

REPUBLIQUE ALGERIEN DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE DE SAAD DAHLEB BLIDA

جامعة سعد دحلب - البليلة



Faculté De Technologie

كلية التكنولوجيا

Département De Génie Civil

قسم الهندسة المدنية

**MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDE**

مذكرة نهاية التخرج

Pour l'Obtention du diplôme

DE MASTER EN GENIE CIVIL

Option : Structures

**THÈME**

**METHODE D'ESTIMATION DE LA RESILIENCE SISMIQUE POUR  
LES CONSTRUCTIONS EN BETON ARME  
EN ALGERIE**

**Présenté par :**

- ZALOUK kamel.

Encadreur : Dr. AMELLAL Omar.

- OUESSOU Abdellah Abdelbasset.

Co-encadreur : Dr. BELHEOUANE Imene.

2023/2024

## ملخص

تعد الهزات الأرضية من بين الكوارث الطبيعية الأكثر، تدميراً فهي تهدد السكان والبنية التحتية في جميع أنحاء العالم. في مواجهة هذا الخطر، أصبحت مقاومة الزلازل للمنشآت الخرسانية المسلحة قضية حاسمة. تشير هذه المقاومة إلى قدرة المنشآت على الصمود والتعافي بعد زلزال. تهدف دراستنا إلى تطوير طريقة لتقييم قدرة التعافي الزلزالي للمباني الخرسانية المسلحة، بناءً على حساب مؤشر قدرة التعافي. لقد حددنا المعلمات الرئيسية للسلوك الزلزالي للمنشآت وتأثيرها على تعافيتها. تم اقتراح تصنيف حسب درجة قدرة التعافي، على ثلاث فئات: الأخضر والبرتقالي والأحمر، من التعافي الجيد إلى الضعيف. أخيراً، تم وضع ورقة تقنية لتسهيل تطبيق الطريقة.

تم إجراء العديد من تطبيقات على الطريقة المُطورة لتحديد فئة تعافيتها. بعد ذلك، قمنا بمحاكاة سيناريوهين زلزالين بقيمة 8 درجات على مقياس ميركالي المعدل و10 درجات على مقياس ميركالي المعدل لمنطقة حضرية، وهي حي محمد دميث في بلدية بني مراد بولاية البلدية لتحديد المناطق الأكثر تعافياً. تُعد هذه النتائج مفيدة لإدارة الكوارث وإعداد خطط التدخل تهدف إلى تقليل المخاطر الزلزالية. يتم عرض النتائج المتحصل عليها على خرائط تم تطويرها باستخدام برنامج

## QGIS 3.22

**الكلمات المفتاحية:** قدرة التعافي الزلزالي، إنشاءات خرسانية مسلحة، نظام المعلومات الجغرافي، النسيج الحضري، رسم الخرائط، المؤشر.

## RESUME

Les tremblements de terre, sont parmi les catastrophes naturelles les plus dévastatrices. Ces derniers menacent les populations et les infrastructures dans le monde entier. Face à cette menace, la résilience sismique des structures en béton armé devient un enjeu crucial. Cette résilience désigne la capacité des structures à résister et se rétablir après un séisme. Afin de répondre à cette question, notre étude porte sur le développement d'une méthode d'évaluation de la résilience sismique des constructions en béton armé, basée sur le calcul d'un indice de résilience, nous avons identifié les paramètres clés du comportement sismique des structures et influant sur leur résilience. Une classification selon leur degré de résilience était proposée, trois classes vert, orange et rouge allant de bonne résilience à faible résilience. En fin une fiche technique est élaborée pour faciliter l'application de la méthode.

Plusieurs exemples d'application de la méthode développée ont été effectués à fin d'identifier leur classe de résilience. Par la suite, nous avons simulé deux scénarios sismiques à intensité 8MMI et 10 MMI pour un tissu urbain soit le quartier Mohamed Demiche à la ville de Beni Mered à la wilaya de Blida pour identifier les zones les plus résilientes. Ces résultats sont utiles pour la gestion des catastrophes et l'élaboration de plans d'action visant à réduire le risque sismique. Les résultats obtenus sont présentés sur des cartes développées à l'aide du logiciel **QGIS 3.22**.

**Mots-clés :** Résilience sismique, Construction en béton armé, Système informatique graphique SIG, Tissu urbain, Cartographie, Indice.

## ABSTRACT

Earthquakes are among the most devastating natural disasters, posing a significant threat to populations and infrastructure worldwide. In response to this challenge, enhancing the seismic resilience of reinforced concrete (RC) structures is crucial. Seismic resilience refers to a structure's ability to recover from an earthquake.

This study aims to develop a method for evaluating the seismic resilience of RC structures based to calculate a resilience index. the parameters influencing the seismic behavior and resilience of structures were identified. A classification based on resilience level was proposed, on three categories: green (high resilience), orange (moderate resilience), and red (low resilience). A technical data sheet was developed to facilitate the application of this method.

Several applications were treated to determine the resilience class of various structures. Subsequently, two seismic scenarios with different intensities 8MMI and 10MMI were projected for an urban area, in Mohamed Demiche district (city of Beni Mared, Blida) in order to identify the most resilient zones. These results are appreciated for disaster management and developing action plans in point to reduce the seismic risk. The obtained results are presented on maps developed using QGIS 3.22 software.

**Keywords:** Seismic resilience, Reinforced concrete construction, Geographic informatics systems GIS, Urban area, Mapping, Index.

## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, Notre parfaite gratitude et nos remerciements à **ALLAH** le plus Puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour mener à bien ce modeste travail.

Ensuite, C'est avec une profonde reconnaissance et considération Particulière que nous remercions notre encadrant **M. AMELLAL Omar** et notre Co-encadrante **Mme.BELHEOUANE Imene** pour leur disponibilité, leurs conseils et leur patience, et pour le temps qu'ils ont consacré à nous apporter les outils aussi bien méthodologiques que scientifiques, indispensables à la conduite de cette recherche.

Nous remercions le président ainsi que les membres de jury, pour avoir acceptés d'examiner notre travail.

Nos vifs remerciements pour l'ensemble des enseignants du Département de génie civil qui ont contribué à notre formation durant ces 5 années et qui ont fourni les outils nécessaires à la réussite de nos études universitaires.

Nous tenons à remercier aussi toute l'équipe de **CGS** et spécialement **M. YOUSFI Nacim** et **M. BRAHAM Massinissa** pour les données et les conseils qu'ils ont fournis, facilitant grandement notre travail.

Enfin, nous tenons à t'témoigner toute notre gratitude à nos parents pour leur confiance et leur support inestimable, et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce projet.

**Un grand merci à tous.**

## DEDICACES

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*C'est avec grand respect et gratitude que je tiens à exprimer toute ma Reconnaissance et ma sympathie et dédier ce travail modeste à : Ma maman chérie, qui m'a toujours soutenue et encouragée mais surtout grâce à qui j'ai pu arriver là où je suis aujourd'hui.*

*Sans oublier, mon très cher PAPA, là où il est et le courage qui m'a transmis pour aboutir à mes fins.*

*Nazim, mon grand frère, mon parfait exemple qui a toujours su me pousser vers l'avant et qui a su me guider.*

*Ainsi que ma sœur Maria et son époux islem. Dalia, ma petite adorée, qui je voudrais être un bon exemple.*

*À Ma grand-mère Chahra présente corps et âmes dans le Bon comme dans le mauvais.*

*A toute ma famille, ma belle-sœur, mes cousins(es), mes amis(es) spécialement Aya et mon cher binôme Kamel celui qui j'ai partagé avec lui des moments de stress et de folie durant cette année.*

**OUESSOU Abdellah Abdelbasset**



## DEDICASES

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Avant de commencer, je tiens d'abord à remercier ALLAH, qui m'a donné la santé, la volonté et le courage, la patience pour la réalisation de ce travail.*

*En premier, Je dédie ce travail à mes très chers parents pour leurs*

*Grands sacrifices, Merci Maman, Merci Papa.*

*À tous mes frères à mes cousins et cousines.*

*À mes Amis : Ali, Farouk, Djamel et Salah.*

*À mes autres amis en chacun en son nom*

*À mon cher binôme abdellah qui j'ai partagé de bons et d'inoubliable moment durant la préparation de ce projet.*

*À toute ma famille*

*À l'ensemble de nos camarades et collègues de la promotion 2023/2024.*

*À vous cher lecteur.*

**Zalouk kamel**

*zalouk kamel*

## TABLE DES MATIERES

RESUME.....	
ملخص.....	
ABSTRACT.....	
REMERCIEMENTS.....	
DEDICACES .....	
TABLE DES MATIERES .....	
LISTE DES FIGURES .....	
LISTE DES TABLEAUX .....	
INTRODUCTION GENERALE.....	2
CHAPITRE 01: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	5
1.1 Introduction .....	5
1.2 Historique de la sismicité en Algérie.....	6
1.3 Evolution de la réglementation en Algérie .....	7
1.4 Les règles de calculs .....	7
1.5 Les règles parasismiques.....	8
1.6 La résilience .....	10
1.6.1 L'histoire de la résilience en ingénierie et en construction .....	10
1.6.2 La définition de la résilience .....	12
1.6.3 Les avantages et les inconvénients .....	13
1.7 La différence entre la vulnérabilité et la résilience .....	14
1.8 La relation entre la vulnérabilité et la résilience :.....	15
1.9 Conclusion.....	16
CHAPITRE 02: METHODE D'ESTIMATION DE LA RESILIENCE D'UN BETON ARME. 18	
2.1 Introduction .....	18
2.2 Développement de la méthode d'estimation de la résilience.....	19
2.2.1 Principe de la méthode.....	19
2.2.2 Les paramètres de la résilience.....	19
2.3 L'explication des Rubriques.....	21

2.3.1 L'indice de Vulnérabilité (Iv) :	21
2.3.2 Hauteur de la construction (H)	25
2.3.3 La Densité (T) des populations dans la construction	25
2.3.4 Age (A)	26
2.3.5 Liquéfaction (PL)	26
2.3.6 Intensité de séisme	28
2.4 Développement de la Méthode "AHP"	36
2.4.1 Processus d'analyse hiérarchique "AHP"	36
2.4.2 Méthodologie	36
2.4.3 Utilisation de la méthode	39
2.4.4 Limites et avantages de la méthode	40
2.5 Classification	43
2.6 Conclusion	44
<b>CHAPITRE 03 : APPLICATION DE LA METHODE D'ESTIMATION DE LA RESILIENCE D'UN BETON ARME</b>	46
3.1 Introduction	46
3.2 Elaboration de la fiche technique	46
3.3 Conclusion	80
<b>CHAPITRE 04 : ESTIMATION DE LA RESILIENCE POUR UN TESSUE URBAIN</b>	82
4.1 Introduction	82
4.2 Présentation du tissu urbain choisi	82
4.3 Les plans de projet	82
4.4 Le système d'information géographique (SIG)	84
4.4.1 Fonctionnement d'un SIG	84
4.4.2 Références géographiques	84
4.4.3 Modèles de données vecteurs et raster	85
4.4.4 Le modèle vecteur (Figure 4.3)	85
4.4.5 Le modèle raster (Figure 4.4)	85
4.4.6 Domaines d'application	86

4.4.7 Avantages et inconvénients des SIG .....	86
4.4.8 Softwares SIG (Système d'Information Geographique).....	87
4.5 Les cartes de graphique .....	87
4.5.1 1 <sup>er</sup> Scenario (I= 8MMI) .....	88
4.5.2 2 <sup>ème</sup> Scenario (I= 10 MMI) .....	90
4.6 Comparaison des résultats des deux scénarios .....	91
4.7 Recommandations .....	92
4.8 Conclusion.....	92
CONCLUSION GENERALE.....	94
REFERENCES .....	97
ANNEXES .....	103

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.1 :</b> La résilience Systématique.....	13
<b>Figure 2.1 :</b> Les paramètres de la Résilience.....	20
<b>Figure 2.2:</b> Structure hiérarchique de la Résilience.....	21
<b>Figure 2.3:</b> Etapes de la Méthode “AHP” .....	37
<b>Figure 2.4:</b> Structure hiérarchique générique de la méthode AHP. (Adamcsek,2008).....	38
<b>Figure 3.1 :</b> Vue générale sur la mosquée Billal Ben Rabah.....	54
<b>Figure 3.2 :</b> Vue de l’extérieure sur la partie sanitaire et création des poteaux courts.....	54
<b>Figure 3.3:</b> Vue sur la structure de l’exemple 2.....	60
<b>Figure 3.4:</b> Vue de l’extérieure de l’exemple 3.....	67
<b>Figure 3.5 :</b> Le plan de situation de l’exemple 4.....	74
<b>Figure 4.1 :</b> Vue des plans par satellite de quartier Beni-Mered.....	83
<b>Figure 4.2 :</b> Présentation par histogramme des différents types de constructions.....	84
<b>Figure 4.3:</b> Modèle vecteur.....	85
<b>Figure 4.4 :</b> Modèle raster.....	85
<b>Figure 4.5 :</b> La carte graphique présente le premier Scénario I= 8MMI.....	88
<b>Figure 4.6:</b> la résilience pour le 1 <sup>er</sup> scénario de I= 8MMI.....	89
<b>Figure 4.7:</b> La carte graphique représente le deuxième scénario I= 10 MMI.....	90
<b>Figure 4.8:</b> la résilience pour un scénario de I= 10 MMI.....	91

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1.1</b> : Principaux séismes [CRAAG, 2024] .....	6
<b>Tableau 2.1</b> : les paramètres de la résilience.....	21
<b>Tableau 2.2</b> : Les facteurs « Ki » pour chaque paramètre en fonction de leurs classes.....	23
<b>Tableau 2.3</b> : Classification des structures en fonction de leur « Iv » .....	24
<b>Tableau 2.4</b> : Échelle de Mercalli modifiée (MM ou MMI) (Mercalli, 1902) .....	29
<b>Tableau 2.5</b> : EMS98 [l'échelle macrosismique européenne de 1998] .....	31
<b>Tableau 2.6</b> : Échelle Medvedev-Sponheuer-Karnik, Degrés d'intensité [Medvedev.1956]...	33
<b>Tableau 2.7</b> : Japan Meteorological Agency (JMA).....	34
<b>Tableau 2.8</b> : la pondération des facteurs, des paramètres et des rubriques.....	41
<b>Tableau 2.9</b> : Les facteurs de pondérations pour les différentes classes de distribution.....	42
<b>Tableau 2.10</b> : Classification de la Résilience.....	43
<b>Tableau 3.1</b> : Résultats de l'application de l'exemple 1.....	60
<b>Tableau 3.2</b> : Résultats de l'application de l'exemple 2.....	66
<b>Tableau 3.3</b> : Les résultats d'application de l'exemple 3.....	73
<b>Tableau 3.4</b> : Les résultats d'application de l'exemple 4.....	79

# **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

L'homme a toujours cherché à exploiter la terre, mais souvent il se retrouve face à des phénomènes naturels. Parmi ces phénomènes destructeurs se trouvent les tremblements de terre, les ouragans, les inondations, les tsunamis, les glissements de terrain, les incendies de forêt et bien d'autres.

