3$ ) qui se trouve à 98.10m d'altitude, puis les réservoirs ( $2 \times 1000 \text{ m}^3 + 500 \text{ m}^3$ ) se trouvant plus bas (altitude + 60.10 m). Ce système permet d'assurer une bonne distribution à des débits réguliers à tous les niveaux de la ville [39].

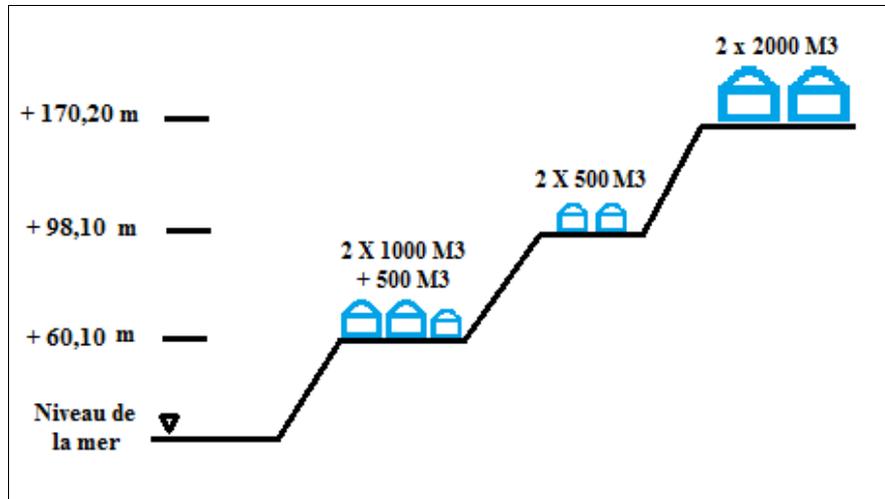


Figure 2.8: Différentes altitudes des réservoirs de Tipaza [39].



Figure 2.9: Différents réservoirs de la commune de Tipaza [39].

### 2.3.8. Croissance urbaine de la ville

Le problème de développement de Tipasa est situé dans le conflit entre l'urbanisation et la protection du contexte environnant, l'extension urbaine de Tipasa est limitée. En effet les terres agricoles de hautes potentialités et les espaces sensibles qui l'entourent au Nord comme au Sud conditionnent son urbanisation et constituent de véritables contraintes à son développement [39].

En effet, la prolifération des constructions illicites et anarchiques qui ne cessent de s'étendre sur les sites archéologiques met le patrimoine historique en péril pouvant provoquer le déclassement de la ville de Tipasa de son titre à l'inventaire universel des monuments historiques.

#### ***Période avant 1984***

Tipasa était une commune côtière à strate rurale soit un village à vocation touristique, agricole et de pêche. La zone urbaine de la commune est représentée par le noyau colonial, situé dans la partie nord de part et d'autre de la Route Nationale 11, les deux cités de recasement: (Cité Oued Merzoug - Cité HLM) au sud, le port de la ville et les deux sites archéologiques. La partie rurale est constituée principalement par les différents hameaux éparpillés à travers l'ensemble du territoire communal [39].

#### ***Période entre 1984-2002***

Un programme important a été réalisé depuis 2002 rentabilisant ainsi toutes les friches urbaines qui étaient disponibles notamment dans la partie Sud. Ce périmètre est à sa limite de saturation à l'exception de certaines parcelles déjà affectées.

Deux extensions ont été prévues dans le cadre de l'étude de révision en 2002, il s'agit de l'extension Est (prévue comme pôle d'équipements) et de l'extension Ouest (prévue comme pôle multifonctionnel) (fig. 2.10).

Seulement, malgré l'adoption d'un plan directeur d'aménagement et d'urbanisme en 1995 la commune s'est développée d'une manière incontrôlée, l'extension s'est faite essentiellement au détriment des terres agricoles fertiles dans la partie sud du village colonial [39].

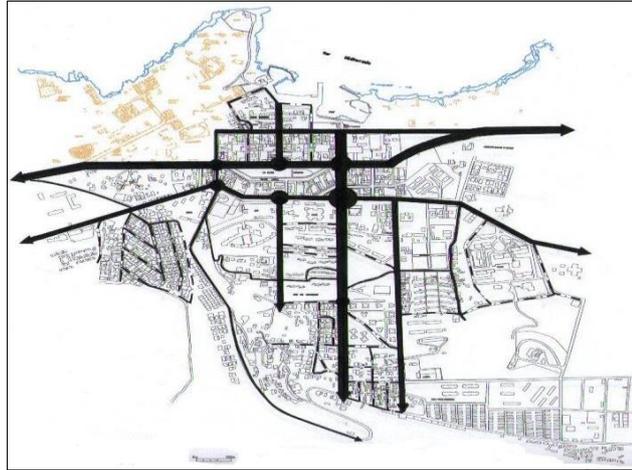


Figure 2.10: Axes d'extension de la ville [39].

### ***Période entre 2002-2006***

Durant cette période on a assisté à l'extension de la ville en faveur des terres agricoles ou elle est orienté à l'Est et à l'Ouest du chef-lieu, la révision du plan directeur d'aménagement et d'urbanisme « PDAU » en 2002 a dégagé deux plans d'occupations de sols à urbanisé « POS AU1 » et « POS AU2 » [39].

Le premier « POS AU1 » extension Est, se développe sur un terrain enclavé entre le rempart romain et la RN 11 à l'Est d'une surface de 13 ha, prévu pour l'aménagement d'un pôle d'équipement ou aujourd'hui est pratiquement saturé en dehors de quelques réserves d'équipements qui sont affectés.

Le deuxième « POS AU2 » extension Ouest occupe une surface de 68 ha à l'Ouest de Hai El Gharbi. C'est une zone multifonctionnelle ou un programme de logements et d'équipements de grande importance est en cours d'exécution.

On a constaté qu'il y a eu une dynamique urbaine très particulière pour la commune de Tipasa notamment après 1985 (chef-lieu de wilaya), aujourd'hui même, on est arrivée à la saturation de ce secteur et la commune continu à recevoir des équipements à haut niveau vu la volonté de rehaussé son image et la mettre à niveau par rapport à d'autres wilaya.

### **2.4. Contexte sismotectonique de la région**

En Algérie, l'activité tectonique est due à la conséquence des mouvements de convergence entre les plaques africaine et eurasienne.

### 2.4.1 Tectonique et Sismicité de la Mitidja

Le bassin intra montagneux de la Mitidja se trouve justement au sein du rameau alpin sud-méditerranéen (fig. 2.11), 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 NNO-SSE et estimée à 5mm/an [42].

La limite entre l'anticlinal du Sahel et le massif de Chenoua est marquée par une faille inverse, orientée NE-SO, chevauchante vers le Sud avec un plongement de 45N. Cette faille se prolonge en mer, avec une longueur totale estimée à 18 km.

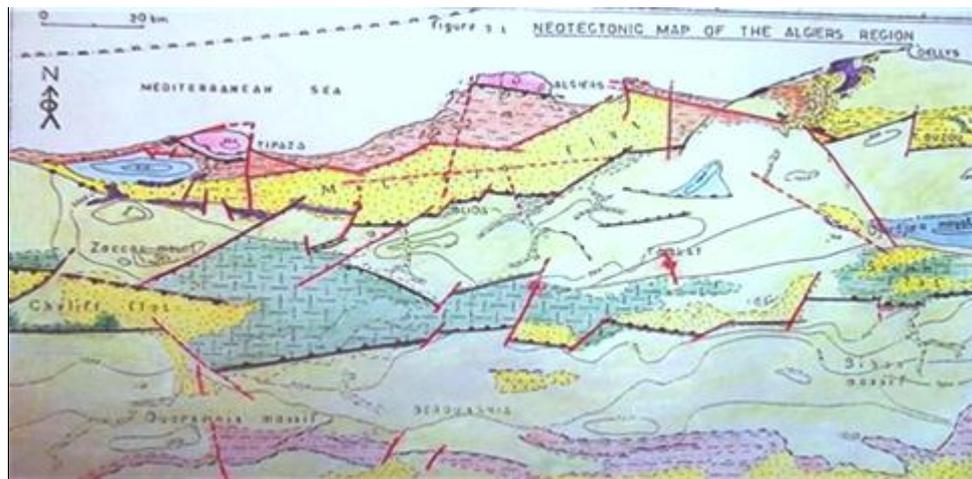


Figure 2.11: Carte néotectonique «Carte des failles » qui montre le niveau élevé de la sismicité de l'Algérie du Nord [43].

### 2.4.2 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 (fig. 2.12) [42]:

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 OuledYaich et Bouinan.

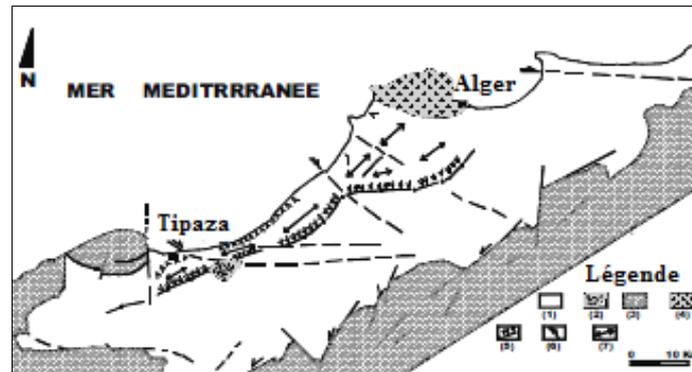


Figure 2.12: Schéma structural à partir de l'image Landsat (Tectonique satellitaire) [44].

#### 2.4.3. La faille du Chenoua

L'essai des répliques des séismes du Chenoua 1989 et de Tipaza 1990 (fig. 2.13) et d'autres observations de terrain ont aidé l'identification de la faille du Chenoua qui a une forme en « L » d'abord NE-SO décrite par des ruptures de surface, puis change de direction pour devenir Subméridienne, en mer (fig. 2.13).

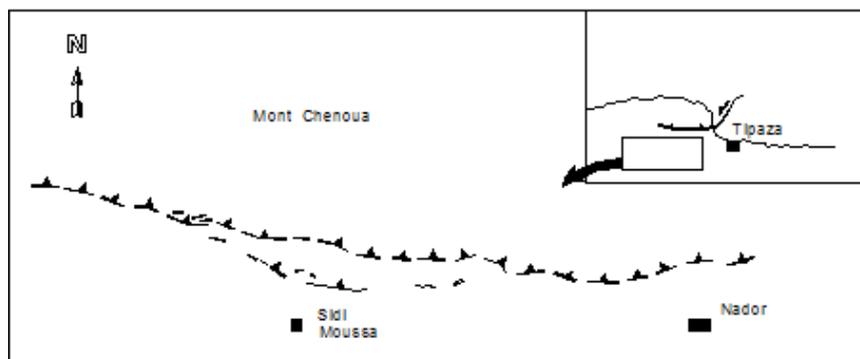


Figure 2.13: Ruptures de surface à la suite du séisme du Chenoua de 1989 [45, 46].

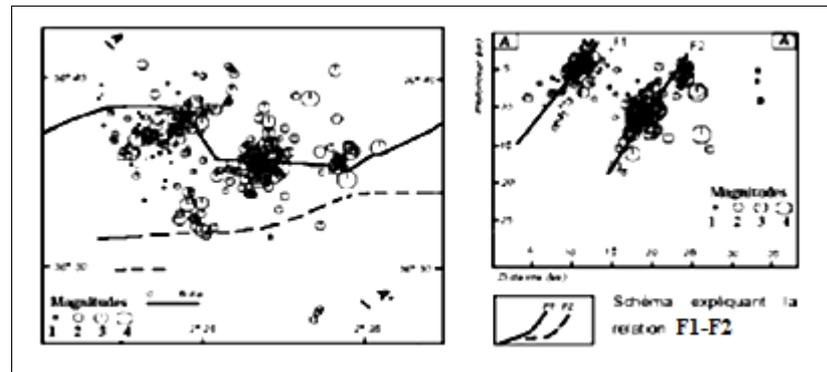


Figure 2.14: Distribution spatiale des répliques des séismes du Chenoua (1989) et de Tipasa (1990) sur une carte (à gauche) et en profondeur (à droite) [45, 46].

Les deux (02) séismes ont eu lieu dans pratiquement la même zone avec pour distance entre les épicentres environ 07 km.

Cette projection met en évidence deux (02) plans de faille inclinés vers le NO (F1 et F2) (Fig. 2.14). Ils sont parallèles et orientés Nord-Ouest 45, avec un pendage de  $60^\circ$  vers le NO, dans ce cas de figure, la faille F1 (la plus à l'ouest) serait probablement antérieure à la faille F2.

#### 2.4.4. Sismicité historique de Tipasa

La ville de Tipasa appartient à une région de sismicité très élevée, elle est classée par le RPA 99 / version 2003 comme zone III. La ville de Tipasa été déjà le siège d'importants séismes dans le passé [39].

Le séisme du 03 décembre 1735 ( $M < 5$ ) qui aurait causé la mort de 250 personnes et endommagé de nombreuses constructions dans la ville de Cherchell.

Le séisme du 19 août 1966 ( $M < 5$ ) localisé au large de Cherchell.

Le séisme du 29 octobre 1989 ( $m=6$ ) apparaît comme étant le plus violent qui ait affecté la région depuis plus de deux siècles (fig. 2.15).



Figure 2.15: Quelques photos des dégâts causés après le séisme de 1989.

### 2.5. 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 Tipaza. Le noyau de cette ville d'une superficie de 64 Ha, se compose d'un ensemble dense de bâtiments en maçonnerie principalement en brique pleine datant de l'époque coloniale. 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.

Au Sud de ce noyau et le long des axes routiers principaux se développe un habitat en béton armé datant de l'époque post indépendance.

De par son histoire la ville de Tipaza possède un ensemble de réseaux vitaux (routes, canalisations, ..) assez dense. L'ensemble de ces structures et infrastructures est soumis à l'aléa sismique caractérisant la région.

Aussi il convient d'analyser la vulnérabilité sismique de la ville afin de réduire les dégâts que peuvent être occasionnés si un séisme venait à se produire.