Les séismes sont les plus dévastateurs sur la planète terre donc ils sont figurés en première ligne des catastrophes naturelles menaçant des populations et des infrastructures dans les zones sismiques du monde entier. L'impact de séisme conduit généralement vers des pertes économiques et humaines considérables, on peut avoir toute une ville détruite seulement en quelques secondes, par exemple le séisme du Chili en 1970, de la Chine en 2008...etc. et en Algérie, celui de Chlef en 1980 et de Boumerdes en 2003. Face à cette menace sévère, la question de l'étude de la résilience sismique des structures devient cruciale (Magistère Yousfi, 2010).

La résilience des structures en béton armé est un enjeu majeur dans le domaine de l'ingénierie civile, en particulier face aux menaces des séismes. Cette résilience désigne la capacité des structures non seulement à résister aux forces destructrices des tremblements de terre, mais aussi à récupérer rapidement leur fonctionnalité après de tels événements. L'amélioration de la résilience des bâtiments en béton armé implique l'utilisation de technologies de pointe et de matériaux innovants et de bonne qualité, ainsi que la mise en œuvre de normes de construction strictes. Selon le rapport de l'Institut de l'Ingénierie Structurelle, les bâtiments en béton armé peuvent être conçus pour offrir une résistance accrue aux séismes grâce à l'incorporation de renforts spéciaux et à l'adoption de techniques de construction avancées (Martin & Latham, 2018). En adoptant ces approches, les dommages structurels peuvent être minimisés et la capacité de récupération rapide après un séisme s'améliore.

Nous avons étudié dans notre mémoire l'évaluation de la résilience sismique des constructions existantes en béton armé (BA). A cet effet deux niveaux d'évaluations ont été développés. Un niveau analyse globale et un niveau analyse approfondie.

Afin de répondre à notre objectif de développer une méthode d'estimation de la résilience des structures en béton armé et faire la mise en évidence de la méthode développée, nous avons suivi le plan de travail donnée ci-dessous.

Le premier chapitre porte sur l'étude bibliographique où nous allons présenter un bref historique de la sismicité en Algérie, les définitions de la résilience en domaine d'ingénierie et l'histoire de cette dernière.

Dans le deuxième chapitre, nous avons développé une méthode d'estimation de la résilience des constructions en béton armé basée sur la méthode de l'indice de résilience, les paramètres les plus influant sur le comportement sismique des structure en BA ont été identifiés et présentés ainsi que leurs coefficients de pondération, en se basant sur le processus de l'AHP, pour permettre aux ingénieurs et aux experts dans le domaine de la construction, d'estimer la résilience des structures en béton armé. Une classification des constructions selon leur degré de résilience sera proposée aussi.

Dans le troisième chapitre, nous allons présenter une fiche technique élaborée dans le but d'évaluer des constructions en béton armé et déterminer leurs indices de résilience. Plusieurs exemples de validation de la méthode développée ont été effectués, nous allons présenter quelques-uns avec les résultats de classification obtenus de chaque exemple.

Dans le quatrième chapitre nous concentrons sur l'analyse de la capacité des infrastructures et des bâtiments, donc nous allons proposer deux scénarios d'intensité différentes pour estimer la résilience d'un tissu urbain. La visualisation des résultats obtenus pour ces scénarios sera en fonction de l'élaboration des cartographies à l'aide d'utilisation des systèmes d'information géographique en particulier le logiciel QGIS.

Enfin une conclusion générale sera donnée. Cette dernière comprendra les principaux résultats présentés ainsi que quelques recommandations de la présente étude.

**CHAPITRE 01**  
**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## CHAPITRE 01

### ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

#### 1.1 Introduction

Les catastrophes naturelles représentent des événements imprévisibles et dévastateurs qui ont un impact majeur sur les infrastructures et les bâtiments dans le domaine de la construction en génie civil. Ces événements incluent les tremblements de terre, les ouragans, les inondations, les tsunamis, les glissements de terrain, les incendies de forêt et d'autres. (Paul G. Somerville, 2003).

En génie civil, l'ingénierie est chargée de concevoir, construire et maintenir des structures capables de résister à ces catastrophes et de minimiser les dommages causés à la vie humaine, à la propriété et à l'environnement. (Michel Virlogeux, 2020)

Les conséquences des catastrophes naturelles peuvent être dévastatrices, avec des pertes humaines, économiques et environnementales considérables. Les bâtiments et les infrastructures mal conçus ou mal construits peuvent s'effondrer ou subir des dommages graves, mettant en danger la vie des personnes qui les utilisent et perturbant les activités économiques et sociales. (Kasimire, 2014)

Les séismes sont des phénomènes naturels. Ils surviennent brusquement avec des intensités variables. Lorsque ces intensités sont importantes, ces derniers peuvent provoquer des dégâts importants dans les structures et infrastructures urbaines et rurales. Afin de protéger la population ainsi que les actifs économiques il convient de conduire des études de réduction du risque sismique. (Spence et al, 2015).

Ces études passent par la connaissance du comportement sismique des structures. (Hamoudi et al, 2018). Actuellement les structures les plus répandues sont en béton armé. Or ces dernières doivent être résilientes à l'action sismique. Après les séismes, des dommages sont enregistrés dans ce type de constructions aussi bien en Algérie (Ain Temouchent 1999, Zemouri 2003, ect...) qu'à travers le monde (Kobé 2005, Italie 2009, Fukushima 2011, Turquie 2024, ect...). La réduction des pertes sismiques devient alors une nécessité et un enjeu politique. Cette réduction passe obligatoirement par l'étude de la résilience sismique de ce type de construction.

Notre étude porte sur l'évaluation de la résilience sismique des constructions existantes en béton armé (BA) A cet effet deux niveaux d'évaluations ont été développés. Un niveau analyse globale et un niveau analyse approfondie.

Afin d'étudier cette résilience, il est important de donner un historique sur la sismicité en Algérie C'est ce qu'on propose de faire dans le paragraphe suivant.

### **1.2 Historique de la sismicité en Algérie**

Selon le centre de recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (GRAAG) plusieurs tremblements de terre ont frappé l'Algérie. Le tableau (1.1) regroupe les principaux séismes enregistrés en fonction de leur intensité.

**Tableau 1.1** : Principaux séismes [CRAAG, 2024].

Localité	Date	Io
Alger.	03.01.1365	Forte
Gouraya	15.01.1891	X
El Kalaa	29.11.1887	IX-X(VIII)
Sour.El Chouzléne ( Aumale)	24.06.1910	X(VIII)
A.El Hassan ( Cavaignac )	25.08.1922	IX-X
EL Attaf ( Carnot )	07.09.1934	IX(VII)
Béjaia	12.02.1960	VII-IX
Chlef ( Orléansville-Elasnam)	09.09.1954	X-XI
M'sila	21.02.1960	VIII
M'sila	01.01.1965	VIII
Mansourah	24.11.1973	VII
Chlef	10.10.1980	IX
Constantine	27.10.1985	VIII
EL Affroun	31.10.1988	VII
Dj.Chenoua	29.10.1989	VIII
Mascara	18.08.1994	VII
Alger	04.09.1996	VII
Ain-Temouchent	22.12.1999	VII
Béni-Ouartilane	10.11.2000	VII
Zemmouri	21.05.2003	X

Laalam	20.03.2006	VII
Médéa	22.08.2007	VII
Mostaganem	08.08.2007	VII
Touggourt	08.07.2007	VII
Béni Ilmane (Sétif)	14.05.2010	VII
Damous (Tipaza)	10.06.2012	VI

L'Algérie, située dans une zone sismique active, est particulièrement vulnérable aux tremblements de terre, comme en témoignent les événements tragiques du séisme de Boumerdès en 2003 ou autres. Face à cette réalité, la mise en œuvre de normes de construction rigoureuses est cruciale pour assurer la résistance des bâtiments aux séismes. La tenue des constructions Vis-à-vis d'un séisme dépend de plusieurs facteurs entre autre l'application ou non des règles parasismiques en vigueur lors de la construction. Dans ce qui suit nous allons donner l'historique de l'évolution de la réglementation en Algérie.

### **1.3 Evolution de la réglementation en Algérie**

Les tremblements de terre peuvent causer des dommages aux constructions. C'est ainsi que les dégâts causés aux constructions à Orléans-ville (El-Asnam, Chlef actuellement), par le séisme de 1954, ont obligé les bâtisseurs à prendre en compte, dans les constructions futures, le paramètre sismique et les aspects y afférents (efforts, contraintes, dispositions constructives, etc.).

Ceci a conduit l'administration coloniale à créer toute une batterie de règlements concernant les calculs techniques et les calculs sismiques, en l'occurrence les PS (prescriptions sismiques), qui sont restés en vigueur bien après l'indépendance du pays. À noter que le PS54 a été le premier règlement parasismique à être élaboré.

### **1.4 Les règles de calculs**

À l'indépendance du pays, et jusqu'en 1967, les règlements concernant les calculs techniques et les calculs sismiques, créés par l'administration coloniale, sont restés en vigueur.

En 1968, l'État algérien s'est doté d'un règlement de calculs des constructions en béton armé 1968 (CCBA.1968), inspiré du règlement français Béton Armé 60 (BA.1960), en vigueur à cette période-là. Ce règlement était basé sur le calcul de la contrainte admissible.

Cependant, en Europe, les règles de calculs qui étaient en application étaient basées sur la méthode des états limites. C'est pourquoi la France a créé de nouveaux règlements appelés Béton Armé aux États Limites 83 (BAEL, 1991). Ces règlements s'inspirent de la méthode dite "méthode des états limites", ceci afin de tendre vers une réglementation unifiée dans ce domaine avec les autres pays européens.

Devant le besoin de plus en plus important en diverses sortes de constructions et le manque d'assises dans les zones urbaines, ainsi que l'évolution des techniques de construction dans le monde, l'Algérie, en s'inspirant du (BAEL 91) français, a créé le règlement : Calculs Des Constructions En Béton Armé 93 (CCBA, 1993), dont les calculs se basent sur les états limites et non sur les contraintes admissibles comme auparavant.

### **1.5 Les règles parasismiques**

Après le séisme de Chlef de 1954 et face aux dégâts causés aux constructions de la ville d'Orléans-ville, les autorités coloniales, soucieuses de reconstruire la ville et la région de manière durable, se sont inspirées des méthodes parasismiques américaines et japonaises.

C'est ainsi qu'en 1955, le premier règlement parasismique algérien, dénommé AS.1955, a été élaboré. Ce règlement, basé sur les principes de la construction parasismique moderne, visait à renforcer la résistance des structures aux tremblements de terre.

En 1962, après l'indépendance de l'Algérie, le nouveau gouvernement a entrepris une révision du règlement parasismique, aboutissant à la publication du PA.1962. Ce nouveau règlement, tout en tenant compte des spécificités du contexte algérien, s'inscrivait dans la continuité des avancées techniques réalisées dans le domaine de la construction parasismique.

En 1969, une nouvelle version du règlement Parasismique Algérien, le PA.1969, a été publiée. Cette version intégrait les dernières connaissances scientifiques et techniques en matière de génie parasismique et visait à renforcer encore la sécurité des constructions contre les séismes. Ces règlements parasismiques successifs ont joué un rôle crucial dans la définition des normes de construction en Algérie et ont contribué à améliorer significativement la résistance des bâtiments aux tremblements de terre.

Cependant, après l'indépendance et en l'absence de séismes de grande intensité, les Algériens ont négligé l'application des normes antisismiques dans leurs constructions. Les bâtisseurs n'étaient plus obligés de calculer d'après ces normes bien qu'on les leur recommandaient.

Face à ce relâchement, en 1976, les soumissionnaires américains pour la construction d'un grand projet de torchère à Arzew ont pris l'initiative de contacter l'organisme de contrôle technique de la construction algérienne (CTC) d'une part et l'université de Stanford (Californie, États-Unis) d'autre part afin de collaborer à l'élaboration d'un nouveau règlement parasismique algérien.

C'est ainsi qu'une convention de deux ans a été signée pour la réalisation de ce projet ambitieux, qui comprenait deux volets principaux :

- ✓ **Étude de la sismicité algérienne (aléa et zonage) :** Cette première phase visait à analyser en détail l'activité sismique en Algérie, en identifiant les zones les plus exposées aux tremblements de terre et en évaluant leur niveau de risque sismique.
- ✓ **Proposition d'un projet de règlement parasismique algérien sur la base de la force statique équivalente :** S'inspirant des pratiques en vigueur en Californie à l'époque, ce règlement visait à définir des normes de construction permettant de garantir la résistance des structures aux tremblements de terre.

Cependant, la mise en œuvre de ce projet s'est heurtée à plusieurs difficultés majeures :

- ✓ **Compréhension du règlement et de la méthode américaine :** La complexité du règlement et la nouveauté de la méthode américaine ont posé des défis importants aux acteurs algériens impliqués dans le projet, nécessitant une formation approfondie et une adaptation aux spécificités du contexte local.
- ✓ **Appréhension du phénomène sismique :** La compréhension des mécanismes et des effets des tremblements de terre n'était pas encore pleinement développée à l'époque, ce qui a pu générer des incertitudes et des résistances à l'adoption de nouvelles normes de construction.
- ✓ **Adaptation aux ouvrages existants et compatibilité avec le CCBA 68 :** L'application du nouveau règlement parasismique aux constructions déjà existantes et la nécessité de le concilier avec le règlement en vigueur à l'époque (CCBA 68) ont soulevé des questions techniques complexes et des enjeux de compatibilité réglementaire.

Ce n'est qu'après le séisme de Chlef, en 1980, que le calcul parasismique est devenu obligatoire pour les futures constructions. Ce qui a donné naissance au premier Règlement Parasismique Algérien : « le RPA81 », puis « le RPA 83. » qui, lui, a été enrichi lors de sa révision, en 1988, par une annexe appelé « RPA 88 », il permettait aux ingénieurs de faire des calculs dynamiques par des méthodes approchées pour pallier au manque d'outils puissants de calculs.

A partir de 1996, et avec l'évolution de l'outil informatique, les calculs par la méthode statique équivalente étaient devenus moins performants et étaient de plus en plus remplacés par les calculs par la méthode dynamique, puisque cette dernière était dans le corps du « RPA99 » avec ses conditions d'application.

Mais après le séisme de Boumerdès en 2003, et vu l'étendue de la catastrophe et l'importance des dégâts humains et matériels, ceci a nécessité la révision du « RPA99 » qui a porté, après sept séances de travail, sur une nouvelle carte sismique et sur des conditions d'exécution plus sévères.

L'évolution de la réglementation et des méthodes de calcul de la force sismique a entraîné une diversité dans les constructions des nouveaux centres urbains et des agglomérations récentes. Cette diversité se manifeste par la conception, les matériaux utilisés, les techniques de construction et l'âge des structures, ces derniers influencent directement sur la résilience des structures en face d'un séisme. Face à cette diversité, il est crucial de disposer d'outils d'évaluation précis pour permettre aux décideurs de prendre les mesures adéquates concernant ces constructions, qu'il s'agisse de renforcement, d'évacuation, de reconstitution ou d'autres options.

## **1.6 La résilience**

### **1.6.1 L'histoire de la résilience en ingénierie et en construction**

L'histoire de la résilience en ingénierie et en construction face aux séismes est un récit complexe et évolutif qui témoigne de l'ingéniosité humaine face aux défis posés par les forces de la nature. Remontant à l'Antiquité, les civilisations anciennes ont construit des structures capables de résister aux secousses sismiques, souvent en utilisant des techniques rudimentaires mais efficaces telles que des fondations profondes et des murs renforcés. Parmi les exemples les plus remarquables, on peut citer les temples grecs et romains, ainsi que les constructions incas et chinoises, qui ont résisté à des tremblements de terre dévastateurs pendant des siècles.

Cependant, ce n'est qu'avec l'avènement de l'ingénierie moderne que la résilience face aux séismes est devenue une préoccupation majeure. Des pionniers tels que Luigi Fenoglio (1851-1917), un ingénieur et architecte italien, ont contribué à jeter les bases de la construction parasismique moderne en développant des principes de conception et de construction visant à améliorer la résistance des structures aux tremblements de terre. Ses travaux ont été suivis par d'autres ingénieurs éminents, tels que George Housner (1910-1992), un ingénieur civil américain, et Nathan M. Newmark (1910-2004), un ingénieur structural américain, qui ont

apporté des contributions majeures à la compréhension des effets des tremblements de terre sur les structures et au développement de techniques de construction parasismique plus efficaces.

Au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, des événements dévastateurs tels que le séisme de San Francisco en 1906 et le grand tremblement de terre de Kanto au Japon en 1923 ont accéléré les progrès dans le domaine de la construction parasismique. Ces catastrophes ont mis en évidence la nécessité de normes de construction plus strictes et ont stimulé la recherche et le développement de nouvelles technologies et pratiques. L'introduction de normes de construction parasismique plus rigoureuses a joué un rôle crucial dans l'amélioration de la résilience des structures. Ces normes définissent des exigences minimales pour la conception, la construction et les matériaux des bâtiments et des infrastructures, en tenant compte des risques sismiques spécifiques de chaque région. L'utilisation de matériaux tels que le béton armé et l'acier a également contribué à renforcer la résilience des bâtiments. Ces matériaux offrent une résistance et une ductilité accrues, ce qui permet aux structures de mieux se déformer et de dissiper l'énergie des tremblements de terre.

Des techniques innovantes telles que l'isolation sismique et les amortisseurs de masse ont également été développées pour atténuer les effets des tremblements de terre. L'isolation sismique consiste à découpler une structure de son socle, ce qui lui permet de se déplacer plus librement lors d'un tremblement de terre. Les amortisseurs de masse, quant à eux, absorbent l'énergie des secousses sismiques en oscillant à la fréquence naturelle de la structure.

Au 21<sup>ème</sup> siècle, la recherche et le développement continus dans le domaine de la conception parasismique ont conduit à l'émergence de nouvelles technologies et pratiques visant à améliorer encore la résilience des structures face aux séismes. Cela inclut l'utilisation de modélisation avancée des risques sismiques, la conception de bâtiments flexibles et adaptatifs, ainsi que l'intégration de systèmes de surveillance et d'alerte précoce pour minimiser les pertes en vies humaines et en biens matériels.

Alors que les séismes restent une menace constante dans de nombreuses régions du monde, l'histoire de la résilience en ingénierie et en construction face aux séismes témoigne de la capacité de l'humanité à s'adapter, à innover et à construire un avenir plus sûr et plus résilient. Grâce aux progrès continus dans ce domaine, nous pouvons espérer réduire l'impact dévastateur des tremblements de terre et protéger les populations et les infrastructures dans les zones à risque sismique.

### 1.6.2 La définition de la résilience

La résilience des structures fait référence à leur capacité à résister et à se rétablir après avoir été soumise à des charges extrême dues à des évènements sismiques majeurs ou autre.

Dans la littérature, la définition de la résilience des structures varie d'un auteur à un autre, Mathieu, définit le terme de résilience qui vient du mot latin **resilio** et qui signifie rebondir, c'est à dire, en autre terme la résilience physique indique la capacité d'un objet à retrouver son état initial après un choc ou une pression continue. (Mathieu,1991).

Selon René, la résilience est la capacité de se rétablir et de retrouver un fonctionnement normal après un tremblement de terre, la performance de résilience dépend de l'ampleur des dommages survenus sur un bâtiment pendant l'événement dans un temps de réparation. Par conséquent, la résilience sismique est liée à la limitation de dommages. (René,2020)

En d'autre termes, c'est la capacité de réussir de manière acceptable pour la société en dépit d'un stress que comporte normalement le risque grave d'une issue négative (Rutter,1994).

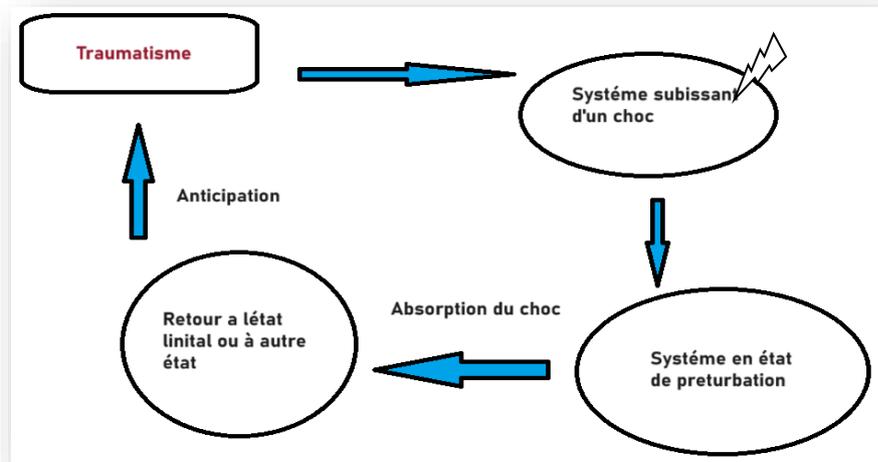
Alors que le terme résilience écologique, soulignant la capacité des écosystèmes à maintenir leur structure et leur fonctionnement malgré les perturbations.

Dans l'ensemble, la résilience est un concept essentiel exploré sous diverses facettes, mettant en avant la capacité d'adaptation face à l'adversité, que ce soit au niveau individuel, psychologique, social, ou environnemental (Brand & Jax, 2007).

Selon Brans et Van Putten, la résilience, en revanche, se réfère à la capacité d'une structure à absorber les chocs et à se rétablir après avoir subi des contraintes importantes. Cela implique que la structure puisse maintenir son intégrité structurelle et continuer à fonctionner efficacement, même après avoir subi des dommages. Une structure résiliente est capable de se déformer et de dissiper l'énergie des impacts sans s'effondrer. (Brans et Van der Putten, 2016). En d'autre termes la résilience est un concept multidisciplinaire et interdisciplinaire défini comme « la capacité de se préparer et de planifier, d'absorber, de réagir, de s'en remettre, et mieux s'adapter aux événements indésirables » (NAC,2012)

Autrement, la résilience des structures en béton armé repose sur une combinaison d'innovation technologique, de conformité réglementaire, et de pratiques de gestion proactive. Ces efforts conjoints entre chercheurs, ingénieurs et décideurs garantissent que les structures ne se contentent pas de résister aux défis immédiats mais s'adaptent et évoluent face aux

menaces futures, renforçant ainsi leur capacité à protéger les vies et les investissements. (FEMA,2007).



**Figure 1.1** : La résilience Systématique.

### **1.6.3 Les avantages et les inconvénients**

#### **1.6.3.1 Avantages**

La construction résiliente, vise à avoir des structures capables de résister et de se rétablir après un séisme, offrant de nombreux avantages. En effet, elle permet de réduire considérablement les dommages structurels des bâtiments lors des tremblements de terre, ce qui se traduit par une diminution des coûts de réparation et de reconstruction. Des pratiques de conception parasismique avancées, comme le souligne Cao. (Cao et al, 2019), ont prouvé leur efficacité dans la minimisation des dommages matériels.

Parallèlement, la construction résiliente accroît considérablement la sécurité des occupants des bâtiments. Ces structures étant mieux conçues pour résister aux tremblements de terre, les risques de blessures ou de décès pour les occupants sont minimisés. L'utilisation de techniques de conception sismique et de matériaux appropriés contribue à l'amélioration de la sécurité des bâtiments. (Aguirre et al., 2017)

Les structures résilientes sont conçues pour assurer la continuité de leur service même après un séisme. Cela permet de maintenir l'approvisionnement en services essentiels tels que les hôpitaux, les écoles et les réseaux de transport, (Almufti et al., 2018). La résilience des constructions joue ainsi un rôle crucial dans l'atténuation de l'impact socio-économique des catastrophes naturelles en réduisant les dommages aux infrastructures et en garantissant un

retour rapide aux activités normales, comme le confirment Koliou et d'autres. (Koliou et al, 2018)

### **1.6.3.2 Inconvénients**

La création d'infrastructures résilientes nécessitera probablement des dépenses plus importantes et des coûts initiaux plus élevés en matériaux de construction, en main-d'œuvre expérimentée et en moyens d'exécution et des innovations technologiques plus avancés. Ce qui peut rendre les projets de construction plus coûteux (Asprone et al., 2017).

De plus, les méthodologies de construction résiliente sont souvent plus complexes à planifier et à exécuter. Cela signifie que la construction prendra plus de temps et nécessitera d'avantage d'expertise technique sur place pour la supervision et l'inspection, (Fatahi et al., 2018). La localisation de telles compétences peut s'avérer difficile dans certaines régions ou certains secteurs, ce qui peut compliquer le processus de construire les ouvrages résilients, (Chow et al., 2019).

D'autre part, l'évolution vers des pratiques de construction plus résilientes pourrait se heurter à l'opposition des acteurs du secteur de la construction. Leur résistance peut provenir du fait qu'ils doivent abandonner les méthodes de travail traditionnelles et également surmonter les barrières culturelles et organisationnelles (Lee et al., 2016).

Il est à noter que généralement les gens confondent entre la résistance, la vulnérabilité et la résilience, dans ce qui suit nous présentons la différence entre ces derniers.

## **1.7 La différence entre la vulnérabilité et la résilience**

La résilience et la vulnérabilité sont deux concepts fondamentaux dans le domaine de la construction en béton armé, chacune ayant un impact significatif sur la sécurité et la durabilité des structures. Comprendre la différence entre ces deux notions est essentiel pour concevoir des bâtiments capables de résister aux défis environnementaux et aux catastrophes naturelles tout en minimisant les risques de défaillance.

La résilience d'une structure en béton armé se réfère à sa capacité à absorber les chocs et à se rétablir après avoir subi des contraintes importantes. Cela inclut sa capacité à maintenir son intégrité structurelle et à continuer à fonctionner efficacement même après avoir été soumise à des dommages. Cette notion est souvent soutenue par des pratiques de conception robustes, l'utilisation de matériaux de haute qualité et le respect de normes de construction rigoureuses. (Weiss,2018)

D'autre part, la vulnérabilité d'une structure en béton armé se réfère à sa propension à subir des dommages ou à échouer lorsqu'elle est confrontée à des contraintes extérieures. Les facteurs de vulnérabilité peuvent inclure des défauts de conception, des matériaux de construction de qualité inférieure, une exécution inadéquate des travaux ou une exposition à des conditions environnementales extrêmes. Une structure vulnérable est susceptible de subir des dommages importants en cas de catastrophe, mettant en danger la vie humaine et entraînant des pertes économiques considérables. (Khattak, 2019)

En résumé, la résilience et la vulnérabilité dans le domaine de la construction en béton armé sont deux aspects cruciaux qui déterminent la durabilité et la sécurité des structures. En mettant l'accent sur la résilience et en réduisant la vulnérabilité, il est possible de créer des environnements bâtis plus sûrs et plus durables, capables de faire face aux défis du monde moderne.

### **1.8 La relation entre la vulnérabilité et la résilience**

L'interrelation entre la résilience et la vulnérabilité dans les constructions en béton armé se manifeste dans l'influence des mesures de renforcement sur la capacité de la structure à résister à des événements ultérieurs. En réduisant la vulnérabilité initiale par des choix de conception et de matériaux appropriés, on accroît la résilience globale de la structure. Ainsi, une structure moins vulnérable est intrinsèquement plus résiliente face aux défis futurs. (Bruneau, 2003)

Cette relation dialectique souligne l'importance d'une approche holistique qui considère à la fois la réduction de la vulnérabilité et le développement de la résilience dans la conception et la construction des structures en béton armé. En effet, une structure peut être renforcée après un événement sismique, mais si sa conception initiale la rend intrinsèquement vulnérable, elle restera sujette à des dommages importants lors de futurs tremblements de terre. (Ellingwood, 2009)

Par conséquent, l'évaluation et la gestion soigneuses de la résilience et de la vulnérabilité sont essentielles pour garantir la sécurité et la durabilité des constructions en béton armé. Cela implique de considérer les facteurs suivants :

1. Conception parasismique
2. Sélection des matériaux
3. Techniques de construction
4. Renforcement post-événement

En adoptant une approche proactive qui combine la réduction de la vulnérabilité et le développement de la résilience, les ingénieurs et les constructeurs peuvent créer des structures en béton armé plus sûres, plus durables et mieux préparées à affronter les défis sismiques. (Haselton ,2009).

### **1.9 Conclusion**

Cette recherche biographique a mis en lumière l'importance de l'étude de la résilience sismique des constructions en béton armé, en particulier en Algérie. Les études menées sur ce sujet ont démontré la nécessité d'une approche globale, prenant en compte les aspects techniques, réglementaires et contextuels.

Les normes de construction algériennes, telles que le RPA 99 ver 2003 et le CBA, constituent un cadre essentiel pour garantir la sécurité des structures. Cependant, l'application rigoureuse de ces normes et leur mise à jour régulière sont indispensables pour répondre aux défis sismiques croissants.

Autrement, la résilience des constructions en béton armé face aux séismes est une priorité nationale en Algérie. Des efforts concertés et soutenus dans la recherche, la réglementation, l'évaluation et l'innovation sont nécessaires pour garantir la sécurité des populations et le développement durable du pays.

L'étude de la résilience sismique des constructions existantes est un enjeu crucial pour la protection des populations et des biens. Des outils et des méthodes d'analyse adaptés au contexte algérien doivent être développés et déployés à grande échelle.

Dans le chapitre suivant, nous allons proposer et définir les différents paramètres qui contribuent sur l'évaluation de la résilience des structures en particulier celles en béton armé.

**CHAPITRE 02**

**METHODE D'ESTIMATION DE**

**LA RESILIENCE D'UN BETON ARME**

**CHAPITRE 02****METHODE D'ESTIMATION DE****LA RESILIENCE D'UN BETON ARME****2.1 Introduction**

La quantification de l'état d'une construction avant et/ou après un séisme fait souvent l'objet d'une expertise. Cette dernière devra déterminer si la structure a subi des dommages et de quelles natures et si elle est en mesure de remplir sa fonction correctement. Ceci nécessite un personnel qualifié, qui prend en compte tous les paramètres structuraux et non structuraux pouvant jouer un rôle dans le comportement de la structure expertisée. Il n'est pas toujours évident de disposer des ressources humaines nécessaires ayant les qualifications voulues surtout en temps de crises, c'est-à-dire juste après l'occurrence d'un séisme.