## CHAPITRE 3

### METHODE DE L'INDICE DE VULNERABILITE POUR LES BATIMENTS ET LES RESEAUX AEP

#### 3.1. Introduction

Pour se prémunir des effets des séismes sur un tissu urbain, les pays sujets aux secousses sismiques se doivent de développer, ou d'adapter une méthode pour estimer la vulnérabilité sismique des différents éléments de la ville (bâtiments existants, réseaux d'alimentation en eaux potables « AEP », réseaux routiers..).

La méthode de l'indice de vulnérabilité a été déjà utilisée dans différentes régions du monde (Italie, Suisse, Espagne, ... etc.), et notamment en Algérie où elle a été adaptée au contexte algérien pour les constructions en maçonnerie [22, 47, 48,], en béton armé [19, 48, 20] en charpente métallique [49, 50], pour les constructions mixtes [48, 51] et pour les réseaux AEP [52].

Dans ce qui suit, nous allons donner les principaux développements de cette méthode pour leur application au cas d'étude à savoir la ville de Tipaza.

#### 3.2. Méthode de l'indice de vulnérabilité

La méthode de l'indice de vulnérabilité permet en particulier d'identifier les défauts et les faiblesses de constructions ou des conduites, à partir d'examen visuels de la structure, et d'estimer le taux de dommages probables en fonction d'un niveau de sollicitation.

Concernant les bâtiments, cette approche considère un certain nombre de paramètres tels que la nature structurale et non structurale relative à chaque type de construction; identifiés à priori comme participant à la vulnérabilité globale de la structure, c'est-à-dire influant sur la réponse sismique de la structures; ces paramètres sont choisis à partir d'observations post sismiques.

Pour ce qui est des réseaux AEP, la méthode proposée est basée sur des modèles statistiques d'estimation de la vulnérabilité des conduites [53].

### 3.2.1. Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les bâtiments

Dans cette méthode, on considère un certain nombre de paramètres pouvant avoir une influence 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. Trois classes A, B, C sont considérées. La classe A représente des éléments réalisés selon le code parasismique en vigueur, 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. Pour les constructions en maçonnerie nous avons classes (les classes B et C étant considérées comme des classes intermédiaires et la classe D représente les éléments n'ayant pas été réalisés selon un code parasismique).

A chaque paramètre et à chaque classe, correspond un coefficient  $k_i$  (Tab 3.1, 3.2, 3.3, 3.4) [47, 48].

Tableau 3.1: Paramètres et facteurs de pondération  $K_i$  des bâtiments en maçonnerie en Algérie [47, 48, 22].

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 3.2: Paramètres et facteurs  $K_i$  pour les bâtiments en béton armé [19, 54].

N°	Paramètre	Classe / $K_i$		
		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 3.3: Paramètres et facteurs  $K_i$  pour les bâtiments en charpente métallique [49, 50].

N°	Paramètres	Classe / $K_i$		
		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 3.4: Paramètres et facteurs Ki pour les bâtiments Mixtes (Acier-Maçonnerie) [51].

N°	Paramètres	Classe / Ki		
		Classe A	Classe B	Classe C
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

L'indice de vulnérabilité IV est calculé comme la somme des coefficients  $k_i$ , soit :

$$IV = \sum_{i=1}^n k_i \quad (1)$$

### 3.2.2. Méthode de l'indice de vulnérabilité pour les réseaux d'alimentation en eau potable « AEP »

L'indice de vulnérabilité est évalué par le nombre de paramètres influençant le comportement de la conduite avec le facteur de pondération provenant des derniers séismes algériens (Ain Temouchent 1999 et Zemouri 2003), notons que certains facteurs de correction peuvent être peu fiables en raison de statistiques insuffisantes.

L'indice de vulnérabilité pour les conduites a été définie comme suit [26, 27, 28, 57].

$$IV = C_d \cdot C_p \cdot C_f \cdot C_s \cdot C_g \cdot C_i \cdot C_t \quad (2)$$

Où :  $C_d$  est le facteur de correction pour le diamètre de la conduite.

$C_p$  est le facteur de correction pour le matériau de la conduite.

$C_f$  est le facteur de correction pour l'intersection faille sismique/conduite.

$C_s$  est le facteur de correction pour les glissements de terrains.

$C_g$  est le facteur de correction pour le type de sol.

$C_i$  est le facteur de correction de l'intensité sismique.

$C_l$  est le facteur de correction pour la liquéfaction.

Les facteurs sont regroupés dans le tableau suivant:

Tableau 3.5: Exemple de calcul du IV d'une conduite [32].

Paramètre	Catégorie	Facteur de Correction
Matériau $C_p$	Fonte ductile	0,30
	Fonte	1,10
	PVC	1,00
	Acier	0,30
	Acier galvanisé	1,75
	Amiante-ciment	2,50
	PEHD	0,10
Diamètre $C_d$	$\varphi < 75$ mm	1,60
	$75 \text{ mm} < \varphi < 150$ mm	1,00
	$150 \text{ mm} < \varphi < 250$ mm	0,90
	$250 \text{ mm} < \varphi < 450$ mm	0,70
	$450 \text{ mm} < \varphi < 1000$ mm	0,50
	$\varphi > 1000$ mm	0,40
l'intersection faille sismique/conduite $C_f$	pas d'intersection	1,00
	une intersection	2,00
	plusieurs intersections	2,40
glissements de terrains $C_s$	Pas de glissement	1,00
	Glissement moyen	2,00
	Glissement important	2,40
type de sol $C_g$	Dépôt des sols: alluvions: très mou	4,70
	Dépôt des sols: Diluvium: mou	2,90
	Altération des roches: moyen	2,00
	Altération des roches modérées	1,00
	Légère / pas d'altération des roches: rigide / dur	0,50
Liquéfaction $C_l$	$0 \leq PL < 5$	1,00
	$5 \leq PL < 15$	2,00
	$15 \leq PL$	2,40
intensité sismique $C_i$	$MMI < 8$	1,00
	$8 \leq MMI < 9$	2,10
	$9 \leq MMI < 10$	2,40
	$10 \leq MMI < 11$	3,00
	$11 \leq MMI$	3,50

### 3.3 Classification de l'indice de vulnérabilité

La méthode de l'indice de vulnérabilité permet donc d'attribuer une valeur numérique à chaque bâtiment ou conduites, cette valeur est considérée comme une représentation de sa qualité sismique. Elle permet une classification de l'élément étudié selon le tableau (3.6).

Tableau 3.6: Classification selon l'indice de vulnérabilité [26, 32, 47, 48, 50, 51, 55].

<b>type</b> \ <b>classe</b>	<b>vert</b>	<b>orange</b>	<b>rouge</b>
<b>bâtiment en maçonnerie</b>	$0 < IV \leq 0.20$	$0.20 \leq IV \leq 0.60$	$0.60 \leq IV \leq 1$
<b>bâtiment en béton armé</b>	$0 < IV \leq 0.40$	$0.40 \leq IV \leq 0.70$	$0.70 \leq IV \leq 1$
<b>bâtiment en charpente métallique</b>	$0.36 < IV \leq 0.54$	$0.54 \leq IV \leq 0.85$	$0.85 \leq IV \leq 1$
<b>bâtiment mixte (acier-maçonnerie)</b>	$0 < IV \leq 0.44$	$0.44 \leq IV \leq 0.88$	$0.88 \leq IV \leq 1$
<b>réseaux AEP</b>	$0 < IV \leq 5$	$5 \leq IV \leq 12$	$12 < IV$

Dans cette classification quand l'indice de vulnérabilité est faible la couleur associée est le vert, ceci exprime que l'élément considéré n'est pas ou peu vulnérable au séisme. Quand il est critique la couleur rouge est associée cela signifie que l'élément est vulnérable. Enfin, pour la situation intermédiaire la couleur orange est associée.

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

Le logiciel Vulnérabilité Indice Programme (V.I.P) a été développé en Delphi (fig3.1) [47] pour prendre en charge le calcul de l'indice de vulnérabilité des différents types de structures (maçonnerie, béton armé, charpente métallique et mixte) ainsi que pour les conduites et cela grâce aux informations recueillies dans la fiche technique élaborée lors des visites effectuées sur site. Cette procédure facilite la tâche et génère un gain de temps considérable dans le traitement des informations.



Figure 3.1: 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'.

#### 3.4.1. Partie visuelle 'Interface utilisateur'

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

La page d'accueil présentée dans la figure 3.2 qui permet de sélectionner le type de structure (Maçonnerie, Béton armé, Charpente métallique, mixte et réseau AEP) pour accéder au menu étude (Fig. 3.3) 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 (Fig. 3.4).

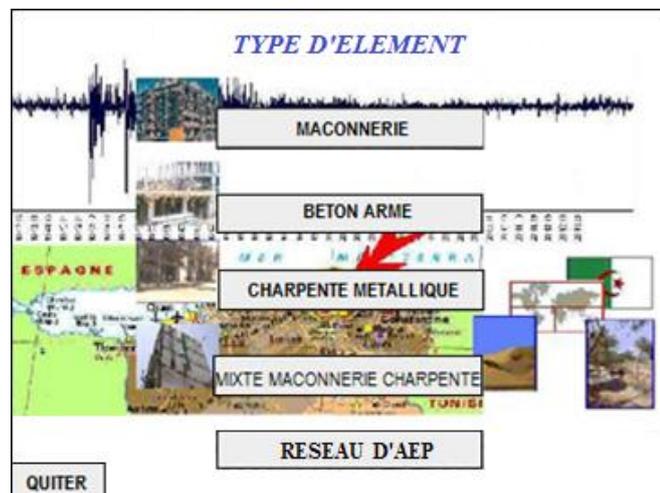


Figure 3.2: Page d'accueil utilisateurs

Vulnerability Index Program (masonry structure)

Fichier Rechercher Imprimer ?

PRECEDENT | SUIVANT | AJOUTER UNE FICHE | SUPPRIMER | ENREGISTRER | RAFFRECHIR

FICHE TECHNIQUE 1/4 | FICHE TECHNIQUE 2/4 | FICHE TECHNIQUE 3/4 | FICHE TECHNIQUE 4/4 | PARAMETRES | RAPPORT

WILAYA: BLIDA | ADRESSE: 27rue\_Lalaich\_Abde | TYPE DE LA CONSTRUCTION: batiment

COMMUNE: BLIDA | AGE APPROXIMATIF (AN): 80 | USAGE: habitation

ZONE SISMIQUE: 3

CONSTRUCTION CALCULEE AU SEISME:  OUI  NON

CONSTRUCTION CONTROLEE AU SEISME:  OUI  NON

SYSTEME CONSTRUCTIF: maçonnerie non chaîné

HAUTEUR (m): 8 | HAUTEUR INTER ETAGE (m): 3,2

LONGUEUR (m): 13,5 | LARGEUR (m): 3,5 | NOMBRE DE NIVEAU (n): 2

EXIST IL UNE CONSTRUCTION MITOYENNE ?  OUI  NON

EXIST IL UN JOINT ?  OUI  NON

DONNER LE NOMBRE DE JOINT: 0

DONNER LE PASSEUR DU JOINT (mm):

FONDATION ET TRAVAUX DE JOINT AVEC FEUILLE EVIDEE PAR LE DDA 46 V 9005

Figure 3.3: Menu étude

Vulnerability Index Program (masonry structure)

Fichier Rechercher Imprimer ?

PRECEDENT | SUIVANT | AJOUTER UNE FICHE | SUPPRIMER | ENREGISTRER | RAFFRECHIR

FICHE TECHNIQUE 1/4 | FICHE TECHNIQUE 2/4 | FICHE TECHNIQUE 3/4 | FICHE TECHNIQUE 4/4 | PARAMETRES | RAPPORT

RESISTANCE TOTALE AU CASSAILLEMENT	CLASSE 1
REGULARITE EN PLAN	CLASSE 4
REGULARITE EN ELEVATION	CLASSE 1
CONNEXIONS DE MURS	CLASSE 2
TYPES DE MURS	CLASSE 2
PLANCHERS	CLASSE 3
TOITURE	CLASSE 3
CONDITIONS DU SOL	CLASSE 3
ENTRECHOUVEMENT	CLASSE 4
MODIFICATIONS	CLASSE 1
DETAILS	CLASSE 4
MAINTENANCE	CLASSE 2

RESULTAT: 0,36

ORANGE

Figure 3.4: Détermination de l'indice de vulnérabilité.

Ainsi que d'autres menus qui sont mis à disposition de l'utilisateur tel (Fichier, Rechercher, Enregistrer) pour annuler ou accéder à une nouvelle fiche, rechercher par adresse ou enregistrer une fiche.

### 3.4.2. 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.

### 3.5. Les systèmes d'informations géographiques « SIG »

Un logiciel SIG permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement des données géographiques. De plus, il permet de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée [56].

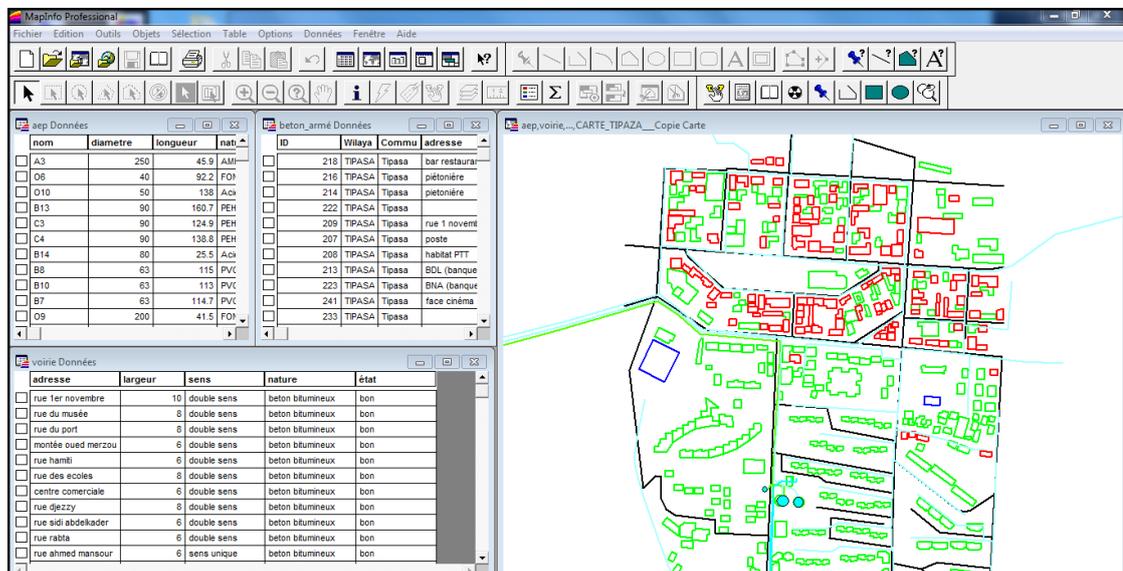


Figure 3.5: La digitalisation et base de données de chaque élément.

#### 3.5.1. Disponibilités offertes par le SIG

Ce programme permet, d'un clic sur un élément, d'afficher toutes les données relevées auparavant, y compris les photos prises sur terrain. Il est donc possible pour tous les éléments traités d'obtenir de manière intuitive le matériau, le nombre d'étage, ... Dans un second temps, les couches relatives aux divers indices recherchés peuvent être appelées,

permettant de la même manière de connaître les valeurs pour chaque élément, mais aussi et surtout de les classer sur une échelle de couleurs définie. Une telle représentation visuelle permet une compréhension rapide et claire des résultats sur l'ensemble de la zone étudiée [58].

### 3.6. Conclusion

Il existe plusieurs méthodes d'estimation de la vulnérabilité des constructions. La méthode de l'indice de vulnérabilité a fait l'objet de développement en Algérie, pour tous types de structures ainsi que pour le réseau d'AEP. Cette méthode a été programmée dans le logiciel VIP.

Le calcul de l'IV permet de classer les éléments (structure ou/et réseaux) dans l'une des trois plages de l'indice de vulnérabilité (Vert, Orange ou Rouge) que nous avons proposé, ce qui donne une indication sur l'état de l'élément et permet la prise de décision relatif à son renforcement, son remplacement ou son maintien en l'état.

Les résultats trouvés ainsi que la base de données de chaque éléments, sera digitalisé dans un SIG, qui permettra après analyse d'avoir une perspective général sur l'état de la ville et sa vulnérabilité vis-à-vis d'un séisme.

## **CHAPITRE 4**

### **ANALYSES ET RESULTATS**

#### 4.1. Introduction

La vulnérabilité sismique du tissu urbain de la ville de Tipaza a fait l'objet de notre étude.

Pour ce faire, une base de données a été établie. Plusieurs sorties sur terrain ont été nécessaires et indispensables, une tâche qui 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 ont été traitées par le programme VIP (vulnerability index program) pour déterminer l'indice de vulnérabilité de chaque élément. L'ensemble de ces données est ensuite traité et analysé au moyen d'un outil d'information géographique SIG.

#### 4.2. Délimitation de la zone d'étude

La zone d'étude (fig. 4.1) comprend le centre historique (centre-ville) considéré comme le quartier le plus ancien où la majorité des bâtiments date de l'époque coloniale qui comporte principalement des structures d'un ou de deux niveaux souvent dans un état de vétusté avancé (fig. 4.2) ainsi que de l'habitat récent. La zone comporte aussi le quartier Sud de Tipaza, qui se caractérise par un habitat hétérogène et très dense en individuel ou collectif plutôt récent (fig. 4.3) dont le gabarit varie entre deux et cinq niveaux.



Figure 4.1: Délimitation de la zone d'étude



Figure 4.2: Habitat de l'époque coloniale.



Figure 4.3: Habitat collectif récent.

Les quartiers limitrophes au centre historique se caractérisent par un habitat récent individuel et collectif en béton armé.

#### 4.3. 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 25 unités d'analyse dont chacune représente un district (fig. 4.4) identifié par son numéro.

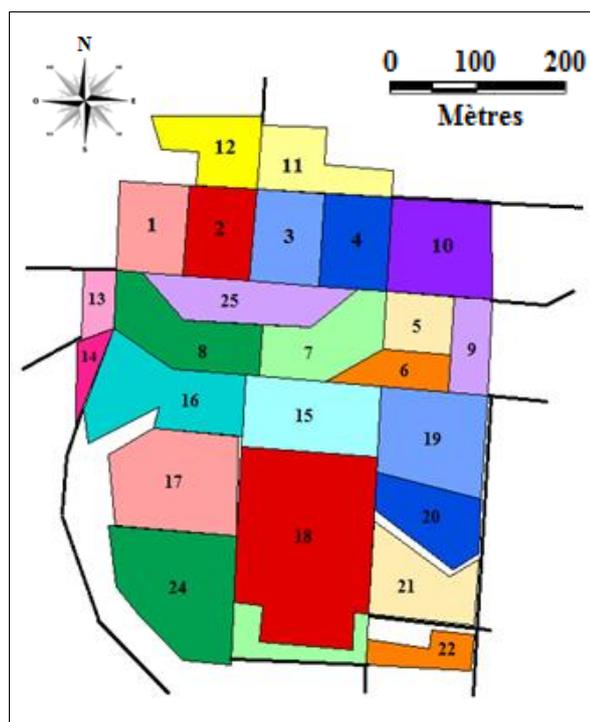


Figure 4.4: Sectorisation de la zone d'étude en districts avec leurs numéros sur SIG.

#### 4.4. Indice de vulnérabilité sismique de la ville de Tipaza

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

##### 4.4.1. Outils de travail

L'expertise par la méthode de l'indice de vulnérabilité nécessite un certain nombre de données, celles dont nous avons besoin avant la sortie sur site et celle obtenues in situ. Les données nécessaires avant la sortie sur terrain sont la vue en plan des structures pour





Figure 4.6: Image satellite.

#### 4.4.2. Récolte des données

La zone d'étude comprend un nombre total de 381 constructions. Quarante-vingt-dix (90%) des bâtiments de la zone ont été expertisés. Cet échantillon est composé de bâtiments en maçonnerie, en béton armé et en charpente métallique. Une base de données a été donc établie pour chaque bâtiment en vue d'une analyse ultérieure.

#### 4.4.3. Classes et indice de vulnérabilité des bâtiments

Les données recueillies ayant été injectées dans un outil SIG, des analyses thématiques ont été réalisées. Ainsi nous obtenons (fig.4.7), sur un nombre total de bâtiments de 381 dont 128(soit 34%) en maçonnerie, 249 (soit 65%) en béton armé et 2 (soit 1%) en charpente métallique, on a dénombré 293(soit 77%) classés 'vert', 84 (soit 22%) classés 'orange' et 2(soit 1%) classés 'rouge' (Tab 4.1, Fig. 4.8 et Fig. 4.9), selon les classements définis dans le chapitre (3).

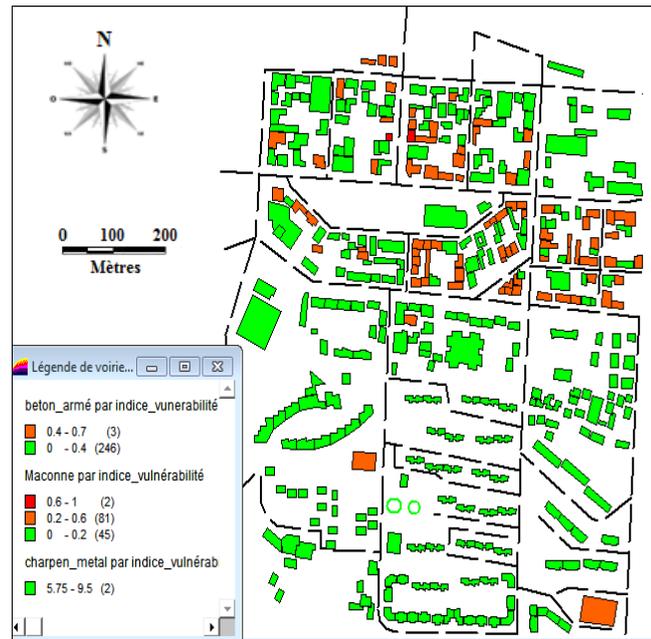


Figure 4.7: Résultats de l'analyse des bâtisses sur SIG

Tableau 4.1: Les résultats de l'analyse regroupés

(MAÇ : maçonnerie, B.A : béton armé, CM : charpente métallique)

Classe	Proportion des bâtiments en %	Nombre selon type
VERT	77 %	BA(246), MAÇ(45), CM(2)
ORANGE	22 %	BA(3), MAÇ(81),
ROUGE	1 %	MAÇ(2),

Les résultats sont représenté dans ce qui suit (Fig. 4.8 et 4.9) :

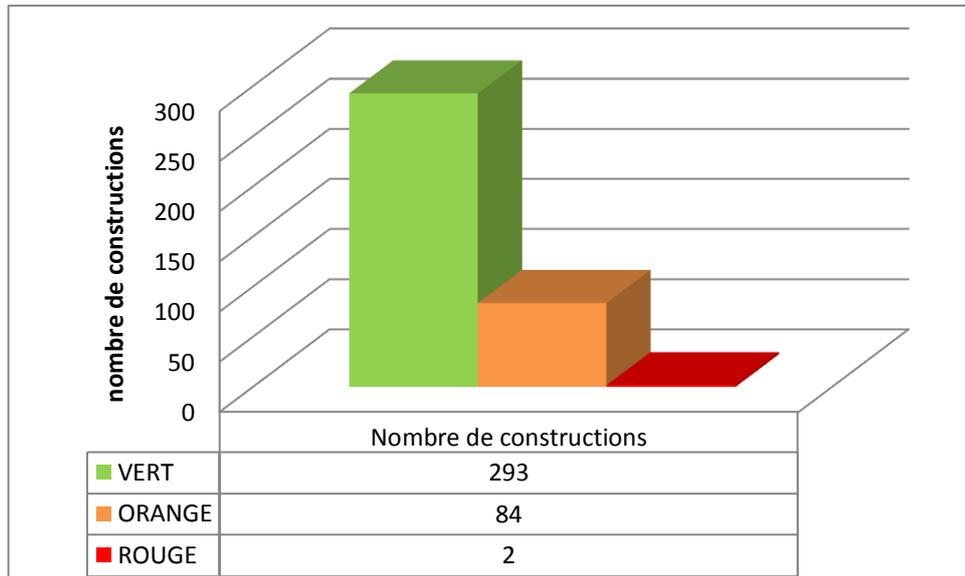


Figure 4.8 : Classes de vulnérabilité et nombre de constructions.

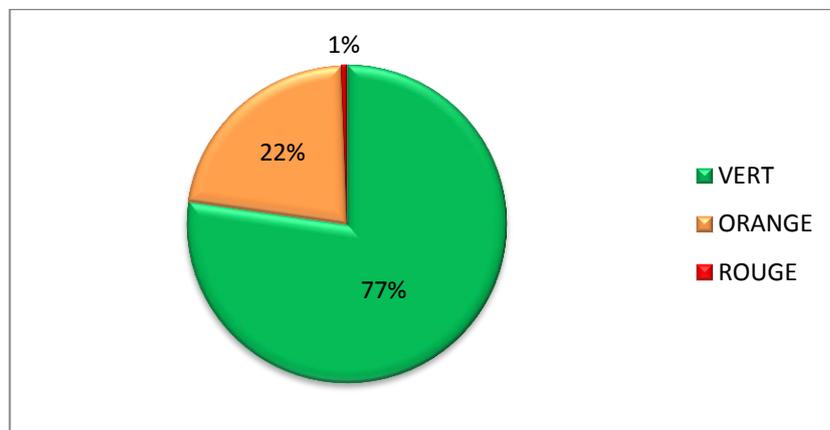


Figure 4.9: Proportion des bâtiments pour chaque classe.

### Commentaire

77% des constructions sont classé 'vert', et seulement 1% est classé 'rouge'.

Ceci s'explique pas le fait que la ville de Tipaza a connu un essor considérable ces dernières années du point de vue bâtiment, beaucoup de construction sont récente.

#### 4.4.4. Classification des bâtiments selon leurs typologies

Dans notre échantillon, nous avons 251 un ratio de 65 % pour le béton armé et 34 % pour le béton et 1% pour la charpente métallique.

La proportion du nombre appartenant à chaque classe de construction est donnée dans la figure suivante :

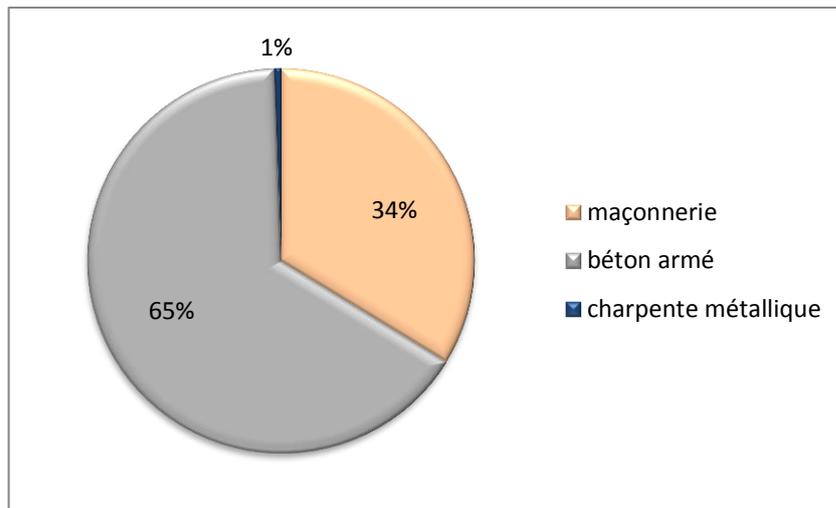


Figure 4.10: Proportion de la typologie des bâtiments du centre-ville de Tipaza.

#### 4.4.5. Classification des bâtiments selon leurs hauteurs

Nous avons défini 4 classes distinctes en fonction du nombre d'étage des bâtiments. Ces bâtiments sont pour la plupart des habitations. Les bâtiments de moins de 3 étages sont principalement des villas, des commerces ou des administrations. Le centre-ville de Tipaza n'a que très peu de constructions dépassant les 5 étages, des bâtiments de logement en général.