La résilience des structures en béton armé face aux séismes représente un domaine crucial de l'ingénierie civile, visant à garantir la sécurité des occupants et la durabilité des bâtiments dans les zones sismiques à risque.

Dans ce contexte, la résilience des structures en béton armé revête une importance particulière, étant donné que le béton armé est l'un des matériaux de construction les plus largement utilisés dans le monde pour sa robustesse et sa capacité à supporter des charges importantes. Cette introduction vise à explorer les principaux aspects de la résilience des bâtiments en béton armé en cas de séisme, en mettant en lumière les défis, les avancées technologiques et les meilleures pratiques dans ce domaine critique de l'ingénierie structurelle selon American Concrete Institute (ACI).

La résilience des structures en béton armé dépend de plusieurs facteurs, notamment la conception parasismique, la qualité des matériaux de construction, les pratiques de construction et l'entretien régulier des bâtiments. Les avancées technologiques et les recherches en cours contribuent également à renforcer la résilience des structures en béton armé face aux séismes.

Dans ce chapitre nous allons développer une méthode, pour permettre aux ingénieurs et les experts dans le domaine de la construction, d'estimer la résilience des structures en béton armé. La méthode développée est basée sur l'évaluation des paramètres qui ont une influence sur la résilience sismique de ces structures.

## **2.2 Développement de la méthode d'estimation de la résilience**

La méthode d'estimation de la résilience, nous permet de faire un diagnostic préliminaire sur le comportement des constructions en béton armé vis-à-vis de l'action sismique. Cette méthode permet d'estimer la qualité sismique de ces constructions puis d'effectuer leur classification selon une échelle proposée.

### **2.2.1 Principe de la méthode**

La méthode développée pour l'estimation de la résilience est basée sur le calcul d'un indice de résilience « Ir » qui permet de classer une structure selon sa résilience, une classification étalée sur trois classes de résiliente a moins résiliente en fonction des plusieurs paramètres influençant sur le comportement résilient de la structure. La hiérarchisation des paramètres choisis a été faites en basant sur le processus « AHP ».

### **2.2.2 Les paramètres de la résilience**

La résilience des structures en béton armé lors de séismes dépend de plusieurs paramètres interdépendants, chacun jouant un rôle crucial dans la capacité globale de la structure à résister aux effets des secousses sismiques afin d'assurer sa résilience.

Les paramètres choisis pour l'estimation de la résilience des structures en béton armé sont : la conception parasismique (structure), Population (occupants) et l'Aléa

#### **1. Les structures**

Les structures en béton armé sont des éléments de construction constitués de béton renforcé par des armatures en acier, intégrées à la masse du béton pour améliorer sa résistance à la traction. Cette association de béton et d'acier confère aux structures en béton armé une résistance élevée à la compression, ainsi qu'une meilleure capacité à résister aux forces de flexion et de cisaillement. (RPA99 version 2003, Eurocode 2).

Ce paramètre, Structure, inclut les rebiques qui ont une relation directe sur le comportement sismique de la structure tel que la qualité d'exécution, la qualité des matériaux utilisés dans la structure ainsi que l'état des éléments résistants et les éléments non résistants.

#### **2. Les occupants**

Dans le domaine du bâtiment et de l'aménagement urbain, la notion de "population" revêt une importance particulière. Elle désigne l'ensemble des individus susceptibles d'occuper, d'utiliser ou de fréquenter un espace bâti ou une infrastructure. Cette population peut être hétérogène et se composer de différents groupes aux caractéristiques et aux besoins spécifiques. (Fahd, 2018) et (William, 2016).

### 3. Aléa

Un aléa est un événement potentiel, incertain et non contrôlable qui peut avoir des conséquences négatives sur un territoire ou une population. Il s'agit d'un phénomène naturel ou anthropique dont la survenance n'est pas prévisible avec certitude, mais dont la probabilité d'occurrence peut être estimée (Plateforme nationale de réduction des risques naturels - Les aléas).

#### 3.1 Types d'aléas :

Les aléas peuvent être classés en différentes catégories selon leur nature et leurs origines :

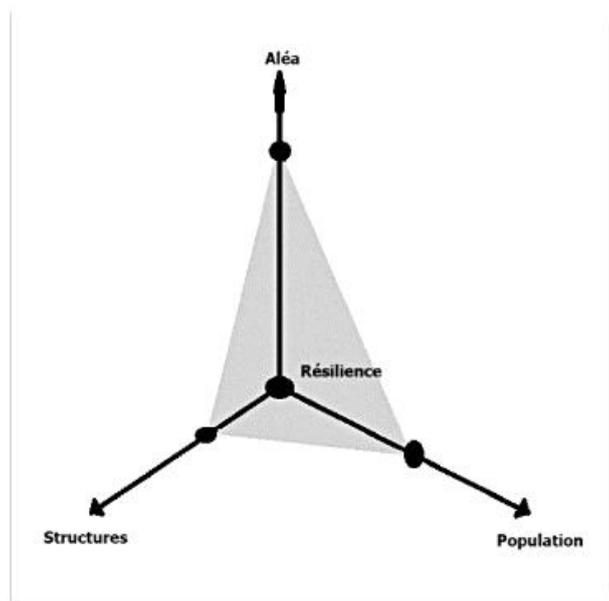
**Aléas naturels :** Il s'agit de phénomènes naturels tels que les inondations, les séismes, les cyclones, les éruptions volcaniques, les feux de forêt, etc.

**Aléas technologiques :** Ils sont liés à des activités humaines, comme les accidents industriels, les explosions, les pollutions, les ruptures de barrages, etc.

**Aléas sociétaux :** Ils concernent les risques liés aux activités humaines et aux interactions sociales, comme les conflits, les émeutes, les pandémies, les crises économiques, etc.

Il est à noter que nous nous intéressons dans notre travail à l'aléa naturel en particulier les séismes.

Sur cette base nous pouvons énoncer que la résilience est une corrélation entre la structure et population et Aléa(Figure2.1).

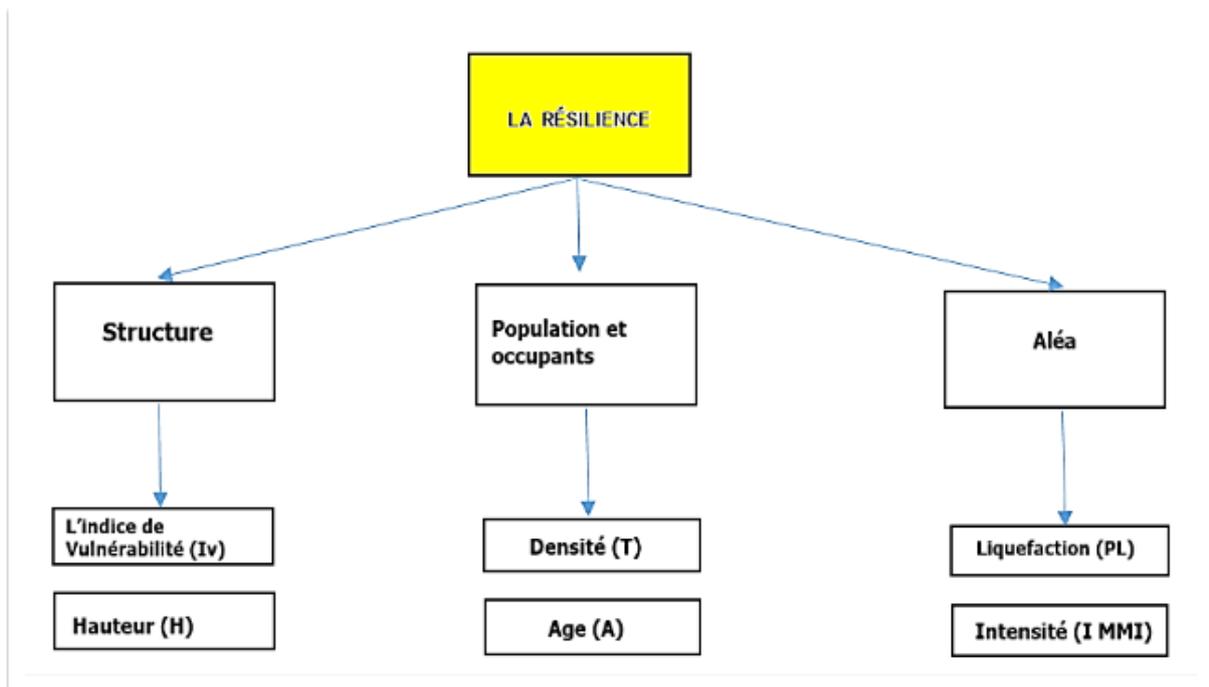


**Figure 2.1 :** Les paramètres de la Résilience.

Dans ce qui suit, L'évaluation de chaque paramètre de résilience prend en compte deux perspectives distinctes (les Rubriques) obtenus par la méthode de AHP. Ceci est résumé dans le tableau 2.1 et la Figure 2.2 suivant :

**Tableau 2.1** : les paramètres de la résilience.

Paramètres	Rubriques
Structure	L'indice de Vulnérabilité (Iv)
	Hauteur (H)
Population et occupants	Densité (T)
	Age (A)
Aléa	Liquefaction (PL)
	Intensité (I MMI)



**Figure 2.2:** Structure hiérarchique de la Résilience.

## 2.3 L'explication des Rubriques

### 2.3.1 L'indice de Vulnérabilité (Iv) :

L'indice de vulnérabilité « Iv » est un indicateur de l'état de la structure qui peut être estimé avant comme après l'occurrence de l'évènement sismique .il nous permet de connaître l'état des constructions d'une région et de les classer selon leur vulnérabilité.

En tenant compte de l'influence des éléments structuraux et non structuraux sur la réponse sismique de la construction. Les différents paramètres, pris en compte pour cette méthode, sont classés en trois catégories. Chaque paramètre a une valeur numérique exprimant la qualité sismique des éléments structuraux et non structuraux influant sur le comportement sismique de la construction.

La somme de ces valeurs numériques, représente l'indice de vulnérabilité « Iv » de la construction étudiée. Le paramètre ne peut prendre qu'une seule valeur et représente ainsi la classe à laquelle il appartient (Belheouane ,2006) et (Belheouane, a,2012). Nous avons distingué trois classes à savoir :

**-Classe A :** Dans cette catégorie, sont classés les paramètres ou les éléments réalisés selon le code parasismique en vigueur et donc présentant une bonne résistance au séisme.

**-Classe B :** Sont classés, dans cette catégorie, les éléments conçus selon les anciens codes ou sans tenir tout à fait compte des normes parasismiques lors de leur construction et qui présentent au moment de leur classification une assez bonne résistance.

**-Classe C :** Dans cette classe nous avons les paramètres vétustes ou ayant une mauvaise résistance au séisme.

#### **A. Définitions des paramètres identifiés :**

Les paramètres pris en considération pour les structures en béton armé sont déterminés comme suit :

- 1) Système de contreventement.
- 2) Qualité du système de contreventement.
- 3) Capacité sismique. (Annexe 01).
- 4) Type de sol.
- 5) Diaphragme horizontal.
- 6) Régularité en plan.
- 7) Régularité en élévation.
- 8) Qualité des nœuds.
- 9) Phénomène du poteau court.

- 10) Détails ou état des éléments non structuraux.
- 11) Maintenance.
- 12) Modifications
- 13) Entrechoquement.
- 14) Conditions du sol.

Ces paramètres sont soit de type descriptif ou typologique (comme le type du système de contreventement, la régularité en plan et en élévation, le type de sol, le type de plancher), soit de type qualificatif c'est-à-dire concerne la qualité de l'exécution, le respect des normes en vigueur et l'état de ces éléments (comme la qualité du système de contreventement, la qualité des nœuds, l'état des éléments non structuraux).

La définition des paramètres choisis pour l'application de la méthode de l'indice de vulnérabilité est basée sur le Règlement Parasismique Algérien RPA99 modifié en 2003 [RPA, 1999].

### **B. Détermination des coefficients de pondération**

Le coefficient « Ki » exprime le degré de vulnérabilité du paramètre. Dans notre méthode, les coefficients de pondération sont des chiffres positifs et augmentent avec l'augmentation de la vulnérabilité du paramètre. Ceci nous a permis de donner les coefficients « Ki » donnés dans le tableau (2.2), (Belheouane, b, 2012).

**Tableau 2.2 :** Les facteurs « Ki » pour chaque paramètre en fonction de leurs classes.

N°	Paramètre	Classe / Ki		
		Classe A	Classe B	Classe C
1	Système de contreventement	0	0.01	0.03
2	Qualité du système de contreventement	0.01	0.03	0.06
3	La capacité sismique	0	0.09	0.16
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	Conditions du sol	0.01	0.03	0.06

Trois classes sont définies pour chaque paramètre. Un paramètre peut appartenir à l'une des trois classes définies A, B et C.

### C. Classification

La classification de la structure est pu dire qu'une structure présente une bonne, moyenne ou mauvaise tenue au séisme en utilisant l'indice de vulnérabilité de cette dernière.

Pour ce faire, nous devons calculer cet indice. L'indice de vulnérabilité « Iv » s'exprime comme la somme des coefficients « Ki » que chaque paramètre prend en fonction de sa vulnérabilité. Ainsi :

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

L'indice de vulnérabilité est compris entre la valeur zéro (0) et la valeur un (1), où quand on se rapproche de la valeur zéro, la construction aura une bonne tenue au séisme, et quand on se rapproche de la valeur un, la structure sera classée plus vulnérable. Nous proposons la classification présentée dans le tableau (2.3). (Belheouane, b, 2012).

**Tableau 2.3 :** Classification des structures en fonction de leur « Iv ».

Classe	verte		Orange		Rouge
	1	2	3	4	5
Iv	0,10 - 0,25	0,25 - 0,40	0,40 - 0,55	0,55 - 0,70	0,70 - 1,00
Iv (moy)	0,150	0,300	0,475	0,625	0,850

Cinq classes de vulnérabilité sont proposées : Vert (1 et 2), Orange (3 et 4) et Rouge. Où dans les classes Vertes (1 et 2) nous trouvons les constructions qui ne nécessitent pas d'intervention. Dans les classes Oranges (3 et 4), les structures qui nécessitent un renforcement, une étude dans ce sens devra être effectuée. Quant à celles appartenant à la classe rouge, elles doivent être évacuées immédiatement et reconstruites.

### **2.3.2 Hauteur de la construction (H)**

Le Règlement parasismique en Algérie (**RPA**) définit la hauteur d'une construction en fonction de plusieurs critères, notamment :

- a) **Le nombre de niveaux** : La hauteur d'une construction est généralement exprimée en nombre de niveaux, en commençant par le rez-de-chaussée.
- b) **La hauteur des niveaux** : La hauteur de chaque niveau est définie par le **RPA**. La hauteur minimale d'un niveau est de 2,50 mètres, et peut être augmentée en fonction de l'usage de la construction.
- c) **La présence de combles** : Les combles aménagés font partie de la hauteur de la construction. Les combles perdus, non accessibles, ne sont pas comptabilisés dans la hauteur totale.
- d) **Les éléments architecturaux** : Certains éléments architecturaux, tels que les attiques ou les terrasses, peuvent être pris en compte dans la hauteur de la construction, mais uniquement à certaines conditions définies par le RPA.