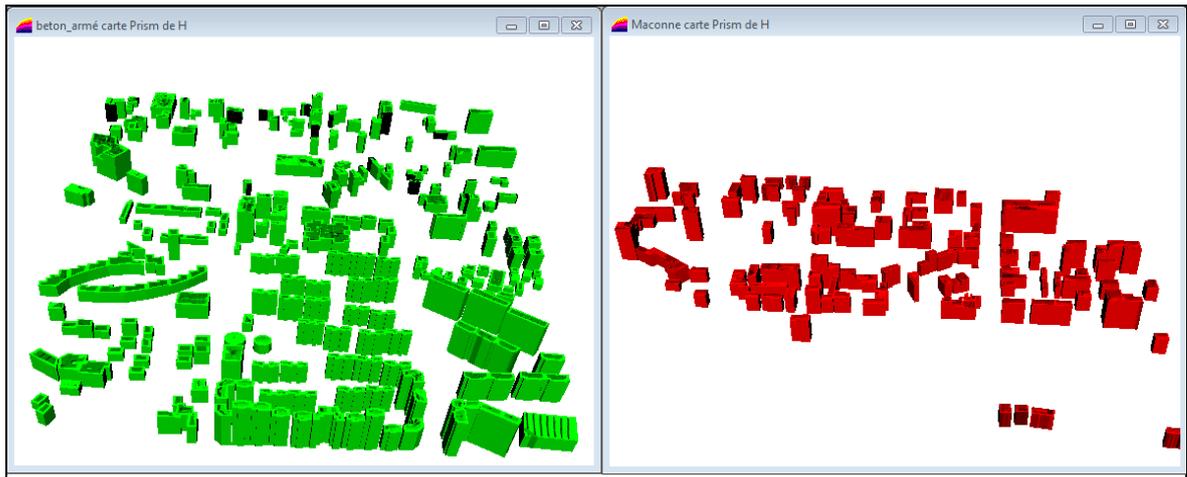


Figure 4.11: Vue en 3D des constructions en maçonnerie (rouge) et béton armé (vert).

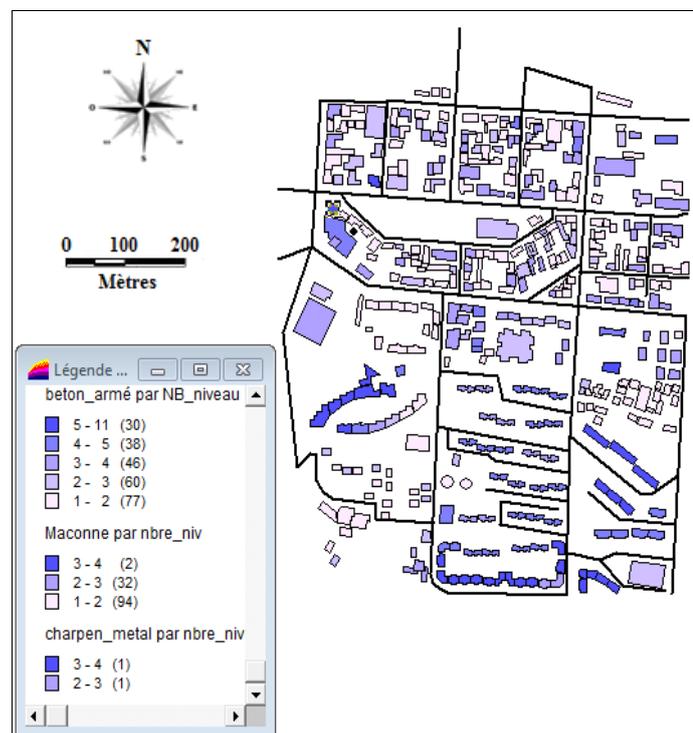


Figure 4.12: Aperçu de la zone d'étude suivant le nombre de niveau des bâtisses.

Les résultats de l'analyse sont regroupés dans le tableau suivant (Tab. 4.2 et Fig. 4.13):

Tableau 4.2 : Proportion des différents types de bâtiments selon le nombre de niveau.

nbr bâtisse nbr niveau	maçonnerie	béton armé	charpente métallique	Total
RDC	24,67 %	20,21 %	0 %	44,88 %
R+1	8,40 %	15,75 %	0,26 %	24,41 %
R+2	0,53 %	12,07 %	0,26 %	12,85 %
R+3 et plus	0 %	17,85 %	0 %	17,85 %

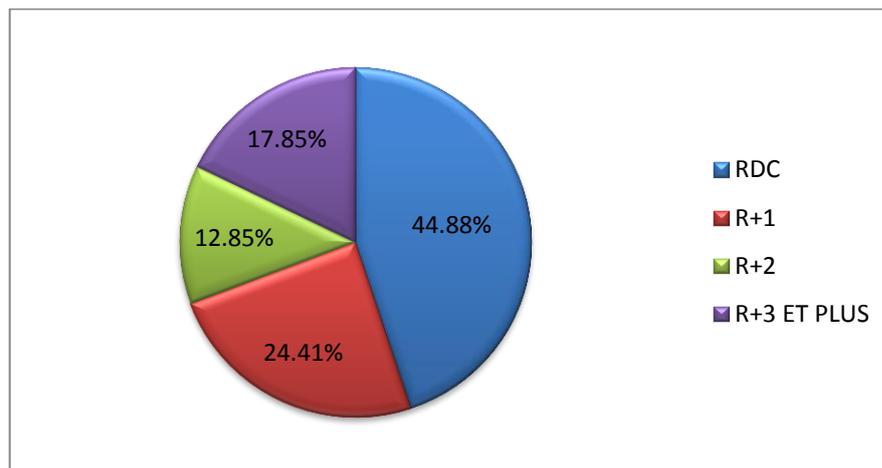


Figure 4.13: Proportion du nombre de niveau selon le nombre de bâtiments.

**Commentaire :**

Nous pouvons constater que la plupart des bâtiments (69%) ne dépassent pas le R+1, surtout en ce qui concerne les bâtiments en maçonnerie ou la majorité des constructions est en RDC.

17.85% des bâtiments seulement des bâtiments dépassent le R+3, et ils sont quasiment tous en béton armé.

Nous constatons donc que le centre-ville n'a pas beaucoup de bâtiments de grande hauteur.

4.4.6. Classification des bâtiments selon la période de construction

Comme il a été précédemment mentionné, les méthodes de détermination des indices de vulnérabilité utilisent comme paramètre la période de construction des bâtiments étudiés.

Tableau 4.3: Proportion de bâtiments suivant l'époque de construction.

type \ période	béton armé	maçonnerie	charpente métallique	nombre total
période Colonial	4 %	32.37 %	0 %	36.37 %
après 1983	18.4 %	1.31 %	0 %	19.71 %
après 1988	14.21 %	0 %	0.26 %	14.47 %
après 1999	16.05 %	0 %	0 %	16.05 %
après 2003	13.16 %	0 %	0.26 %	13.42 %

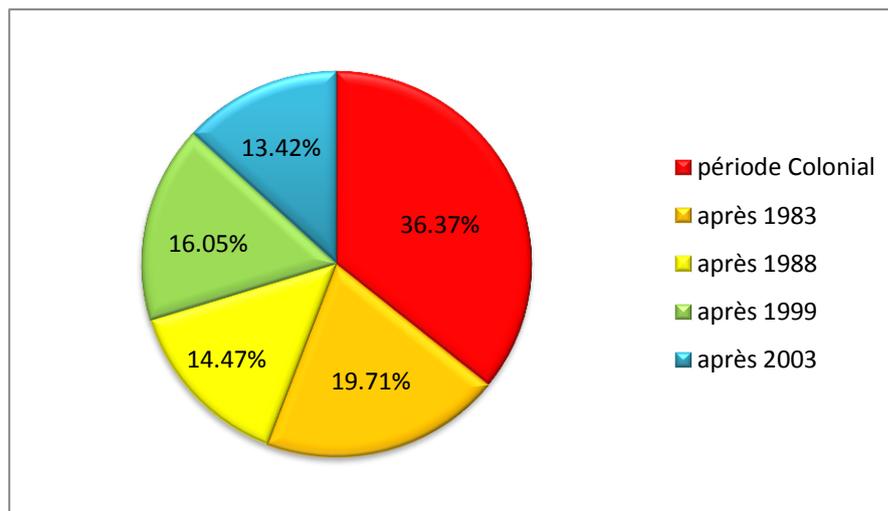


Figure 4.14: Proportion de bâtiments suivant l'époque de construction.

**Commentaire :**

Nous pouvons remarquer que la plupart des bâtiments (36.37%) ont été construits durant la période coloniale ou juste après l'apparition des premiers règlements parasismique (RPA83), surtout en ce qui concerne les constructions en maçonnerie où la quasi-totalité des bâtiments ont été construits durant la période coloniale.

Presque 30% des bâtiments ont été construits après 1999 la majorité étant en béton armé, on ne retrouve quasiment aucune construction en maçonnerie dans cette période.

#### 4.4.7. Classification des 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 assez importante dans le bâti de la ville de Tipaza (34 %). Une attention particulière est donc nécessaire dans le but de classer et répertorier ces structures en fonction de leur vulnérabilité sismique.

##### 4.4.7.1. Classification selon le nombre d'étages des bâtiments en maçonnerie

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 (Tab. 4.4).

Tableau 4.4: Proportion de bâtiments et leur pourcentage en fonction du nombre d'étage.

Niveau des Bâtisses	Nombre de Bâtisses	Pourcentage
R+0	94	73%
R+1	32	25%
R+2et plus	2	2%

Une représentation est établie ci-dessous donnant le nombre de bâtiments (Fig. 4.15) et leur pourcentage en fonction du nombre d'étages (Fig. 4.16).

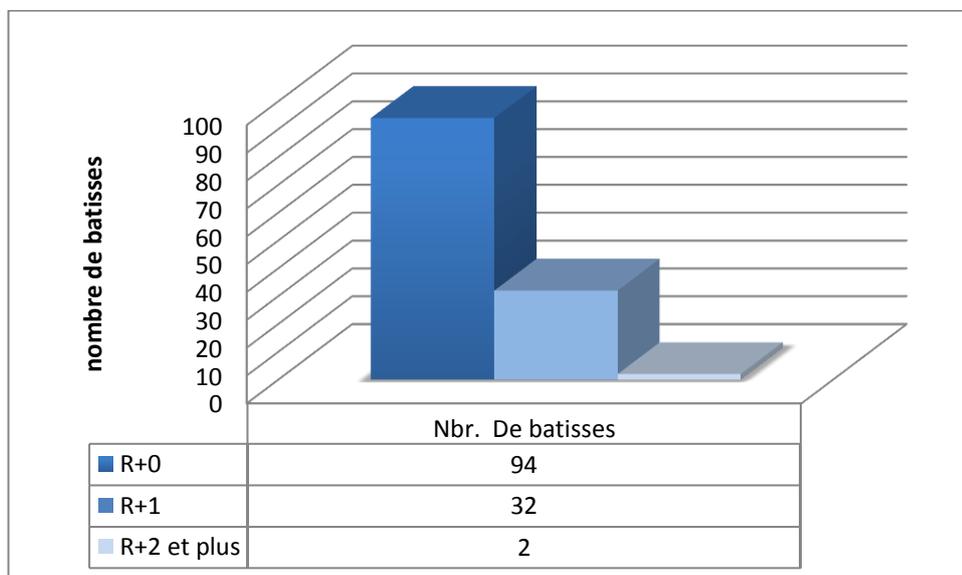


Figure 4.15: Nombres de bâtiments en maçonnerie en fonction du nombre d'étages.

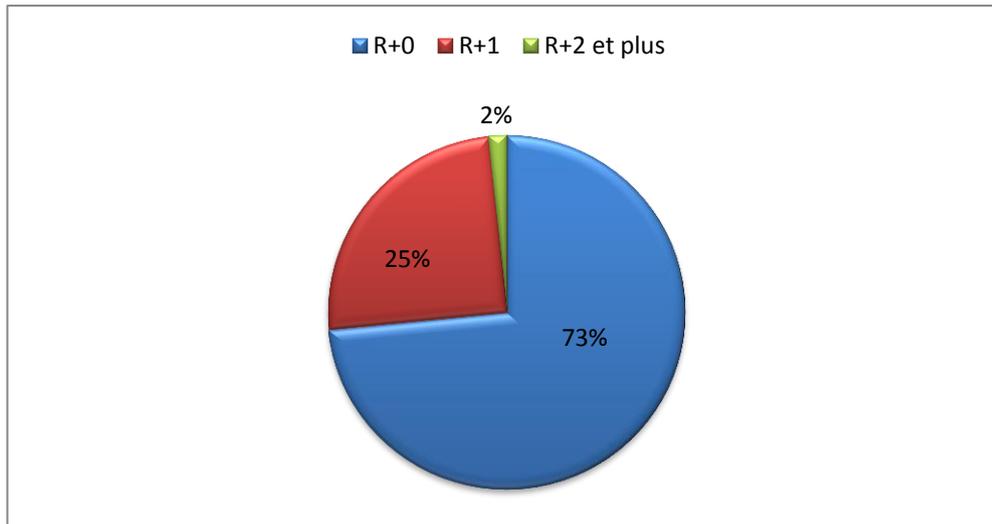


Figure 4.16: Pourcentage des bâtiments en maçonnerie pour chaque nombre d'étages.

#### Commentaire :

Les bâtiments en (R+0) et (R+1) occupent à eux seuls près de 98 % du parc immobilier. Les bâtiments en (R+2) ne représentent que 2 %. Quant aux bâtiments en (R+3 et +) ils sont inexistant dans la ville.

#### 4.4.7.2. Indice de vulnérabilité des bâtiments en maçonnerie

L'analyse thématique effectuée sur SIG a donné les résultats suivants (Fig. 4.18 et 4.17) :

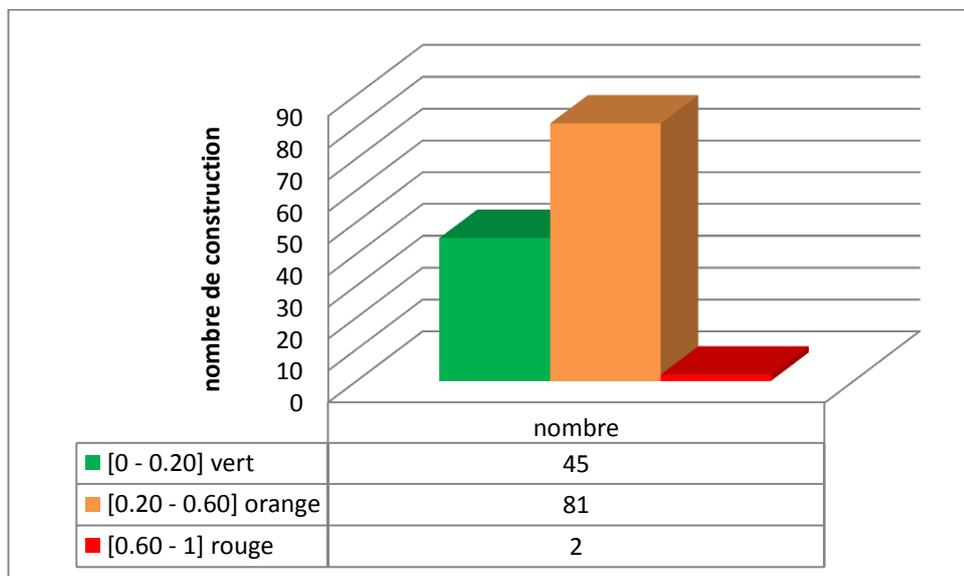


Figure 4.17: Classes de vulnérabilité et nombre de bâtiments en maçonnerie.

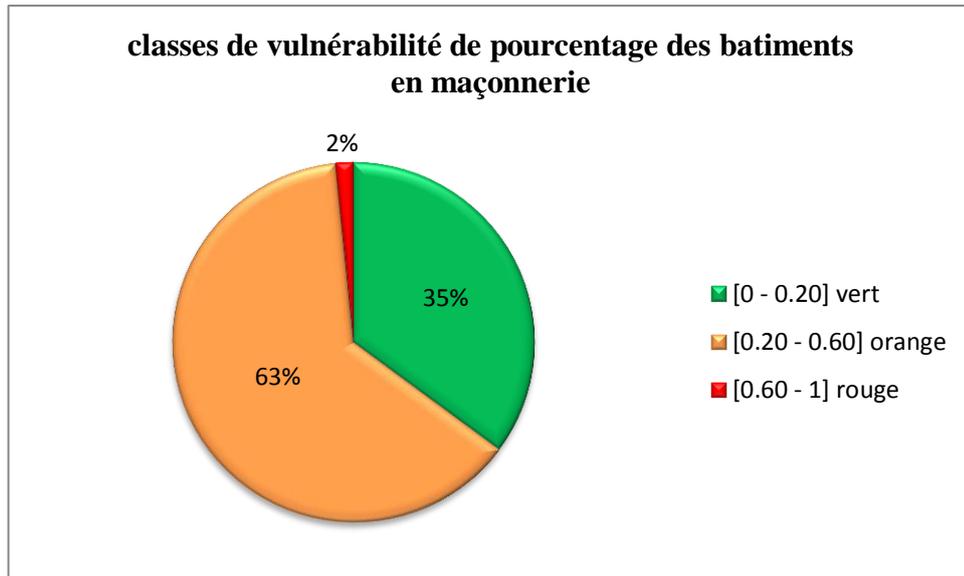


Figure 4.18: Classe de vulnérabilité et pourcentages des bâtisses en maçonnerie.

**Commentaire :**

Presque tous les bâtiments en maçonnerie (65 %) de cette zone sont classés ‘orange’ ou ‘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 Tipaza est particulièrement vulnérable.

4.4.7.3. Indice de vulnérabilité des bâtiments en maçonnerie par rapport à leurs hauteurs

En regroupant les résultats des deux tableaux précédents nous obtenons les résultats suivants: (Tab. 4.5 et Fig. 4.19).

Tableau 4.5: Classification des bâtiments en maçonnerie selon leurs indices de vulnérabilité et leurs nombre d'étages.

Nbr. d'étages	Plages de IV			Nbr. bâtisses
	[0 - 0,20]	[0,21 – 0,60]	[0,61 – 1]	
R+0	33.59 %	39.06 %	0.78 %	73.43 %
R+1	6.25 %	17.97 %	0.78 %	25 %
R+2 et plus	0 %	1.57 %	0 %	1.57 %
	39.84 %	58.6 %	1.56 %	

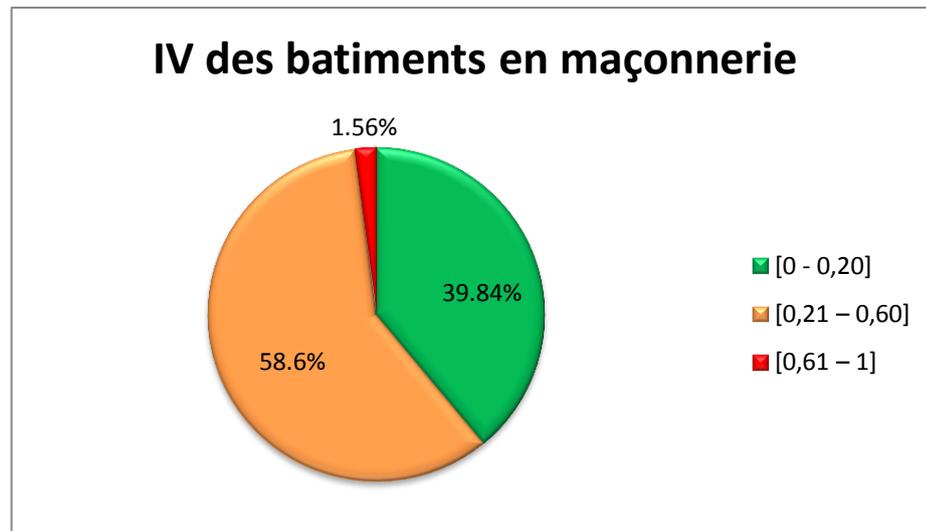


Figure 4.19: Proportion des bâtiments en maçonnerie selon leurs classes de vulnérabilité.

### Commentaire

Nous constatons tout d'abord que la majorité des constructions en maçonnerie (73.43%) sont en RDC uniquement (1 seul niveau), seuls 1.57% des bâtiments ont plus de 2 étages.

En ce qui concerne l'indice de vulnérabilité, 60% des bâtiments sont classés vulnérables (58.6% « orange », 1.57% « rouge »), ce qui constitue un réel danger pour les habitants de ces bâtisses.

Notons que 39.84% des bâtisses sont classées « vert » vu que la majorité des bâtiments en maçonnerie ici ne sont pas très élevés.

#### 4.4.8. Classification des bâtiments en béton armé

Dans ce qui suit on s'intéresse à l'indice de vulnérabilité sismique des bâtiments en béton armé. Ces bâtiments présentent la majorité du bâti du centre-ville de Tipaza (66 %). Ce type de bâtiment est plus récent par rapport à la maçonnerie, et est réputé être mieux résistant au séisme, c'est ce que nous allons voir dans ce qui suit.

##### 4.4.8.1. Classification selon le nombre d'étages des bâtiments en béton armé

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 (Tab. 4.6).

Tableau 4.6: Proportion de bâtiments et leur pourcentage en fonction du nombre d'étage.

Niveau des Bâtisses	Nombre de Bâtisses	Pourcentage
R+0	77	30.68%
R+1	60	23.90%
R+2	46	18.33%
R+3 et plus	68	27.09%

Une représentation est établie ci-dessous donnant pourcentage des bâtiments en fonction du nombre d'étages (Fig. 4.20 et 4.21).

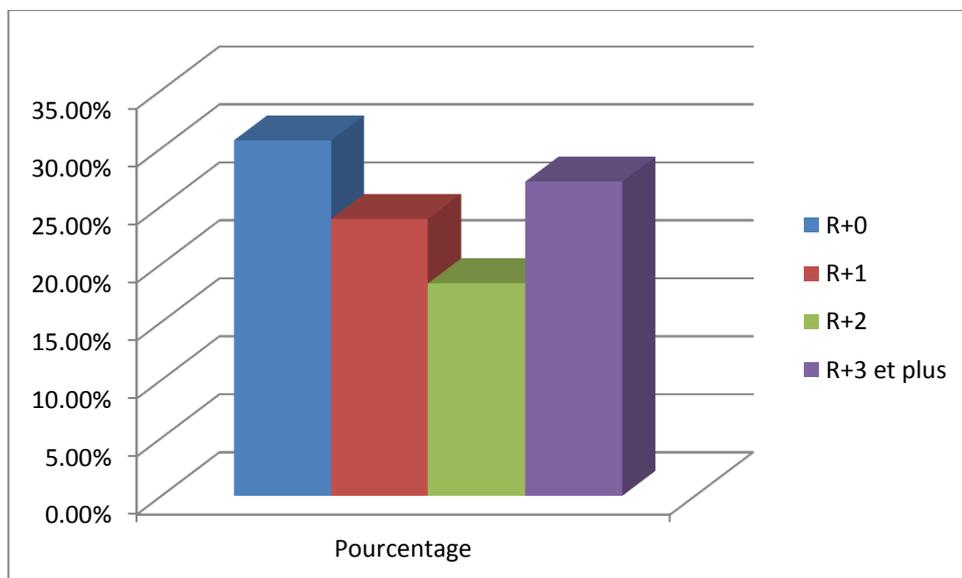


Figure 4.20: Pourcentage des bâtiments en béton armé pour chaque nombre d'étages

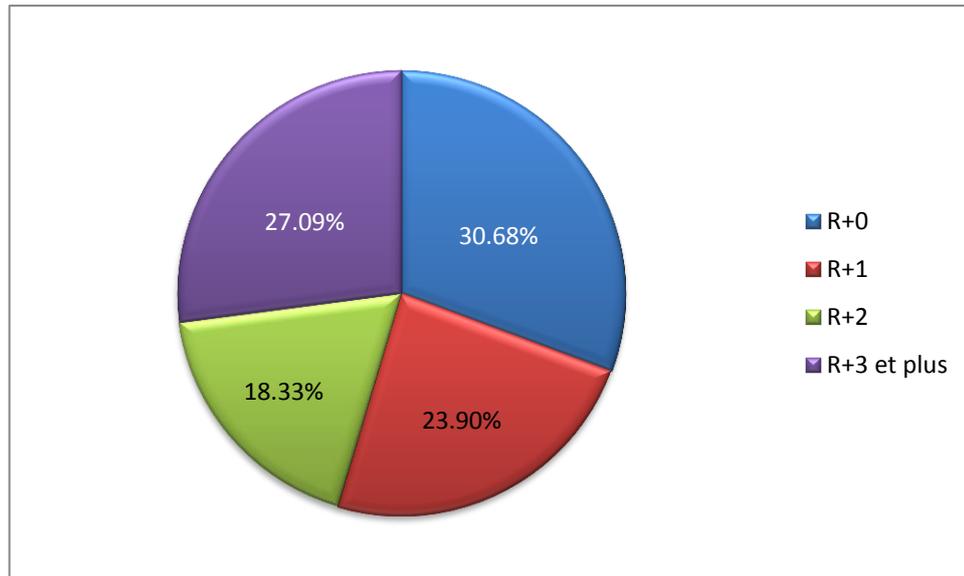


Figure 4.21: Proportion des bâtiments en béton armé pour chaque nombre d'étages.

#### Commentaire :

On remarque qu'il existe différents niveaux de bâtiments, à la différence des bâtisses en maçonnerie, on constate qu'il y'a des bâtiments de hauteurs importantes, on trouve même certains qui dépassent les 4 niveaux (27.09%), ce qui permet une grande densité de population dans de petites zones.

#### 4.4.8.2. Indice de vulnérabilité des bâtiments en béton armé

L'analyse thématique effectuée sur SIG a donné les résultats suivants (Tab. 4.7 et Fig.4.22).

Tableau 4.7: Indice de vulnérabilité des bâtiments en béton armé.

Nbre. bâtiments en béton armé	Plages de IV		
	[0 - 0,40]	[0,40 – 0,70]	[0,70 – 1]
	99 %	1 %	0 %

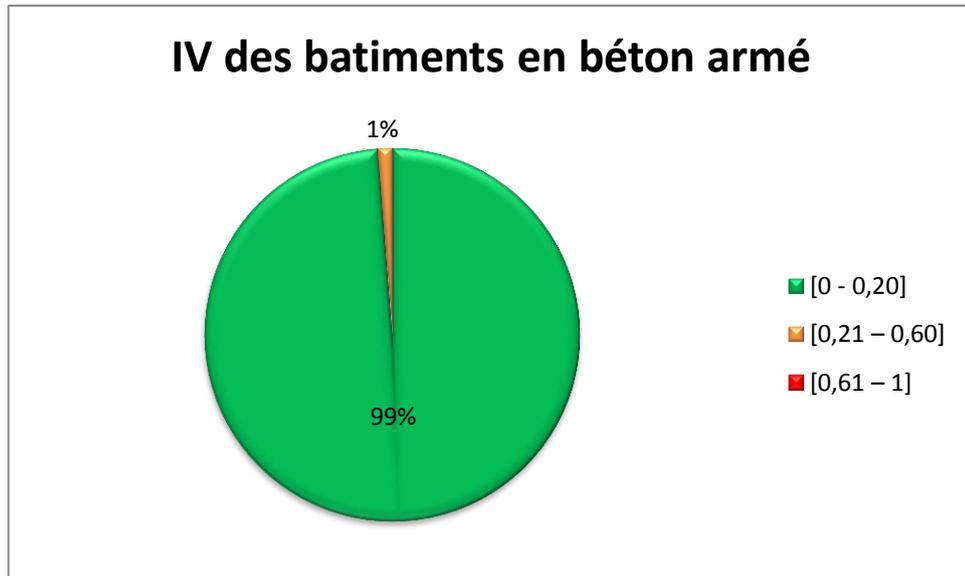


Figure 4.22: Indice de vulnérabilité des bâtiments en béton armé.