### **2.3.3 La Densité (T) des populations dans la construction**

La densité est une grandeur physique qui exprime la quantité d'une substance contenue dans un volume donné ou une surface donnée. Elle se définit comme le rapport entre la masse d'un objet et son volume.

Autrement, c'est le nombre d'habitants par unité de surface, généralement exprimée en nombre d'habitants par mètre carré.

Pour exprimer mieux, C'est le nombre d'habitants dans une seule construction. Elle permet de mesurer l'intensité de l'occupation du sol par les constructions et les populations. La densité d'occupation des sols maximale autorisée est également fixée par le **RPA** en fonction de la zone d'implantation du projet et l'importance de l'ouvrage, sans oublier les règles d'urbanisme locales.

### **2.3.4 Age (A)**

L'âge est un terme utilisé pour désigner la période écoulée depuis la naissance d'une personne, d'un animal ou d'une chose. Il peut être exprimé en années, en mois, en semaines, en jours ou en heures, selon le contexte.

### **2.3.5 Liquéfaction (PL)**

La liquéfaction est un phénomène physique qui survient lorsqu'un matériau granulaire saturé en eau, comme le sable ou le limon, perd sa cohésion et se comporte comme un fluide sous l'effet d'une contrainte dynamique, généralement provoquée par un séisme. (Olsen,1960) et (Iwasaki,1978).

#### **2.3.5.1 La relation entre liquéfaction et la résilience**

La liquéfaction des sols est un risque important pour la résilience des bâtiments en cas de séisme. En prenant des mesures pour évaluer le risque de liquéfaction et en adoptant des techniques de construction appropriées, il est possible de construire des bâtiments plus résilients et de minimiser les dommages causés par les séismes. Lors d'un séisme, la liquéfaction du sol peut avoir des conséquences désastreuses sur les bâtiments, menaçant leur résilience face à de telles catastrophes naturelles.

#### **2.3.5.2 Facteurs influençant la liquéfaction :**

Plusieurs facteurs peuvent influencer la susceptibilité d'un sol à la liquéfaction, notamment (Andrus,2000) :

**Le type de sol :** Les sols sableux et limoneux sont plus susceptibles de se liquéfier que les sols argileux ou graveleux.

**La granulométrie du sol :** Les sols composés de grains fins et uniformes sont plus susceptibles de se liquéfier que les sols composés de grains de tailles variées.

**La teneur en eau du sol :** Un sol saturé en eau est plus susceptible de se liquéfier qu'un sol sec.

**La densité relative du sol :** Un sol dense est moins susceptible de se liquéfier qu'un sol meuble.

**L'intensité du séisme :** Un séisme plus fort est plus susceptible de provoquer la liquéfaction d'un sol.

Généralement il existe plusieurs moyens classiques de présenter l'aléa sismiques. Dans le domaine de génie civil nous utilisons en particulier la magnitude et l'intensité comme moyen de présentation.

### 1. Magnitude

La Magnitude sismique est une mesure objective et quantitative de la taille du tremblement de terre. L'échelle la plus connue est celle de Richter [Richter, 1935] et [Musson, 2009]. 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 donne le calcul de la magnitude.

$$M = \text{Log } A - \text{Log } AO$$

Où **A** est l'amplitude maximale enregistrée, **Log AO** est le facteur de calibrage. D'autres échelles de Magnitude existent aussi.

### 2. Intensité

C'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 ou la Grèce. 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 [ESC,2001].

Pour la méthode développée, nous avons choisi l'intensité du séisme comme outil d'évaluation (rubrique) dans le paramètre Aléa.

### **2.3.6 Intensité de séisme**

#### **a- Définition de l'intensité des séismes**

L'intensité des séismes, une mesure essentielle de la force et de l'impact perceptible d'un tremblement de terre, est généralement évaluée à l'aide de l'échelle de Mercalli. Cette échelle, mise au point par Giuseppe Mercalli en 1902, classe l'intensité sismique sur une échelle de I à XII, en fonction des dommages observés et de la réaction humaine. Elle prend en compte des facteurs tels que la force ressentie, les dommages aux bâtiments, les perturbations du terrain et les réactions des animaux pour évaluer l'ampleur des séismes.

Les données sur l'intensité des séismes sont collectées à partir de témoignages d'habitants et d'observations des dommages matériels, puis analysées par des organismes sismologiques comme le United States Geological Survey (USGS) et l'European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC) pour évaluer l'impact global d'un tremblement de terre. (Mercalli, G 1902)

Dans le domaine du génie civil, l'intensité des séismes est un concept crucial qui désigne les effets locaux d'un tremblement de terre sur les constructions et les infrastructures.

Pour comprendre l'intensité d'un séisme aide à mieux préparer et renforcer les infrastructures contre les futures secousses, assurant ainsi la sécurité et la durabilité des environnements bâtis en zones sismiques.

#### **b- Les Echelles d'intensité**

##### **1. L'échelle de mercali MM**

L'échelle de Mercalli, également connue sous le nom d'échelle de Mercalli Modifiée (MM), est un système de classification utilisé pour évaluer l'intensité des tremblements de terre en fonction des effets observés sur les structures et les personnes. Développée par les sismologues italiens Giuseppe Mercalli et Adolfo Cancani au début du XXe siècle, cette échelle classe les séismes de I « imperceptible » à XII « catastrophique » en fonction des dommages observés. Contrairement à l'échelle de Richter ou à celle de magnitude de moment, qui mesurent la quantité d'énergie libérée par un séisme, l'échelle de Mercalli se concentre sur les effets ressentis localement. Elle prend en compte des éléments tels que les dommages aux bâtiments, la sensation ressentie par les personnes et le comportement des animaux. Bien que moins précise pour évaluer la taille absolue d'un séisme, elle offre une compréhension plus nuancée de son impact sur les communautés humaines. (Mercalli, 1902). (Tableau 2.4).

Tableau 2.4 : Échelle de Mercalli modifiée (MM ou MMI) (Mercalli, 1902).

<b>Mercalli Scale ( Modified Mercelli Intensity)</b>		
<b>Degrés</b>	<b>Évaluation</b>	<b>Étendue des dégâts observés</b>
<b>I</b>	Instrumentale	Aucun mouvement n'est perçu. Le séisme n'est détecté que par des instruments sensibles et quelques personnes dans des conditions particulières
<b>II</b>	Très légère	Quelques personnes peuvent sentir un mouvement si elles sont au repos et/ou dans les étages élevés de grands immeubles.
<b>III</b>	Légère	À l'intérieur de bâtisses, beaucoup de gens sentent un léger mouvement. Les objets suspendus bougent. En revanche, à l'extérieur, rien n'est ressenti
<b>IV</b>	Assez forte	À l'intérieur, la plupart des gens ressentent un mouvement. Les objets suspendus bougent, mais aussi les fenêtres, plats, assiettes, loquets de porte.
<b>V</b>	Moyenne	La plupart des gens ressentent le mouvement. Les personnes sommeillant sont réveillées. Les portes claquent, la vaisselle se casse, les tableaux bougent, les petits objets se déplacent, les arbres oscillent, les liquides peuvent déborder de récipients ouverts.
<b>VI</b>	Forte	Tout le monde sent le tremblement de terre. Les gens ont la marche troublée, les objets et tableaux tombent, le plâtre des murs peut se fendre, les arbres et les buissons sont secoués. Des dommages légers peuvent se produire dans des bâtiments mal construits, mais aucun dommage structurel.
<b>VII</b>	Très forte	Les gens ont du mal à tenir debout. Les conducteurs sentent leur voiture secouée. Quelques meubles peuvent se briser. Des briques peuvent tomber des immeubles. Les dommages sont modérés dans les bâtiments bien construits, mais peuvent être considérables dans les autres.
<b>VIII</b>	Destructrice	Les chauffeurs ont du mal à conduire. Les maisons avec de faibles fondations bougent. De grandes structures telles que des cheminées ou des immeubles, peuvent se tordre et se briser. Les bâtiments bien construits subissent de légers dommages, contrairement aux autres qui en subissent

		de sévères. Les branches des arbres se cassent. Les collines peuvent se fissurer si la terre est humide. Le niveau de l'eau dans les puits peut changer.
<b>IX</b>	Dévastatrice	Tous les immeubles subissent de gros dommages. Les maisons sans fondations se déplacent. Quelques conduits souterrains se brisent. La terre se fissure.
<b>X</b>	Désastreuse	La plupart des bâtiments et leurs fondations sont détruits. Il en est de même pour quelques ponts. Des barrages sont sérieusement endommagés. Des éboulements se produisent. L'eau est détournée de son lit. De larges fissures apparaissent sur le sol. Les rails de chemin de fer se courbent.
<b>XI</b>	Catastrophique	La plupart des constructions s'effondrent. Des ponts sont détruits. Les conduits souterrains sont détruits.
<b>XII</b>	Cataclysmique	Presque tout est détruit. Le sol bouge en ondulant. De grands pans de roches peuvent se déplacer.

## 2. L'échelle de EMS 98

L'échelle EMS 98, ou l'échelle macrosismique européenne de 1998, est un système de classification utilisé pour évaluer l'intensité des tremblements de terre en Europe. Développée par le groupe de travail du projet SARA, cette échelle a pour objectif de standardiser la description des effets observés lors d'un séisme en utilisant une terminologie commune et des critères d'évaluation précis. L'échelle EMS 98 classe les séismes de I « non ressenti » à XII « extrêmement dévastateur » en se basant sur les effets ressentis par les personnes, les dommages causés aux structures et à l'environnement, ainsi que sur d'autres paramètres liés à l'impact du séisme sur les communautés humaines. Elle fournit ainsi une évaluation détaillée de l'intensité des séismes, complémentaire aux mesures de magnitude qui évaluent la quantité d'énergie libérée. L'échelle EMS 98 est largement utilisée dans les études sismologiques en Europe pour

évaluer l'impact des tremblements de terre sur les populations et les infrastructures. (Grünthal ,1998).

L'échelle d'intensité macrosismique Européenne EMS98 permet d'estimer les dommages observés sur différents types de structure. Cette méthode utilise l'intensité comme donnée d'entrée du séisme. Elle a été définie à l'origine pour caractériser les régions autour des épicentres des séismes en fonction des effets sur les constructions, les objets et les personnes. (Lang, K ,2002) et (Giovinazzi,2005).

**Tableau 2.5 :** EMS98 [l'échelle macrosismique européenne de 1998].

<b>EMS 98 (l'échelle macrosismique européenne de 1998 )</b>		
<b>Intensité EMS</b>	<b>Définition</b>	<b>Étendue des dégâts observés</b>
<b>I</b>	Non ressenti	Non ressenti
<b>II</b>	Rarement ressenti	Ressenti uniquement par quelques personnes au repos dans les maisons.
<b>III</b>	Faible	Ressenti à l'intérieur des habitations par quelques personnes. Les personnes au repos ressentent une vibration ou un léger tremblement.
<b>IV</b>	Largement observé	Ressenti à l'intérieur des habitations par de nombreuses personnes, à l'extérieur ressenti par très peu de personnes. Quelques personnes sont réveillées. Les fenêtres, les portes et la vaisselle vibrent.
<b>V</b>	Fort	Ressenti à l'intérieur des habitations par la plupart, à l'extérieur par quelques personnes. De nombreux dormeurs se réveillent. Quelques personnes sont effrayées. Les bâtiments tremblent dans leur ensemble. Les objets suspendus se balancent fortement. Les petits objets sont déplacés. Les portes et les fenêtres s'ouvrent ou se ferment.
<b>VI</b>	Dégâts légers	De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Chute d'objets. De nombreuses maisons subissent des dégâts non structuraux comme de très fines fissures et des chutes de petits morceaux de plâtre.

<b>VII</b>	Dégâts	La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Les meubles se déplacent et beaucoup d'objets tombent des étagères. De nombreuses maisons ordinaires bien construites subissent des dégâts modérés : petites fissures dans les murs, chutes de plâtres, chutes de parties de cheminées; des bâtiments plus anciens peuvent présenter de larges fissures dans les murs et la défaillance des cloisons de remplissage.
<b>VIII</b>	Dégâts importants	De nombreuses personnes éprouvent des difficultés à rester debout. Beaucoup de maisons ont de larges fissures dans les murs. Quelques bâtiments ordinaires bien construits présentent des défaillances sérieuses des murs, tandis que des structures anciennes peu solides peuvent s'écrouler.
<b>IX</b>	Destructions	Panique générale. De nombreuses constructions peu solides s'écroulent. Même des bâtiments bien construits présentent des dégâts très importants : défaillances sérieuses des murs et effondrement structural partiel.
<b>X</b>	Destructions importantes	De nombreux bâtiments bien construits s'effondrent.
<b>XI</b>	Catastrophe	La plupart des bâtiments bien construits s'effondrent, même ceux ayant une bonne conception parasismique sont détruits.
<b>XII</b>	Catastrophe généralisée	Pratiquement tous les bâtiments sont détruits.

### 3. L'échelle de MSK

L'échelle MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) est un système de classification utilisé pour évaluer l'intensité des tremblements de terre en fonction des effets observés sur les structures et les personnes. Développée par les sismologues russes Igor Medvedev, Felix Sponheuer et Vít Kárník dans les années 1960, cette échelle classe les séismes de I (non ressenti) à XII (extrêmement dévastateur) en se basant sur les dommages ressentis par les populations et les bâtiments. Contrairement aux échelles de magnitude, qui mesurent la quantité d'énergie libérée par un séisme, l'échelle MSK se concentre sur les conséquences concrètes d'un séisme

sur les zones touchées. Elle prend en compte des éléments tels que l'intensité des secousses, les dommages aux structures, les perturbations dans l'environnement et le comportement des habitants. L'échelle MSK est utilisée principalement dans les régions d'Europe de l'Est et d'Asie centrale, où elle fournit une évaluation détaillée de l'impact des tremblements de terre sur les communautés locales. (Medvedev,1965), (Tableau 2.6).

**Tableau 2.6:** Échelle Medvedev-Sponheuer-Karnik, Degrés d'intensité [Medvedev.1956].

Degré	Dégâts observés
I	Seuls les sismographes très sensibles enregistrent les vibrations.
II	Secousses à peine perceptibles; quelques personnes au repos ressentent le séisme.
III	Vibrations comparables à celles provoquées par le passage d'un petit camion.
IV	Vibrations comparables à celles provoquées par le passage d'un gros camion.
V	Séisme ressenti en plein air; les dormeurs se réveillent.
VI	Les meubles sont déplacés.
VII	Quelques lézardes apparaissent dans les édifices.
VIII	Les cheminées des maisons tombent.
IX	Les maisons s'écroulent. Les canalisations souterraines sont cassées.
X	Destruction des ponts et des digues. Les rails de chemin de fer sont tordus.
XI	Les constructions les plus solides sont détruites. Grands éboulements.
XII	Les villes sont rasées. Bouversements importants de la topographie. Fissures visibles à la surface.