**Commentaire :**

Dans cette typologie, quasiment toutes les structures sont classées ‘vert’ du fait que dans notre base de données, les bâtiments en béton armé sont pratiquement tous récents, cela nous rassure sur la capacité de résistance de ce type de bâtiments.

4.4.9. Vulnérabilité du réseau d’alimentation en eau potable « AEP »

Nous avons étudié aussi la vulnérabilité du réseau d’AEP de la ville de Tipaza. Sur la figure suivante nous montrons la faille de Chenoua et sa localisation par rapport à la ville de Tipaza.

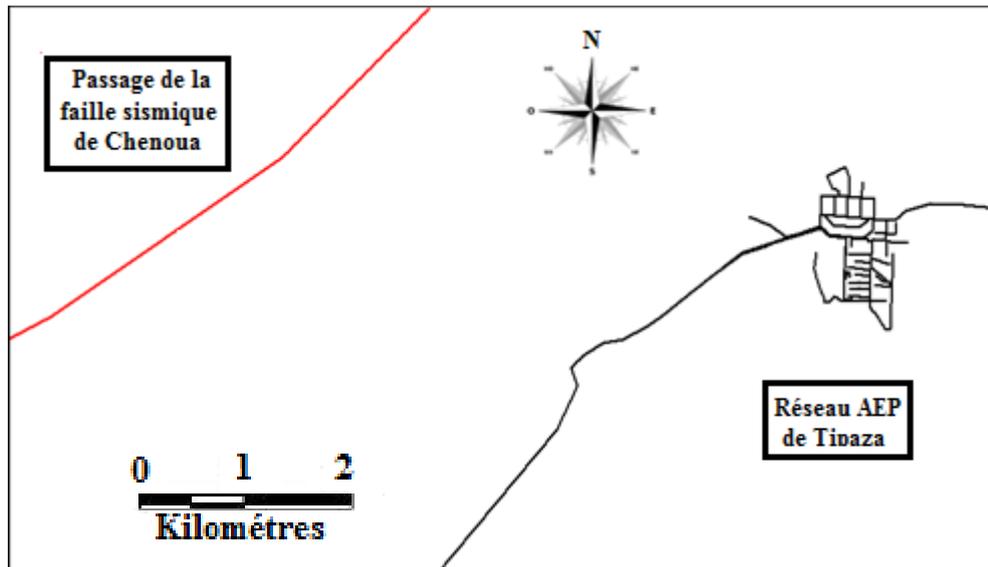


Figure 4.23: Passage de la faille sismique de Chenoua par rapport au réseau AEP de Tipaza.

Nous remarquons que la faille est située à 3.8 Km au Nord-Ouest de la ville, donc elle ne coupe le réseau en aucun point.

#### 4.4.9.1. Classes et indice de vulnérabilité du réseau AEP

L'analyse thématique effectuée sur SIG a donné les résultats suivants (Fig. 4.24) :

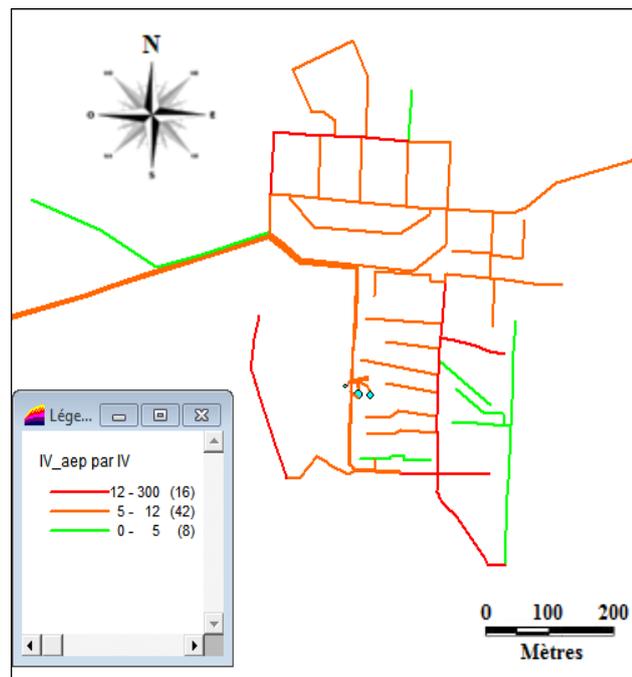


Figure 4.24: Résultats de l'analyse du réseau AEP sur SIG.

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant (Tab 4.8) :

Tableau 4.8 : Indice de vulnérabilité du réseau d'AEP

intervalle	longueur (m)	Pourcentage %	Couleur
[0-5]	2322.3	12.67%	Vert
[5-12]	14343.4	78.24%	Orange
[12 >]	1665.5	9.09%	Rouge

Des représentations sont établies ci-dessous donnant le taux (Fig. 4.25) ainsi que les longueurs des conduites (Fig. 4.26) en fonction de leurs indices de vulnérabilité.

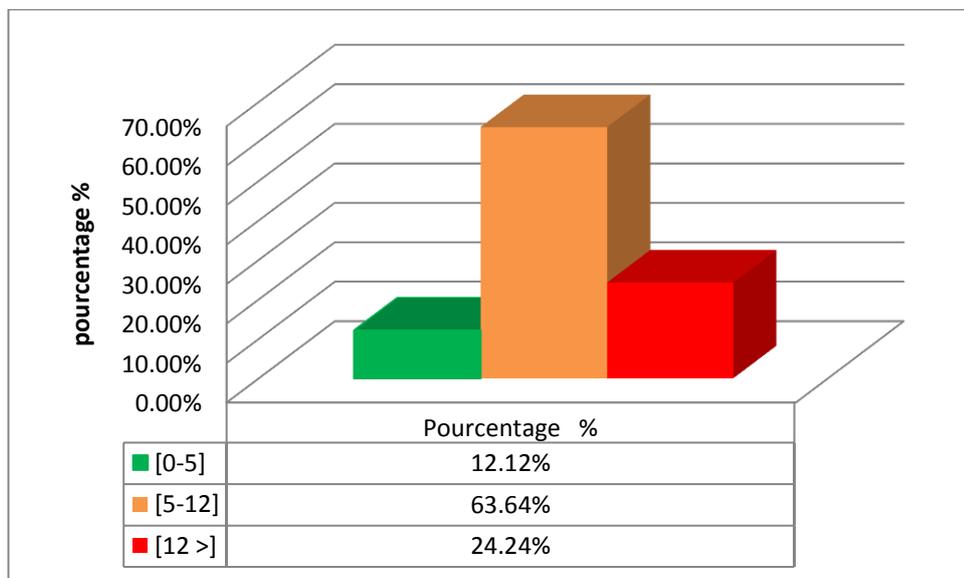


Figure 4.25: Résultats de l'analyse du réseau d'AEP.

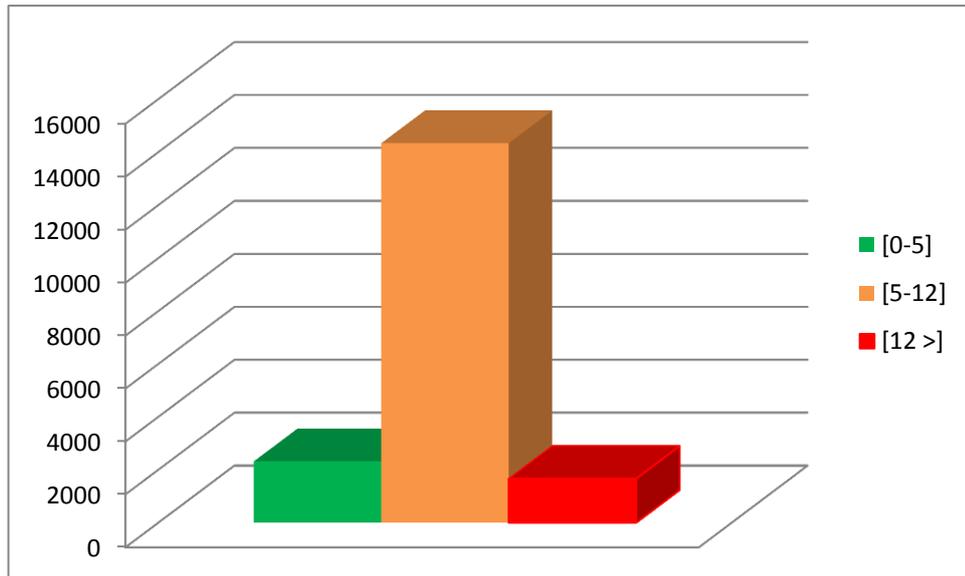


Figure 4.26: Résultats de l'analyse du réseau selon les longueurs des conduites.

### Commentaire

Nous constatons tout d'abord que la majorité du réseau est vulnérable, plus de 80% du réseau est classé entre 'orange' et 'rouge', ce qui signifie que lors d'un fort séisme, la majorité de la ville sera probablement privé d'eau potable, et les routes pourront être endommagé après l'éclatement des conduites.

#### 4.4.9.2. Différents types de conduites du réseau AEP de Tipaza

Comme dans tout réseau d'une ville, on trouve différents type de conduite à différents diamètres, cela est dû à l'apparition de nouveau matériaux avec le temps, le tableau suivant (Tab. 4.9) nous donne un aperçu des différents matériaux du réseau d'AEP de la ville et de leur proportion.

Tableau 4.9: Proportion du type de conduite du réseau AEP.

type	amiante ciment	fonte (m)	PVC (m)	acier galvanisé	PEHD (m)	acier (m)	total
longueur (m)	10271	5458.9	1032.1	540.9	561.9	466.4	18331.2
pourcentage	56%	30%	6%	3%	3%	3%	100%

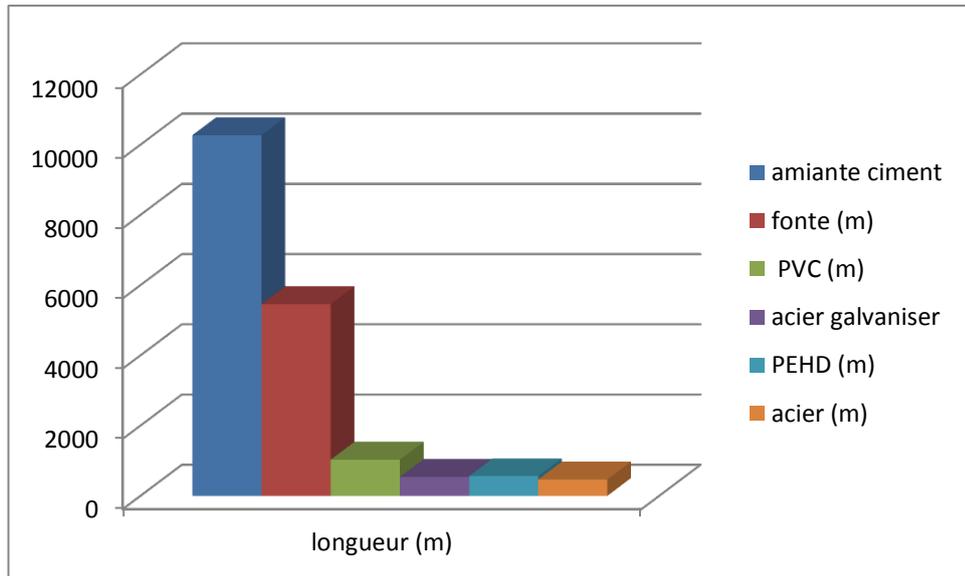


Figure 4.27: Longueur des conduites selon leurs types.

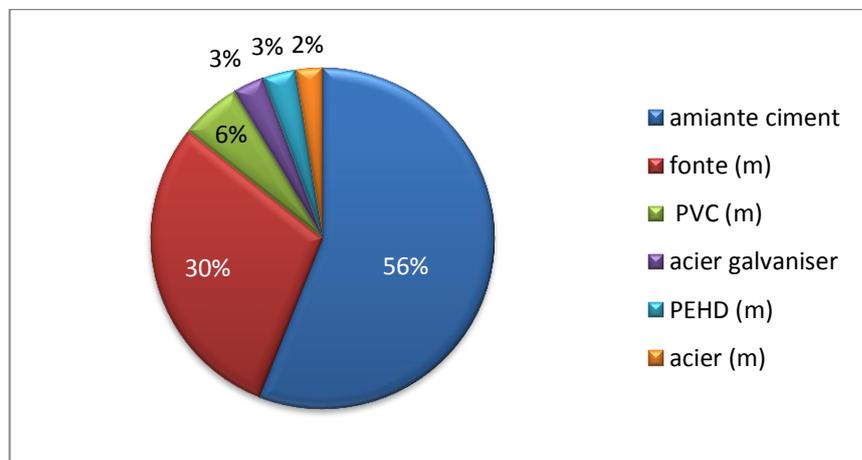


Figure 4.28: Proportion du type de conduite du réseau AEP.

### Commentaire

Nous constatons que plus de la moitié du réseau (soit 56%) est en amiante ciment et 30% est en fonte. Pour les conduites en PEHD ou en PVC, on les trouve en des proportions assez faible, sachant que ce sont de nouveau matériaux utilisé pour les canalisations.

#### 4.4.9.3. Indice de vulnérabilité par rapport au type de matériaux des conduites

La Figure suivante représente les pourcentages de chaque catégorie de conduite en fonction de sa vulnérabilité sismique.