#### 4. Echelle De Shindo ou (JMA)

L'échelle de Shindo, également connue sous le nom d'échelle d'intensité sismique japonaise, est un système de classification utilisé au Japon pour évaluer l'intensité des tremblements de terre. Développée par le **Japan Meteorological Agency (JMA)**, cette échelle mesure les séismes sur une échelle de 0 à 7 en fonction des effets ressentis par les populations et des dommages observés sur les structures. Contrairement aux échelles de magnitude, qui

évaluent la quantité d'énergie libérée par un séisme, l'échelle de Shindo se concentre sur les sensations subjectives éprouvées par les personnes et sur les dégâts matériels. Elle prend en compte des éléments tels que l'amplitude et la durée des secousses, ainsi que la nature des dommages causés aux bâtiments et aux infrastructures. L'échelle de Shindo est largement utilisée au Japon pour fournir des informations rapides sur l'impact des tremblements de terre et guider les mesures d'urgence. (JMA,1996). (Tableau 2.7)

**Tableau 2.7** : Japan Meteorological Agency (JMA).

Niveau de Shindo	Description des effets typiques
0	Aucune secousse ressentie.
1	Secousse très légère, ressentie uniquement par quelques personnes à l'intérieur, rarement ressentie à l'extérieur.
2	Secousse faible, ressentie par quelques personnes à l'intérieur, rarement ressentie à l'extérieur.
3	Secousse modérée, ressentie par la plupart des personnes à l'intérieur, peut être ressentie à l'extérieur.
4	Secousse forte, ressentie par la plupart des personnes à l'intérieur, peut être ressentie à l'extérieur.
5-	Secousse très forte à violente, ressentie par presque tout le monde à l'intérieur, peut causer des dommages légers à modérés aux bâtiments.
5+	Secousses très importantes, la plupart des personnes ont du mal à rester debout
6-	Secousse violente, ressentie par presque tout le monde à l'intérieur, peut causer des dommages modérés à graves aux bâtiments.
6+	Mouvements très violents, effondrement partiel de structures
7	Destruction totale des structures, mouvements extrêmes

**c- Comparaison des valeurs d'Intensité entre les différentes échelles d'Intensité**

Lorsque l'on compare les valeurs d'intensité entre les différentes échelles sismiques telles que MMI (Modified Mercalli Intensity), Shindo(JMA), MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) et EMS 98 (European Macroseismic Scale 1998), il est important de noter que chaque échelle utilise des critères différents pour évaluer l'impact d'un séisme sur les personnes, les bâtiments et l'environnement même si ces échelles partagent un objectif commun. Par exemple, l'échelle

MMI se concentre sur les effets ressentis et les dommages observés, tandis que l'échelle Shindo met l'accent sur les sensations subjectives et les réactions humaines au séisme. De plus, l'échelle MSK prend en compte des facteurs tels que l'intensité des secousses et les dommages structuraux, tandis que l'échelle EMS 98 considère une gamme plus large de facteurs environnementaux et sociaux. Ainsi, les valeurs d'intensité attribuées à un même séisme peuvent varier selon l'échelle utilisée, reflétant les différences dans les méthodologies et les critères de chaque système d'évaluation. (Medvedev,1965) Et (Grünthal,1998).

#### **d- La différence entre les échelles MSK.EMS98.MM.SHINDO**

Les échelles d'intensité sismique, telles que MMI (Modified Mercalli Intensity), Shindo, MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik), et EMS 98 (European Macroseismic Scale 1998), sont conçues pour évaluer les effets ressentis des tremblements de terre sur les personnes, les bâtiments et l'environnement. Bien qu'elles partagent un objectif commun, il existe des différences dans la manière dont elles quantifient et classifient l'intensité des séismes. Par exemple, l'échelle MMI et l'échelle EMS 98 utilisent des niveaux de I à XII pour décrire l'intensité des tremblements de terre, tandis que l'échelle Shindo utilise une échelle de 0 à 7. De plus, les critères spécifiques pour attribuer un niveau d'intensité peuvent varier entre ces échelles en fonction des effets ressentis par les populations locales, des dommages aux bâtiments et de l'impact sur l'environnement. Par exemple, l'échelle Shindo, utilisée au Japon, met davantage l'accent sur les sensations subjectives ressenties par les personnes et les effets sur les bâtiments japonais spécifiques, tandis que l'échelle EMS 98 est conçue pour une utilisation plus large en Europe et prend en compte une gamme plus large de facteurs environnementaux. En comparant les valeurs d'intensité données par ces différentes échelles pour un même événement sismique, il est important de comprendre les différences dans les méthodologies et les critères utilisés par chaque échelle. (Grüntha, 1998).

Nous précisons que dans notre étude de résilience des structures en béton armé, nous avons choisi l'intensité MMI comme une rubrique de classification.

L'utilisation de la méthode processus d'analyse hiérarchique AHP pour la détermination des pondérations de chaque paramètre

L'ampleur du paramètre par rapport aux autres paramètres était faite en utilisant le principe de la méthode Processus d'analyse hiérarchique AHP.

## **2.4 Développement de la Méthode "AHP"**

### **2.4.1 Processus d'analyse hiérarchique "AHP"**

Le processus d'analyse hiérarchique (AHP) est une approche analytique multicritères d'aide à la décision développé par Saaty (Saaty, 1980)

La méthode AHP est construite à partir de différents niveaux de critères. Elle permet ainsi:

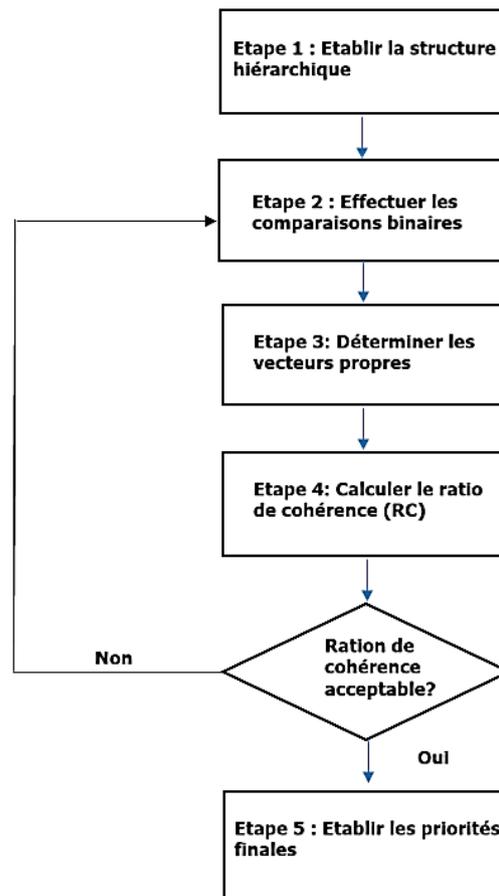
- De définir l'objectif et de décomposer un problème complexe en différents critères ;
- De modéliser ces critères sous la forme d'une structure hiérarchique ;
- De quantifier l'importance relative de chaque critère à partir de jugements ;
- Et enfin, de synthétiser l'importance relative de chaque critère de la hiérarchie en une référence globale afin de déterminer des priorités parmi les alternatives potentielles.

La méthode AHP a été appliquée pour la résolution de nombreux problèmes et a été implantée dans plusieurs logiciels d'aide à la décision. Le logiciel Expert Choice développé par Forman et Saaty (1980) se trouve au premier rang de ces logiciels.

### **2.4.2 Méthodologie**

La méthode AHP utilise une structure hiérarchique à plusieurs niveaux d'objectifs, de critères, de sous-critères, et d'alternatives. Pour chaque niveau de la hiérarchie, des comparaisons par paires sont effectuées. Ces comparaisons binaires sont utilisées pour obtenir les poids d'importance des critères de décision (pondération) et les mesures de la performance relative des alternatives.

La méthodologie de l'AHP se déroule en cinq étapes (Bhushan & Rai, 2004). Nous les avons schématisées comme suit (figure 2.3).



**Figure 2.3:** Etapes de la Méthode “AHP”.

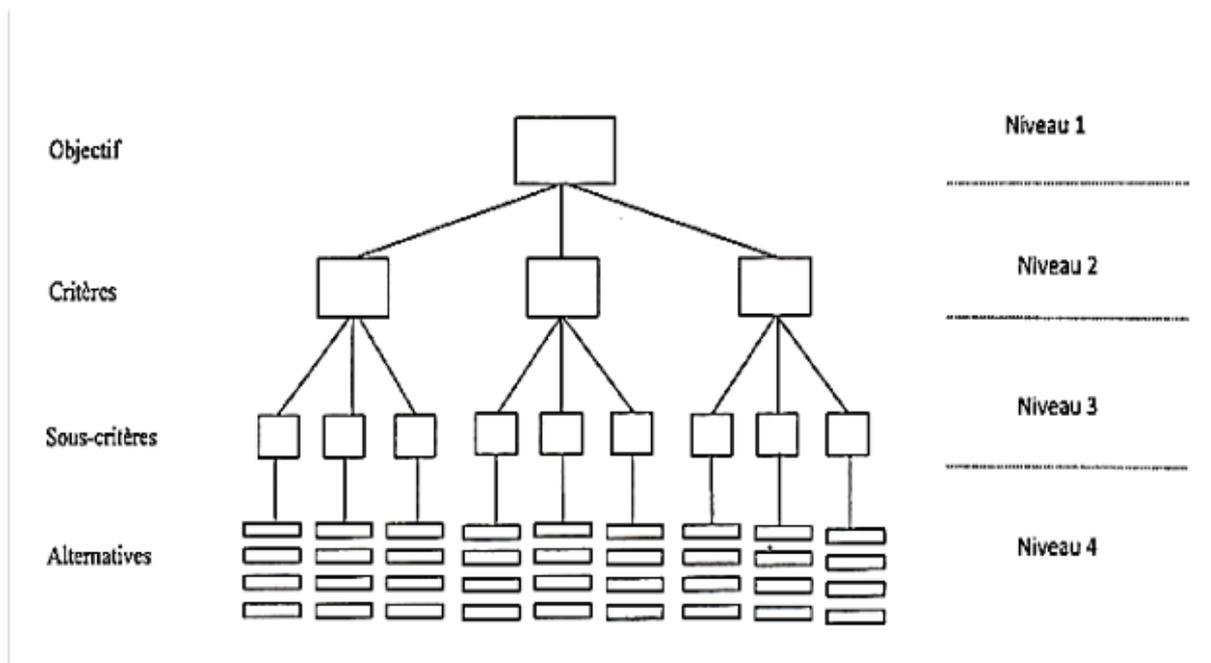
Les différentes étapes sont détaillées ci-dessous :

#### ❖ **Étape 1: Etablir la structure hiérarchique**

Décomposer le problème en une hiérarchie de buts, de critères, de sous-critères et d'alternatives. C'est la partie la plus créative et plus importante de la prise de décision.

- Le premier niveau de la structure hiérarchique correspond à l'objectif.
- Le second niveau correspond aux différents critères d'analyse pouvant influencer la prise de décision. La méthode AHP permet d'inclure différents sous-niveaux dans le but de préciser davantage un critère en le divisant en sous-critères.
- Le dernier niveau correspond aux alternatives, c'est-à-dire aux différentes solutions possibles permettant d'atteindre l'objectif (Figure 2.4).

La Hiérarchie indique une relation entre les éléments d'un niveau et ceux du niveau immédiatement inférieur. Cette relation s'infiltré aux plus bas niveaux de la hiérarchie et de cette manière chaque élément est relié à tous les autres, au moins de manière indirecte.



**Figure 2.4:** Structure hiérarchique générique de la méthode AHP. (Adamcsek,2008).

En théorie, le nombre de niveaux d'une hiérarchie n'est pas limité. Il dépend de la complexité du problème et du degré de détails requis par le décideur. Dans de nombreuses situations, le nombre de niveaux peut être volontairement augmenté pour faciliter l'analyse des comparaisons et pour augmenter la cohérence et la précision des jugements formulés (Bhushan & Rai, 2004).

#### ❖ **Étape 2: Effectuer les comparaisons binaires**

Il s'agit de procéder à la comparaison par paire (ou comparaison binaire) des éléments de chaque niveau par rapport à un élément du niveau hiérarchique supérieur et construire les matrices de comparaison sur la base de la comparaison binaire effectuée.

#### ❖ **Étape 3: Déterminer les vecteurs propres**

Calculer le vecteur propre (eigenvector) de chaque matrice de comparaison, afin d'obtenir une estimation des priorités relatives des critères étudiés. Les vecteurs propres normalisés des matrices sont appelés « les poids » selon le cas des critères ou des sous critères. Le vecteur propre  $W$  est défini par :

$$A \cdot W = \lambda_{\max} \cdot W$$

Où A est la matrice de comparaison.

Et  $\lambda_{\max}$  est la valeur propre maximale de la matrice A

$$\text{Tel que: } \sum_{i=1}^n w = 1$$

#### ❖ Etape 4 : Calculer le ratio de cohérence (RC)

Evaluer la consistance de la matrice de comparaison en vérifiant la cohérence des jugements pour s'assurer que les poids relatifs ou priorités ne sont pas dictés arbitrairement ou aléatoirement par le décideur. La matrice de comparaison est dite cohérente si elle satisfait la propriété de transitivité suivante (Saaty, 1980) :

$$a_{ij} = a_{ik} \times a_{kj} \quad \text{avec } i, j, k=1, \dots, n$$

#### ❖ Etape 5 : Etablir les priorités finales

Distribuer les poids relatifs pour chacun des niveaux de la hiérarchie afin de pouvoir calculer les priorités d'ensemble.

Le score de chaque alternative est multiplié par les coefficients de pondération des sous-critères et agrégé pour obtenir des scores locaux par rapport à chaque critère.

Les scores locaux sont alors multipliés par les coefficients de pondération des critères du niveau considéré puis agrégés pour obtenir une note globale.

L'AHP permet ainsi d'obtenir les valeurs de poids  $P_i$  pour chaque alternative

$$P_i = \sum_{j=1}^k w_i v_j c_{ji}$$

Avec  $w_i$ , le poids des critères ( $i=1, \dots, n$ ), et  $v_j$  le poids des sous-critères ( $j=1, \dots, k$ ) et si les scores attribués à l'alternative du sous-critère j du critère i.

Le score global pour chaque alternative est donné par :

$$W = \sum_{i=1}^n p_i$$

### 2.4.3 Utilisation de la méthode

La méthode AHP fut initialement développée par Saaty au début des années soixante-dix afin d'étudier les différentes options possibles pour répondre aux besoins d'armement des États-Unis (Yanga & Shia, 2002), (Bhushan & Rai, 2004). Les premières applications ont été

pratiquées dans le domaine de la prise de décision environnementale (gestion des déchets, traitement des eaux, installation de décharges...) (Ennaouri, 2010).

Par ailleurs les domaines qui ont très largement appliqué l'AHP sont la santé, la défense, la planification, les prévisions technologiques, la gestion de risques, le management, le marketing, l'économie, les sciences sociales, etc (Bagchi et Rao, 1992), (Triantaphyllou & Mann, 1995), (Al-Harbi, 2001), (Yanga & Shia, 2002), (Gagné & Gharbi, 2003), (Bhushan & Rai, 2004), (Del Vecchio, 2006). Ce ne sont là que quelques exemples de l'utilisation de la méthode AHP. En effet, le nombre d'utilisations de la méthode AHP est fort impressionnant dans la littérature scientifique (Fumey, 2001).

#### **2.4.4 Limites et avantages de la méthode**

De par sa formulation, la méthode AHP présente des avantages et quelques limites que nous allons présenter.

##### **2.4.4.1 Limites**

Les principales critiques formulées à l'utilisation de la méthode AHP concerne le renversement du rang des options dit « rank reversal » lors de l'ajout ou la suppression de critères. En d'autres termes, si un critère est ajouté (ou supprimé) de l'analyse, les critères existants perdraient (ou gagneraient) de la priorité (Bhushan & Rai, 2004), (Del Vecchio, 2006), (Ishizaka & Labib, 2009). Malgré cette critique majeure, il est très important de noter qu'un renversement du rang n'invalide en rien la méthode AHP. Par exemple, l'addition d'un choix très intéressant pour le décideur peut avoir pour effet de changer la répartition des critères de préférences et ainsi de modifier l'ordre des options préalablement établi. On parle alors du mode distributif de la méthode AHP (DelVecchio, 2006). De plus un grand nombre d'éléments dans le problème de décision fait exploser le nombre de comparaisons par paires. De plus, le choix d'une échelle de 1 à 9 n'est pas justifié mathématiquement (Ishizaka & Labib, 2009).

##### **2.4.4.2 Avantages**

Les points forts de la méthode AHP sont la modélisation du problème de décision par une structure hiérarchique qui facilite la compréhension et l'analyse du problème. Elle permet de comparer des critères de différentes natures et d'intégrer plus facilement des critères tant objectifs que subjectifs, tant qualitatifs que quantitatifs, tangibles et intangibles. Elle peut être utilisée par un seul décideur ou un groupe de décideur qui peuvent construire chacun de son côté les matrices de comparaison nécessaires. Une moyenne géométrique sera calculée pour trouver les matrices définitives (Del Vecchio, 2006).

En outre, l'avantage incontestable de l'AHP sur toutes les autres méthodes multicritères repose sur le fait que c'est l'unique méthode qui comporte une procédure pour évaluer systématiquement la cohérence des choix. Cette vérification de la cohérence permet de s'assurer que l'analyse menée n'est pas arbitraire ou erronée (Aguarón, Juan & Moreno-Jiménez, José María, 2003), (Bhushan & Rai, 2004), (Adamcsek, 2008). Le logiciel Expert Choice a largement contribué au succès de la méthode (Ishizaka & Labib, 2009). Toutefois, malgré les calculs complexes sur lesquels elle est basée, cette méthode peut être programmée et les modifications et développements qu'elle connaît peuvent l'être également.

Finalement, malgré les controverses et les problèmes rencontrés par la technique de la AHP, elle fait partie de la vaste gamme de méthodes d'analyses multicritères qui continuent à être développées. Par ailleurs, depuis quelques années, son application dans divers domaines revient en force et son utilisation dans les études de risque est de plus en plus fréquente.

Dans le cadre de l'évaluation de la résilience sismique, plusieurs chercheurs ont récemment utilisé la méthode AHP pour l'évaluation de la résilience des ponts, des tunnels, des réseaux, des bâtiments, et à une plus grande échelle des zones urbaines (Yousfi, 2024).

L'utilisation du principe de la méthode AHP pour le calcul de la pondération des facteurs, et des rubriques pour la méthode développée pour l'estimation de la résilience des constructions en béton armé sont regroupés dans le tableau suivant (tableau 2.8).

**Tableau 2.8 :** la pondération des facteurs, des paramètres et des rubriques.

Paramètres	poids	Rubriques	poids
structure	<b>0,581</b>	L'indice de Vulnérabilité (Iv)	<b>0.750</b>
		Hauteur (H)	<b>0.250</b>
Population et occupants	<b>0,309</b>	Densité (T)	<b>0.667</b>
		Age (A)	<b>0.333</b>

Aléa	<b>0,110</b>	Liquéfaction	<b>0.333</b>
		Intensité	<b>0.667</b>

Par la suite, nous avons proposé des classes de distribution pour chaque rubrique ainsi que leurs scores correspondants, (voir le tableau 2.9).

**Tableau 2.9** : Les facteurs de pondérations pour les différentes classes de distribution.

Paramètre	Poids (Pp)	Rubrique	Poids (Pr)	Facteur	Scores (Sf)
Structure	<b>0,581</b>	L'indice de Vulnérabilité (Iv)	<b>0,750</b>	0.10< Iv<0.40 [belheouane,2013]	<b>20</b>
				0.40<Iv<0.70	<b>60</b>
				0.70<Iv<1.00	<b>100</b>
		Hauteur (H)	<b>0,250</b>	H<8 m [RPA2003]	<b>10</b>
				8m<H<20m	<b>30</b>
				20<H<33 m	<b>50</b>
				33m <H<48 m	<b>80</b>
				H> 48 m	<b>100</b>
Occupants	<b>0,110</b>	Densité (P)	<b>0,667</b>	Public de + 300 personnes [RPA2003]	<b>100</b>
				100< P < 300 personnes	<b>70</b>
				20<P <100	<b>30</b>
				p< 20	<b>10</b>
		Age (A)	<b>0,333</b>	A< 14 ans et A>65 ans	<b>100</b>
				14<A<65 ans	<b>20</b>
Aléa	<b>0,309</b>	Liquéfaction	<b>0,167</b>	Pl<5 (Bahi, 2010)	<b>20</b>
				5-15	<b>60</b>
				Sup 15	<b>100</b>

		Intensité (I)	0,833	I ≤ 5 MMI [bel ; 2015]	20
				5 ≤ I ≤ 7 MMI	40
				7 ≤ I ≤ 9 MMI	60
				9 ≤ I ≤ 10 MMI	80
				I ≥ 10 MMI	100

### 2.5 Classification

Pour les structures en béton armé, un indice de résilience sismique ( $I_r$ ) a été défini. Cet indice est calculé en tenant compte de plusieurs paramètres, rubriques et facteurs. Ces derniers ne peuvent prendre qu'une seule valeur de distribution. La valeur choisie aura un Scor correspondant. Alors l'indice de la résilience de la structure sera la somme de la somme du produit des Scor fois le poids des rubriques de tous les paramètres.

$$I_r = \sum_1^3 Pp * \sum_1^f Pr * Sf$$

Donc, l'indice de résilience  $I_r$  sera compris entre la valeur dix-sept (17) et la valeur un (100), où quand on se rapproche de la valeur dix-sept, la construction sera résiliente au séisme, et quand on se rapproche de la valeur cent, la structure sera classée moins résiliente. Nous proposons la classification présentée dans (Tableau 2.10).

**Tableau 2.10** : Classification de la Résilience.

	Résiliente vert	Moyenne orange	Non résiliente rouge
<b>Classe de la résilience</b>			
<b>Indice de résilience (<math>I_r</math>)</b>	17-40	40-70	70-100

Trois classes de résilience sont proposées : Vert, Orange et Rouge. Où dans la classe Vert nous trouvons les constructions qui ne nécessitent pas d'intervention et qui représentent un bon comportement sismique d'où elles sont résilientes. Dans la classe Orange, les structures qui nécessitent un renforcement, une étude dans ce sens devra être effectuée. Quant à celles appartenant à la classe rouge, elles doivent être évacuées immédiatement et reconstruites.

## **2.6 Conclusion**

Un indice de résilience sismique ( $I_r$ ) a été développé pour les structures en béton armé. Cet indice est calculé en prenant en compte plusieurs paramètres clés identifiés à partir de l'analyse du comportement des structures lors de séismes passés.

Chaque paramètre peut prendre une valeur, en fonction de la conception (facteurs géométriques, matériaux utilisés, l'Intensité du séisme, les habitants, etc....). Cette méthodologie permet d'établir une classification des constructions en fonction de leur capacité à résister et à se rétablir face à un tremblement de terre.

Dans le chapitre suivant, nous avons appliqué la Méthode d'estimations de la Résilience sur des constructions en béton armé. Le développement d'une fiche d'évaluation des paramètres influençant sur la résilience d'une structure en béton armé sera présenté aussi.

**CHAPITRE 03**

**APPLICATION DE METHODE**

**D'ESTIMATION DE LA RESILIENCE D'UN**

**BETON ARME**

## CHAPITRE 03

### APPLICATION DE LA METHODE

#### D'ESTIMATION DE LA RESILENCE D'UN BETON ARME

##### **3.1 Introduction**

Dans ce chapitre nous allons présenter une fiche technique élaborée dans le but d'expertiser ou d'évaluer des constructions en béton armé. Une enquête a été menée sur site afin de récolter les informations et renseigner la fiche technique dans le but de déterminer l'indice de résilience des structures en béton armé. Plusieurs exemples de constructions seront traité dans la commune de Beni-Mered wilaya de Blida classée comme une zone de forte sismicité selon le règlement parasismique Algérien.

##### **3.2 Elaboration de la fiche technique**

Notre fiche d'enquête regroupe l'ensemble des informations permettant le calcul de l'indice de la résilience. Cette fiche comprend les parties principales suivantes :

###### **❖ 1<sup>er</sup> Partie : Données générales :**

Dans cette partie, nous trouvons les renseignements généraux de la construction :

- L'adresse de la construction.
- L'âge.
- L'usage de la structure... Etc.

###### **❖ 2<sup>ème</sup>Partie : Caractéristiques géométriques :**

Nous trouvons :

- Le nombre de niveaux dans la structure.
- La longueur et la largeur totales de la structure.
- Le nombre des poteaux, des poutres et des voiles.
- La forme en plan et en élévation, Etc.

###### **❖ 3<sup>ème</sup> partie : Système structural :**

Cette partie désigne le type et la qualité du système structural.

###### **❖ 4<sup>ème</sup>Partie : Le sol :**

- Nous trouvons dans cette partie.
- Le type de sol (rocheux, ferme, meuble, ...).

- L'implantation de l'ouvrage (sur terrain accidenté, sur terrain instable, au bord d'une rivière...).

❖ **5<sup>ème</sup>Partie : Eléments non structuraux :**

Cette partie regroupe les informations sur l'état et la qualité des éléments non structuraux (état des balcons, état de l'acrotère, état du garde-corps...), ainsi que l'état des divers réseaux qui agissent sur la fonctionnalité de la structure (état du réseau gaz, état du réseau électrique, état du réseau d'assainissement...).

❖ **6<sup>ème</sup> partie : maintenance :**

Dans cette partie, nous trouvons les informations indiquant l'état général de la structure et de son entretien.

A la fin de cette fiche, Nous trouvons une légende comprenant des schémas explicatifs du phénomène du poteau court, avec la façon de calculer la hauteur minimale de ce poteau court (**voir annexe 1**).

La fiche technique élaborée se présente comme suit :

**Fiche Technique Pour Les**

**Construction En Béton Armé**

N° : .....Date : ..... / ..... / ..... /

Wilaya : .....

Commune : .....

Adresse : .....

**Type de la construction**

Bâtiment <input type="checkbox"/>	Maison <input type="checkbox"/>	Individuelle <input type="checkbox"/>	Hangar <input type="checkbox"/>	Usine <input type="checkbox"/>	Précaire <input type="checkbox"/>
Autre (Préciser).....					

**Usage de la construction**

Habitation <input type="checkbox"/>	Hospitalier <input type="checkbox"/>	Commercial <input type="checkbox"/>	Administration <input type="checkbox"/>
Sportif <input type="checkbox"/>	Industriel <input type="checkbox"/>	Scolaire <input type="checkbox"/>	Socioculturel <input type="checkbox"/>

Hydraulique  Lieu De Culte  Autre ( Préciser).....

**Date de La Construction (Approximativement)**

Conçue :

En Période Coloniale  Après : 1983  1988  1999  2003  2024

**Type du sol**

Rocheux  Ferme  Meuble  Très Meuble  Inconnu

Présence du sable dans les couches Oui  Non

Présence de la nappe phréatique Oui  Non

**L'inclination**

-Y A-t'il une présence d'inclination de la structure **ce n'est pas inclinaison**

Oui  inconnu  Non

Si oui dans ce cas, il faut voir dans le rapport de géotechnique si peut y'avoir présence du phénomène de liquéfaction

**Implantation de l'ouvrage**

L'ouvrage est-il Implanté :

-Sur un terrain instable (Tassant, Etc.) Oui  Non

-Abords d'une falaise Oui  Non

-En haut ou en bas d'une colline Oui  Non

-Abords d'une rivière ou d'un oued Oui  Non

-Sur un terrain accidenté avec changement de pente importante Oui  Non

**Système de contreventement**

- Portique Auto-stable sans remplissage de la maçonnerie
- Portique auto-stable avec remplissage de la maçonnerie
- Voile Porteurs
- Mixte Portique / Voile
- Mixte Portique / Voile avec interaction
- Ossature contreventée par Noyau
- Autre (Préciser) :.....

**Plancher en**

- Béton Armé  Charpente Métallique  Bois  Autre(Préciser).....
- Présence de vide sur les planchers Oui  Non

**Type de toiture**

- Accessible  inaccessible

**Toiture en**

- Béton Armé  Charpente Métallique  Bois  Tuile  Eternit
- Autre(Préciser).....

**La construction est**

- A l'angle  au milieu  isolée

**Présence du joint de rupture**

Oui  Non

Si oui, épaisseur du joint de rupture : .....(cm)

**La construction a-t-elle fait l'objet d'un contrôle ?**

Oui  Non

**Caractéristiques de la construction**

Nombre de niveaux : .....SS+RDC+.....

Longueur totale (m) : .....

Largeur totale (m) : .....

Hauteur inter-étage (m) : .....

Hauteur total (m) : .....

Nombre de poteaux par étage : .....

Dimensions min des poteaux (a\*b) en cm .....

Dimensions min des poutres longitudinales (b\*h) en cm.....

Dimensions min des poutres transversales (b\*h) en cm.....

Nombre des voiles dans le sens de la largeur : .....

Epaisseur de voile en cm : .....longueur minimale du voile en m : .....

Nombre des voiles dans le sens de la longueur ; .....

Epaisseur de voile en cm : .....longueur minimale du voile en m : .....

-Présence d'ascenseur Oui  Non

-Type d'ascenseur : .....

-Présence de monte-charge Oui  Non

-Type de monte-charge : .....

La contrainte  $f_{c28}$  estimée : .....(en MPA).

**Régularité de la construction**

Régularité en plan :

Régulière  Faiblement irrégulière  Irrégulière

Régularité en élévation :

Régulière  Faiblement irrégulière  Irrégulière

**Y a-t-il des décrochements en plan ?**

Oui  Non

**Si oui**, mesurer les dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans les deux directions :

Les dimensions dans le sens de la largeur (m) : .....

Les dimensions dans le sens de la longueur (m) : .....