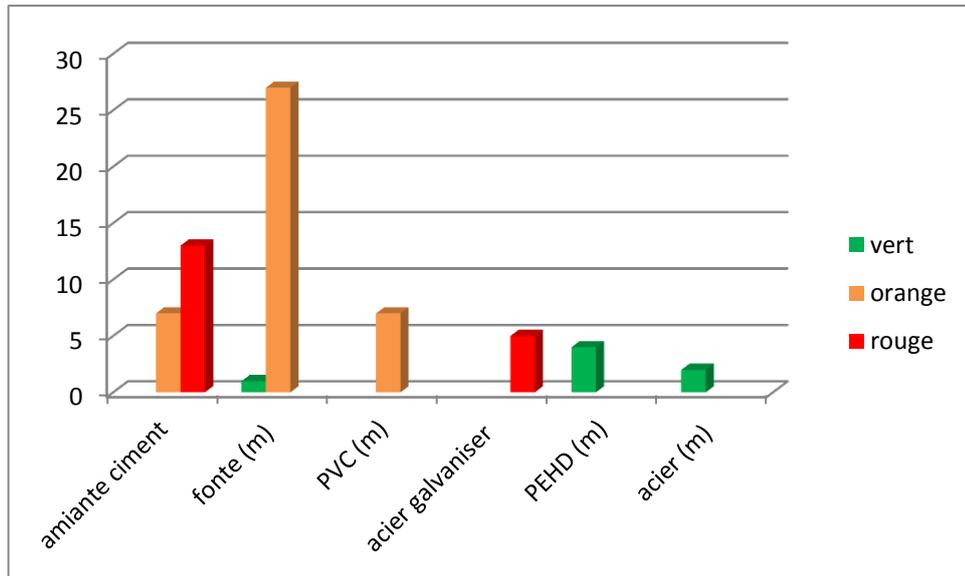


Figure 4.29: Indice de vulnérabilité par rapport au type de matériaux des conduites.

Tableau 4.10: Proportion de l'indice de vulnérabilité pour chaque type conduite.

Type	amiante ciment	fonte	PVC	acier galvanisé	PEHD	acier
VERT	0%	3%	0%	0%	100%	100%
ORANGE	35%	97%	100%	0%	0%	0%
ROUGE	65%	0%	0%	100%	0%	0%

### Commentaire

Nous constatons que les conduites de type acier galvanisé (100% rouge) et PVC (100% orange) sont les plus vulnérables suivies des conduites de types amiante ciment (97% orange) et en fonte (65% orange) qui sont aussi vulnérables, par contre les conduites en PEHD et en acier donnent de meilleures résistances aux sollicitations (100% vert).

A ce jour, la commune de Tipaza est en phase de renouvellement du réseau de la ville en utilisant de nouveaux matériaux qui ont un meilleur comportement.

#### 4.4.9.4. Indice de vulnérabilité par rapport au diamètre des conduites

Dans ce qui suit, nous allons voir l'indice de vulnérabilité des conduites selon leurs diamètres. (Fig. 4.28).

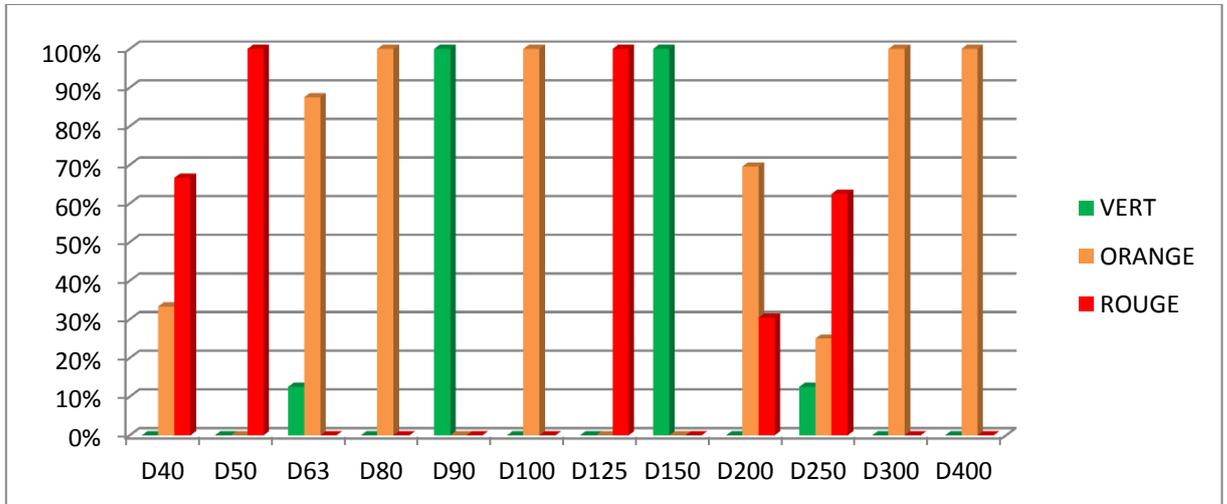


Figure 4.30: Indice de vulnérabilité par rapport au diamètre des conduites.

#### Commentaire

Nous constatons que la majorité des diamètres sont plutôt vulnérable étant classé 'orange' ou 'rouge', ce qui nous donne comme information que les petits (D40 à D150) et moyens diamètres (D200 à D400) dans les conduites sont vulnérable.

#### 4.4.10. Etude du réseau routier de la ville de Tipaza

Le deuxième réseau vital étudié est le réseau routier, cependant, nous allons nous baser uniquement sur l'état et les largeurs des routes qui donnera une idée sur la fluidité du réseau lors d'une catastrophe.

##### 4.4.10.1. Largeur des routes

Les routes du centre-ville ont été construites pendant la période coloniale, de ce fait, les largeurs correspondaient au trafic automobile de l'époque, ce qui pourra constituer un problème majeur lors des catastrophes.

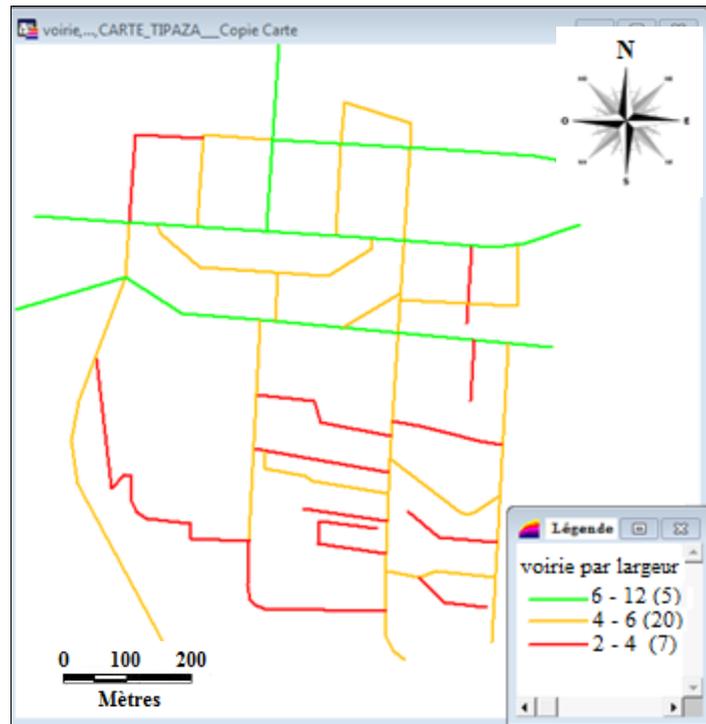


Figure 4.31: Différentes largeurs des routes du réseau de Tipaza.

Tableau 4.11: Proportions des largeurs des routes du réseau de Tipaza.

Largeur des routes (m)	Pourcentage
[2 - 4]	22%
[4 - 6]	63%
[6 - 12]	16%

### Commentaire

Nous constatons que la plupart (85%) des routes ne dépassent pas 6m de largeur, dont 22% qui ne dépasse pas les 4m, cela avec l'augmentation du trafic routier ces dernières années, après les nouvelles extensions de la ville. Dans les situations d'urgence, on risque d'avoir des routes coupé par la chute d'immeubles ou du moins des difficultés majeures pour le déplacement des secours dans certaines du centre-ville.

#### 4.4.10.2. Etat du réseau routier de Tipaza

Le réseau routier du centre-ville de Tipaza d'une longueur de 9112 m est une chaussée souple couverte dans sa quasi-totalité d'un béton bitumineux (Fig. 4.32).

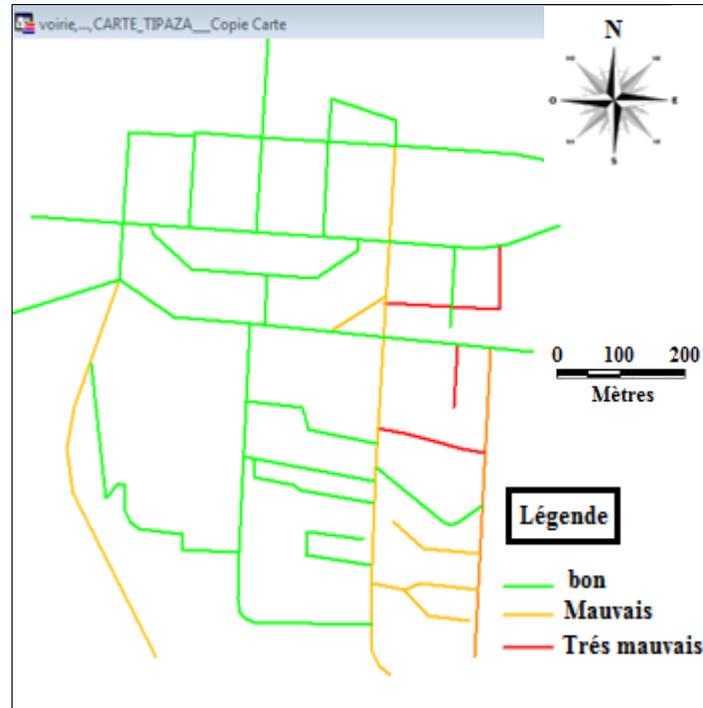


Figure 4.32: Etat du réseau routier de Tipaza.

Tableau 4.12: Proportions des longueurs des routes par rapport à leurs états.

Etat des routes	Longueur des routes (m)	Pourcentage
Bon	5987	65.71 %
Mauvais	2632	28.88 %
Très mauvais	493	5.41 %

#### Commentaire

Nous constatons que le réseau routier est plutôt en bon état dans sa majorité (soit 65.71%), ce qui permet une circulation rapide pour les secours en cas de catastrophe. Cependant, il y'a des parties coté Est (soit 5.41%) du réseau qui devons être refaites. Le reste (28.88%) est encore praticable.

#### 4.4.10.3. Sens de circulation du réseau routier

Le sens de la circulation est aussi important, il permettra déjà d'avoir une idée sur les zones difficilement accessible (Fig. 4.33).

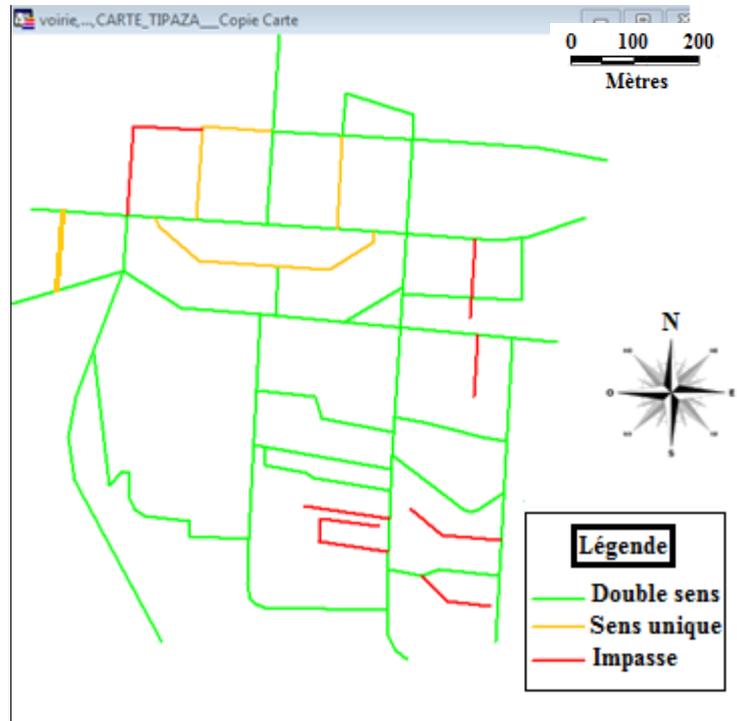


Figure 4.33: Sens de circulation du réseau routier.

Tableau 4.13: Pourcentages des routes selon leurs sens de circulation

Sens de circulation	Nombre de routes	Longueur des routes (m)	Pourcentage
Double sens	22	7437	81.62 %
Sens unique	3	691	7.58 %
Impasse	6	768	8.43 %
Piétonnière	1	216	2.37 %

#### Commentaire

Nous remarquons qu'il y'a quelques impasses (6 ce qui représente 8.43% du réseau), on a aussi des routes à un sens unique (3 ce qui représente 7.58% du réseau) ce qui pourra compliquer la circulation rapide des secours en cas de catastrophe.

#### 4.4.11. Zones les plus vulnérables de la ville de Tipaza

En regroupant les résultats des analyses des 3 thèmes étudiés (bâtiments, réseau AEP, et réseau routier), nous obtenons la carte suivante (Fig. 4.34) qui nous permet de définir les zones les plus sensible et les plus vulnérable aux séismes de la ville de Tipaza.



Figure 4.34: Zones les plus vulnérables de la ville de Tipaza.

Tableau 4.14: Zones les plus vulnérables du centre-ville de Tipaza par ilots.

Ilots	Etat des bâtiments			Etat du réseau AEP			Etat des routes		
	vert	orange	rouge	vert	orange	rouge	vert	orange	rouge
1	16	2	0	0	2	2	2	1	1
2	15	3	1	0	3	1	0	2	2
3	15	11	1	0	3	1	0	1	3
4	16	5	0	0	4	0	0	2	2
5	8	11	0	0	4	0	0	2	2
6	5	9	0	0	4	0	0	3	1
7	12	21	0	0	4	0	0	4	0
8	20	6	0	0	4	0	0	3	1
9	3	8	0	0	4	0	0	2	2
10	14	0	0	0	2	0	0	2	1
12	0	3	0	0	4	0	0	0	1
13	4	2	0	0	4	0	2	1	1
14	5	0	0	1	1	0	1	2	0
15	20	1	0	0	3	1	1	2	0
16	16	0	0	0	2	0	0	2	0
17	13	1	0	0	1	0	1	1	0
18	30	2	0	0	7	1	5	3	1
19	28	0	0	2	2	2	2	2	1
20	9	0	0	2	0	2	1	3	0
21	8	0	0	4	0	1	1	3	0
22	5	1	0	1	0	2	1	2	0
23	17	0	0	0	2	2	1	2	0
24	13	0	0	0	1	1	2	1	0

### Commentaire

Les zones encadrées en bleu (ilots 3, 5, 6, 7 et 9) seront les zones les plus vulnérables dans le cas d'un séisme, elles sont les plus susceptibles d'avoir des dommages dans les structures en plus de leurs réseaux vitaux. Elles seront des zones à première nécessité lors des secours vu qu'elles présentent des indices de vulnérabilité élevés dans les trois cas étudiés (bâtiments, réseau AEP et réseau routier), il pourra donc y avoir des dégâts dans les constructions, des coupures d'eau et des difficultés d'accès aux secours.

Nous remarquons que ces zones se trouvent dans l'ancienne ville qui est le noyau central de Tipaza, et plus nous nous éloignons de ce noyau plus le risque diminue.

#### 4.7. Conclusion

Les résultats obtenus nous donnent une idée sur la vulnérabilité globale de la ville vis-à-vis de l'action sismique, nous pouvons ainsi cerner les zones les plus à risque. Nous avons aussi mis en évidence le bâti ainsi que les canalisations les plus vulnérables permettant ainsi une estimation chiffrée des dommages qui pourraient résulter d'un tremblement de terre.

Cette étude peut être utilisée pour réduire le risque sismique et intervenir sur les éléments à risque surtout qu'une hiérarchisation des interventions peut être aussi déduite des résultats présentés.

## CONCLUSION GENERALE

Afin de réduire la vulnérabilité sismique d'un tissu urbain, il faut disposer d'un outil de diagnostique fiable.

Dans ce contexte, nous avons optés pour la méthode de l'indice de vulnérabilité afin de diagnostiquer les constructions et le réseau d'AEP de la ville de Tipaza. A cet effet, le programme nommé VIP (Vulnerability Index Program) a été utilisé. Ce programme prend en considération les aspects liés au contexte algérien (réglementation parasismique algérienne, paramètres déduit du retour d'expérience). Il permet de classifier les constructions expertisées ainsi que les conduites du réseau AEP, en fonction de leurs degrés de vulnérabilité vis-à-vis du séisme. 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.

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

- Une analyse thématique: portant sur le recensement de l'habitat (dans 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, la typologie du réseau AEP, et sa vulnérabilité, ainsi que les largeurs et la qualité des routes du réseau.
- Une analyse spatiale: portant sur l'établissement de cartes géo référencées qui précisent la zone d'étude, la toponymie, la sectorisation, la localisation des zones les plus vulnérables en prenant en compte les trois paramètres (bâtiment, réseau AEP, réseau routier).

Les résultats les plus importants obtenus après ces analyses sont :

- La proportion des bâtiments classés 'orange' et 'rouge' représente 79 % du nombre total des constructions, une proportion extrêmement importante. Ce qui conduit à

affirmer que le parc immobilier du centre-ville de Tipaza présente une grande vulnérabilité, vis-à-vis des séismes.

- Nous constatons aussi que la majorité du réseau est vulnérable, plus de 80% du réseau est classé entre 'orange' et 'rouge', ce qui signifie que lors d'un séisme fort, la majorité du centre-ville sera probablement privé d'eau potable, et les routes seront sérieusement endommagé après l'éclatement des conduites
- les zones ou les bâtiments seront les plus endommagé ont été identifiées. Aussi, la ville risque d'enregistré une sérieuse pénurie en eau potable si les conduites ne seront pas renouvelé en sa majorité en utilisant des matériaux adéquat.

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.

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. La mise en place d'un plan de mitigation du risque put aussi faire l'objet d'étude.

## REFERENCES

1. AFPS, « Vulnérabilité Sismique du Bâtis Existant: approche d'ensemble », Cahier Technique n°25, France, (2005).
2. Schmid, M., et Hegg, C., « Le rôle de la science dans la gestion des dangers naturels et des risques majeurs : Compétences scientifiques en Suisse et au sein de la Genève internationale », Série PLANAT (Plate- forme National Dangers naturels), Vol. 1, (2006).
3. Nations Unis (N U), « Vulnérabilité des grandes villes aux catastrophes naturelles », Rapport, (1998).
4. Garcia, J.F., « Elaboration d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments », PFE, INSA Strasbourg, (Juillet 2007).
5. Giovinazzi, S., "The Vulnerability Assessment And The Damage Scenario In Seismic Risk Analysis", these de PH D, Technical University Carolo-Wilhelmina at Braunschweig et University of Florence, (2005).
6. Musson, R.M.W., Grünthal, G., Stucchi, M., "The Comparison of Macroseismic Intensity Scales", J. Seism, (2009).
7. European Seismological Commission (E S C), « L'Echelle Macrosismique Européenne EMS98 », Edition Française A. Levert, Luxembourg, (2001).
8. Lang, K., "Seismic Vulnerability of Existing building", Thèse de doctorat, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Swiss, (2002).
9. Richter, C. F., "Elementary Seismology", W. H: Freeman, San Francisco, (1958).
10. Oyo Corporation, Radius methodology, IDNDR, (1999).
11. Eidinger, JM., Young, JA., "Preparedness, performance and mitigation for EBMUD water distribution system for scenario earthquakes", Proceedings of National Earthquake Conf., Central US Earthquake Consortium, Memphis, p 615-623, Vol. II. (1993).

12. Shinozuka, M., “Systems analysis for Memphis Light, gas and water. Research Accomplishments”, 1986-1994: NCEER, State Univ. of New York at Buffalo, (1994), p. 197-206.
13. Shinozuka, M., Chang, S.E., Eguchi, R.T., Abrams, D.P., Hwang, H.H.M. et Rose, A., “Advances in Earthquake Loss Estimation and Application to Memphis”, Tennessee, Earthquake Spectra, Vol. 13, No. 4, (1997), pp. 739-758,
14. ATC 13, “Earthquake damage evaluation data for California”, Applied Technology Council, Redwood City, California, (1987).
15. Toprak, S., “Earthquake effects on buried lifeline systems”, Doctorate Thesis, Faculty of the Graduate School of Cornell University, 1998.
16. Federal Emergency Management Agency (FEMA), “Earthquake loss estimation methodology HAZUS technical volumes”, NIBS Document number 5201, National Institute of Building Sciences, (1997).
17. Federal Emergency Management Agency (FEMA), “Estimating earthquake losses with HAZUS”, Federal Emergency Management Agency, (2000).
18. Risk-UE, “An advanced approach to earthquake risks scenarios with to applications different European towns, WP4: Vulnerability of current buildings”, (2003).
19. Belhouane, I., « Détermination des courbes de vulnérabilité pour les structures de béton arme en Algérie », Thèse de Doctorat, ENSTP, (Septembre 2013).
20. Belheouane, I., « Vulnérabilité sismique des bâtiments en béton armé », Thèse de Magistère, USDBlida, (2007).
21. Djaalali F., Bensaïbi M., Bourahla N. et Davenne L., “Vulnerability curves of masonry constructions Algiers case study”, Structural Engineering and Mechanics, Vol. 42, No. 4, (2012).
22. Djaalali F., « Détermination des courbes de vulnérabilité pour le bâti en maçonnerie de la capitale Alger (Algérie) », thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, Alger, (2013).

23. Djaalali F., Bensaibi M., et Bourahla N., “Evaluation of the vulnerability index for unreinforced masonry structures”, *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 166- 169, (2012), pp. 1387-1390
24. Amellal O., Bensaibi M., « Indice de Vulnérabilité les Structures en Charpente Métallique », *Proceedings du 8ème Colloque National AFPS 2011*, Ecole des Ponts ParisTech, Paris, France, (2011).
25. Bensaibi, M., Yousefi, N., « Indice de Vulnérabilité pour les Constructions Mixtes : Maçonnerie/Charpente Métallique », *Proceedings du 8ème Colloque National AFPS 2011*, Ecole des Ponts ParisTech, Paris, France, (2011).
26. Halfaya, FZ., Bensaibi. M., Davenne, L., “Vulnerability assessment of water supply network”, *Energy Procedia* 18, (2012), 772 – 783.
27. Ueno, J., Takada, S., Kuwata, Y., “Performance of water supply system during the 2003 Tokachi-Oki earthquake”. *NCREE Workshop*, (2004).
28. Nojiima, N., “Seismic vulnerability index for lifeline facilities”, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, China, (2008).
29. Lestuzzi, P., « Vulnérabilité sismique à grande échelle de la ville de Renens », Suisse, *Projet ENAC*, (2009).
30. « Scénarios Départementaux de Risque Sismique en Guadeloupe », *Rapport final BRGM/RP-57488-FR*, (Septembre 2009).
31. Lantada N., “Risk scenarios for Barcelona, Spain”, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada, Paper No. 423, (August 1-6, 2004).
32. Chaid, A., « vulnérabilité sismique d’un tissu urbain cas d’étude: centre-ville de Blida », thèse de Magistère, ENSTP, (2012).
33. Pitilakis K. D., Kakderi K. G., “Seismic risk assessment and management of lifelines, utilities and infrastructures”, *5<sup>th</sup> International conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Santiago, Chile, (January10-13, 2011).
34. Jara M., Guerrero J. and Aguilar J., “Seismic vulnerability of Mexico city buildings”, *Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, (1992), 545-550.

35. Chavez, J., Goula, X., Roca, A., Mana, F., Presmanes, J. and Lopez-Arroyo, A, «Preliminary Seismic Risk Assessment for Catalonia (Spain) », Proceeding of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, (1998).
36. Ghafory, M., Eshghi, S. and Qureshi, M., « Tehran Vulnerability Analysis », Proceeding of the Tenth World Conference on Earth. Eng., Rotterdam, (1992).
37. Azevedo J., Guerreiro L., Bento R., Lopes M., Proença J., “Seismic impact on lifelines in the great lisbon area”, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, (August 1-6, 2004).
38. Monge O., Souche JC., Davidovici V., « Evaluation des réseaux d’eau potable sous séisme: Comparaison entre une approche de type scénario (Risk- UE), le retour d’expérience et une évaluation spécifique », 7ème Colloque National AFPS, Ecole Centrale Paris, (2007).
39. « Révision du plan directeur d’aménagement et d’urbanisme PDAU de la commune de Tipasa », Rapport d’orientation, groupe centre national d’études et recherches en urbanisme, (Mai 2006).
40. « Étude de microzonage sismique des sites urbains de la wilaya de Tipaza, Etape A3: Carte géotechnique et données hydrogéologiques », Centre National de Recherche appliquée en Génie Parasismiques (CGS), (Février 2011).
41. ONS office national des statistiques, Recensement Général de la population et de l’Habitat RGPH, (2008).
42. Guemache, M.A., Djellit, H., Ymmel, H., Gharbi, S., Dorbath, C., « La faille post-astienne de Bouinan–Soumâa (région de Blida): expression néotectonique et implication dans l’évaluation de l’aléa sismique». Bulletin du Service Géologique National. V. 21, (2010).
43. Maouche, S., «Étude sismotectonique de l’Algérois et des zones limitrophes de Cherrhell–Gouraya », thèse de Magistère, USTHB, (Octobre 2002).
44. Ait Benamar, D., Guessoum, N., « Etude géologique et géophysique sur le site du projet de l’hôpital militaire de Blida », Rapport, CGS (Centre Génie Parasismique), Alger, (2003).

45. « Étude géologique, géophysique et géotechnique des piémonts Est et Ouest de la ville de Tipaza », CRAAG (Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique), Rapport, (Décembre 2005).
46. Boudiaf, A., « Etude sismotectonique de la région d'Alger et de la Kabylie (Algérie) », Thèse de Doctorat, Académie de Montpellier, Université Montpellier II, Science et Technique de Languedoc, (1996).
47. Bensaibi, M., Djaalali, F., Belheouane, I., Amellal, O., Yousfi, N., "Seismic Vulnerability Index Method - Algerian case studies", 8<sup>th</sup> International Conference on Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japon, (7-8 Mars 2011).
48. Bensaibi, M., Djaalali, F., Belheouane, I., Bourahla, N., "Vulnerability Index Method - Algerians case study", Seventh National Conference of Earthquake Engineering, Istanbul, Turquie, (30 Mai-3 Juin 2011).
49. Amellal, O., « Evaluation de l'indice de vulnérabilité pour les structures en charpente métallique », Mémoire de Magister Université Saad Dahlab Blida, Algérie, (2008).
50. Amellal, O., Bensaibi, M., « Calcul de l'indice de vulnérabilité pour les structures en charpente métallique », Revue scientifique et technique de l'école nationale supérieur des travaux publics, N°53, (Janvier 2014).
51. Yousfi, N., « Estimation de l'indice de vulnérabilité des structures mixtes », Mémoire de Magister Université Saad Dahlab Blida, Algérie, (17 Mars 2010).
52. Halfaya, FZ., Bensaibi, M., Davenne, L., "Blida water supply network vulnerability", International Symposium on Reliability Engineering & Management, China , (2010).
53. Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe S., Yasuda S., Sato H. "Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods". Proc., 3rd International Conference on Microzonation, USA, (1982).
54. Belheouane, I., Bensaibi, M., « Evaluation de l'Indice de Vulnérabilité sismique des structures en béton armé, cas d'étude : Structures en béton armé en Algérie », 8<sup>em</sup> Colloque National AFPS 2011, Ecole des ponts ParisTech, (6-7-8 Septembre 2011).

55. Halfaya, FZ., Bensaibi, M., Tayebi, KA., « Diagnostic de vulnérabilité du réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Blida », AFPS, France, (2007).
56. Hammoum, H., Bouzida, R., « Pratique des Systèmes d'Information Géographique (SIG) », Algérie, (2010).
57. Bahi, F., « Estimation de l'indice de potentiel de liquéfaction », Magister Thesis, University Saad Dahleb, Blida, Algeria. (2010).
58. Chatelain, JL., Guillet, B., Souris, M., Duperier, E., Yepes, H., « SIG et évaluation des risques naturels : application aux risques sismiques de Quito », Quito, Equateur, (1995).