**Y a-t-il des décrochements en élévation ?**

Oui  Non

**Si oui**, mesurer la variation des dimensions en plan du bâtiment entre chaque deux niveaux successifs (m) : .....

**Détails ( Etats des éléments suivants )**

- Etat des Cloisons : Bon  Moyen  Mauvais
- Etat des Balcons : Bon  Moyen  Mauvais
- Etat du Garde-Corps : Bon  Moyen  Mauvais
- Etat de l'escalier : Bon  Moyen  Mauvais
- Etat de l'acrotère : Bon  Moyen  Mauvais
- Etat du réseau électrique : Bon  Moyen  Mauvais
- Etat du réseau Gaz : Bon  Moyen  Mauvais
- Etat du réseau Eau : Bon  Moyen  Mauvais
- Etat du réseau d'assainissement : Bon  Moyen  Mauvais
- Etat du réseau Téléphonique : Bon  Moyen  Mauvais
- Toiture légère (Tuile, Eternit, Etc. ..) : Bon  Moyen  Mauvais

**Changement dans la construction**

- Y a-t-il des rajouts ou des suppressions dans la construction (EX rajout de cloisons ou élimination d'un voile) ? :  
Oui  Non

- Y a-t-il des transformations dans la construction (EX transformer le balcon en une chambre) ? :  
Oui  Non

- Y a-t-il un changement de fonctionnalité dans la construction (EX changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine) ? :  
Oui  Non

- Autres transformations (préciser) : .....

Oui  Non  Inconnu   
Si inconnu voir la dernière page (**voir l'annexe1**)

**Observations générales**

- Présence de fissuration dans le plancher Oui  Non

- Présence de fissuration dans les murs Oui  Non

- Présence de fissuration dans les voiles Oui  Non

- Qualité des Nœuds Bonne  Moyenne  Mauvaise

- L'état général de la construction :  
Très bon  Bon  Moyen  Mauvais  Très Mauvais

**Occupants**

- Y a-t-il des personnes qui habitent dans la construction ?  
Oui  Non

- Combien de personnes vivent dans la construction ?  
Moins que 20 personnes

Entre 20 et 100 personnes

Entre 100 et 300 personnes

Plus de 300 personnes



sol, un rez de chaussée et un étage, sa capacité en places est plus de 300 personnes de différent âge de **6 ans** jusqu'à **70 ans** et plus. (Figure 3.1) et (Figure 3.2).



**Figure 3.1** : Vue générale sur la mosquée Billal Ben Rabah.



**Figure 3.2** : Vue de l'extérieure sur la partie sanitaire et création des poteaux courts.

Les données requises lors de notre visite sur les lieux sont données dans la fiche technique suivante (fiche technique 1).

### **Fiche technique de l'exemple 1**

N° : .....**01**..... Date: **07 /05 /2024**.

Wilaya: .....**BLIDA**.....

Commune:.... **BENI MERED**.....

Adresse : .....**RUE...DE...1ERE NOVEMBRE**.....

**Type de la construction**

Bâtiment  Maison  Individuelle  Hangar  Usine  Précaire   
 Autre ( Préciser).....**Mosquée**.....

**Usage de la construction**

Habitation  Hospitalier  Commercial Administration   
 Sportif  Industriel  Scolaire  Socioculturel  
 Hydraulique **Lieu De Culte** Autre (Préciser).....

**Date de La Construction (Approximativement)**

Conçue :  
 En période coloniale  Après : 1983  **1988**  1999  2003  2024

**Type de sol**

Rocheux  Ferme  **Meuble**  Très Meuble  Inconnu   
 Présence du sable dans les couches Oui **Non**  
 Présence de la nappe phréatique Oui **Non**

**L'inclination**

-Y A-il la présence d'inclination de la structure ?  
 Oui inconnu  **Non**  
 Si oui dans ce cas, il faut voir dans le rapport de géotechnique si peut y'avoir présence du phénomène de liquéfaction

**Implantation de l'ouvrage**

L'ouvrage Est-Il Implanté :  
 -Sur un terrain instable (Tassant,Etc.) Oui  **Non**   
 -Abords d'une falaise Oui  **Non**

- En haut ou en bas d'une colline Oui  Non
- Abords d'une rivière ou d'un oued Oui  Non
- Sur un terrain accidenté avec changement de pente important Oui  Non

**Système de contreventement**

- Portique auto-stable sans remplissage de la maçonnerie
- Portique auto-stable avec remplissage de la maçonnerie
- Voile porteurs
- Mixte Portique / Voile
- Mixte Portique / Voile avec interaction
- Ossature contreventée par Noyau
- Autre (Préciser) : .....

**Plancher en**

- Béton Armé  Charpente Métallique  Bois
- Autre(Préciser).....

**Type de toiture**

- Accessible  inaccessible

**Toiture en**

- Béton Armé  Charpente Métallique  Bois  Tuile  Eternit
- Autre(Préciser).....

**Caractéristiques de la construction**



**Ya-t-il des décrochements en plan ?**

Oui

**Non**

**Si oui**, mesurer les dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans les deux directions :

Les dimensions dans le sens de la largeur (m) : .....

Les dimensions dans le sens de la longueur (m) : .....

**Ya-t-il des décrochements en élévation ?**

Oui

**Non**

**Si oui**, mesurer la variation des dimensions en plan du bâtiment entre chaque deux niveaux successifs (m) : .....

**La construction est**

A l'angle

au milieu

**isolée**

**Présence du joint de rupture**

Oui

**Non**

Si oui, épaisseur du joint de rupture : .....(cm)

**Détails (Etats des éléments suivants)**

- Etat des cloisons : Bon  **Moyen**  Mauvais
- Etat des balcons : Bon  Moyen  Mauvais
- Etat du garde-corps : Bon  Moyen  Mauvais
- Etat de l'escalier : Bon  **Moyen**  Mauvais
- Etat de l'acrotère : Bon  **Moyen**  Mauvais
- Etat du réseau électrique : **Bon**  Moyen  Mauvais
- Etat du réseau Gaz : **Bon**  Moyen  Mauvais
- Etat du réseau Eau : **Bon**  Moyen  Mauvais
- Etat du réseau d'assainissement : Bon  Moyen  Mauvais
- Etat du réseau Téléphonique : Bon  Moyen  Mauvais
- Toiture légère (Tuile, Ternet, Etc. ..) : Bon  **Moyen**  Mauvais

**Changement dans la construction**

- Y a-t-il des rajouts ou des suppressions dans la construction (EX rajout de cloisons ou élimination d'un voile) ? :

Oui  Non

- Y a-t-il des transformations dans la construction (EX transformer le balcon en une chambre) ? :

Oui  Non

- Y a-t-il un changement de fonctionnalité dans la construction (EX changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine) ? :

Oui  Non

- Autres transformations (préciser) : .....

**Présence de poteau court**

Oui  Non  Inconnue

Si inconnue, Voir la dernière page (Voir l'annexe3)

**Observations générales**

- Présence de fissuration dans le plancher Oui  Non

- Présence de fissuration dans les murs Oui  Non

- Présence de fissuration dans les voiles Oui  Non

- Qualité des Nœuds Bonne  Moyenne  Mauvaise

-- L'état général de la construction :

Très bon  Bon  Moyen  Mauvais  Très Mauvais

**Occupants**

-Y a-t-il des personnes qui habitent dans la construction ?

Oui  Non

- Combien de personnes vivent dans la construction ?

Moins que 20 personnes

Entre 20 et 100 personnes

Entre 100 et 300 personnes

Plus de 300 personnes

La tranche d'âge de personnes occupantes la construction (la plus dominantes) :

Moins de 14 ans <input type="checkbox"/>	Nombre de personne .....
Plus de 65 ans <input type="checkbox"/>	Nombre de personne .....
Entre 14 ans et 65 ans <input type="checkbox"/>	Nombre de personne .....

L'application de la méthode d'estimation de la résilience pour cet exemple, a donné les valeurs regroupées dans le tableau 3.1

**Tableau 3.1:** Résultats de l'application de l'exemple 1.

Paramètre	Poids	Rubriques	Poids	Facteur	Scores
Structure	0.581	Iv	0.750	0.55	60
		Hauteur (H)	0.250	8,8 m	30
Occupants	0.110	Densité (T)	0.667	300	100
		Age ( A)	0.333	14<A<65 ans	20
Aléa	0.309	Liquéfaction	0.167	0<pl<5	20
		Intensité (I)	0.833	7 ≤ I ≤ 9 MMI	60

Le calcul de l'indice de résilience de cette mosquée a donné une valeur de  $I_r = 55.05$  : il est donc compris entre [40-70], donc La mosquée sera classée dans la classe orange.

**b- Exemple 02**

Il s'agit d'une Maison à usage d'habitation conçue en 2017, située dans la ville de Beni Mered -Rue Menad Demiche, implantée sur un terrain meuble sans présence u phénomène de liquéfaction. La construction est en un RDC+4 étages, avec un nombre d'occupants est inférieure de 20 personnes d'âge différent de moins de 14 ans jusqu'à 65 ans. Une vue globale de la construction est donnée dans la figure suivante.



**Figure 3.3:** Vue sur la structure de l'exemple 2.

Les données requises lors de notre visite sur les lieux sont données dans la fiche technique suivante (fiche technique 2).

**Fiche technique de l'exemple 2**

N° : .....04..... Date: **07 /05 /2024.**

Wilaya: .....**BLIDA**.....

Commune:.... **BENI MERED**.....

Adresse : .....**RUE...DE MANED DEMICH**.....

**Type de la construction**

Bâtiment <input checked="" type="checkbox"/> <b>Maison</b> <input type="checkbox"/>	Individuelle <input type="checkbox"/>	Hangar <input type="checkbox"/>	Usine <input type="checkbox"/>	Précaire <input type="checkbox"/>
Autre ( Préciser).....				

**Usage de la construction**

<input checked="" type="checkbox"/> <b>Habitation</b> <input type="checkbox"/>	Hospitalier <input type="checkbox"/>	Commercial <input type="checkbox"/>	Administration <input type="checkbox"/>
Sportif <input type="checkbox"/>	Industriel <input type="checkbox"/>	Scolaire <input type="checkbox"/>	Socioculturel <input type="checkbox"/>
Hydraulique <input type="checkbox"/>	Lieu De Culte <input type="checkbox"/>	Autre (Préciser).....	

**Date de La Construction (Approximativement)**

Conçue :				
En période coloniale <input type="checkbox"/>	Après :	1983 <input type="checkbox"/>	1988 <input type="checkbox"/> 1999 <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <b>2003</b> <input type="checkbox"/>	2024 <input type="checkbox"/>

**Type de sol**

Rocheux <input type="checkbox"/> Ferme <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Meuble</b> <input type="checkbox"/> Très Meuble <input type="checkbox"/> Inconnu <input type="checkbox"/>		
Présence du sable dans les couches	Oui <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Non</b> <input type="checkbox"/>
Présence de la nappe phréatique	Oui <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Non</b> <input type="checkbox"/>

**L'inclination**

-Y A-il la présence d'inclination de la structure ?

Oui                       inconnu                       **Non**

Si oui dans ce cas, il faut voir dans le rapport de géotechnique si il peut y'avoir présence du phénomène de liquéfaction

**Implantation de l'ouvrage**

L'ouvrage Est-Il Implanté :

-Sur un terrain instable (Tassant, Etc.)    Oui                       **Non**

-Abords d'une falaise    Oui                       **Non**

-En haut ou en bas d'une colline    Oui                       **Non**

-Abords d'une rivière ou d'un oued    Oui                       **Non**

-Sur un terrain accidenté avec changement de pente important    Oui                       **Non**

**Système de contreventement**

-Portique auto-stable sans remplissage de la maçonnerie

**-Portique auto-stable avec remplissage de la maçonnerie**

-Voile porteurs

-Mixte Portique / Voile

-Mixte Portique / Voile avec interaction

-Ossature contreventée par Noyau

Autre (Préciser) : .....

**Plancher en**

**Béton Armé**

Charpente Métallique

Bois

Autre(Préciser).....

**Type de toiture**

**Accessible**

inaccessible

**Toiture en**

**Béton Armé**  Charpente Métallique  Bois  Tuile  Eternit   
 Autre(Préciser).....

**Caractéristiques de la construction**

Nombre de niveaux : ...**0**...SS+RDC+...**04**.....  
 Longueur totale (m) : .....15.....  
 Largeur totale (m) : .....15.....  
 Hauteur Inter-étage (m) : .....4m....3m....3m...3m....3m....  
 Hauteur total (m) : .....16.m.....  
 Nombre de poteaux par étage : .....16m.....  
 Dimensions min des poteaux (A\*B) en Cm .....35\*35.....  
 Dimensions min des poutres longitudinales (b\*h) en Cm.....30\*35.....  
 Dimensions Min Des Poutres Transversales (b\*h) en Cm.....30\*30.....  
 Nombre des voiles dans le sens de la largeur : .....  
 Epaisseur des voiles en Cm : .....Longueur minimale du voile en (m) : .....  
 Nombre des voiles dans le sens de la longueur : .....  
 Epaisseur des voiles en Cm : .....Longueur minimale du voile En (m) : .....  
 -Présence d'ascenseur Oui  **Non**   
 -Type d'ascenseur : .....  
 -Présence de monte-charge Oui  **Non**   
 -Type de monte-charge : .....  
 La Contrainte Fc28 Estimée : .....**30**.....(En MPA).

**La construction a-t-elle fait l'objet d'un contrôle ?**

Oui  **Non**

**Régularité de la construction**

Régularité en plan :  
**Régulière**  faiblement irrégulière  irrégulière   
 Régularité en élévation :

Régulière       faiblement irrégulière       irrégulière

**Y a-t-il des décrochements en plan ?**

Oui       Non

**Si oui**, mesurer les dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans les deux directions :

Les dimensions dans le sens de la largeur (m) : .....

Les dimensions dans le sens de la longueur (m) : .....

**Y a-t-il des décrochements en élévation ?**

Oui       Non

**Si oui**, mesurer la variation des dimensions en plan du bâtiment entre chaque deux niveaux successifs (m) : .....

**La construction est**

A l'angle       au milieu       isolée

**Présence du joint de rupture**

Oui       Non

Si oui, épaisseur du joint de rupture : .....(cm)

**Détails (Etats des éléments suivants)**

-Etat des cloisons :	<b>Bon</b> <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat des balcons :	<b>Bon</b> <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du garde-corps :	<b>Bon</b> <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat de l'escalier :	<b>Bon</b> <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat de l'acrotère :	<b>Bon</b> <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau électrique :	<b>Bon</b> <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau Gaz :	<b>Bon</b> <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau Eau :	<b>Bon</b> <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau d'assainissement :	<b>Bon</b> <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau Téléphonique :	<b>Bon</b> <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Toiture légère (Tuile, Eternit, Etc. ..) :	<b>Bon</b> <input type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>

**Changement dans la construction**

- Y a-t-il des rajouts ou des suppressions dans la construction (EX rajout de cloisons ou élimination d'un voile) ? :

Oui  **Non**

- Y a-t-il des transformations dans la construction (EX transformer le balcon en une chambre) ? :

Oui  **Non**

- Y a-t-il un changement de fonctionnalité dans la construction (EX changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine) ? :

Oui  **Non**

- Autres transformations (préciser) : .....

**Présence de poteau court**

**Oui**  Non  Inconnue

**Si inconnue, Voir la dernière page (Voir l'annexe3)**



Le calcul de l'indice de résilience de cette maison a donné une valeur de **Ir= 31.02**, il est donc compris entre [17-40], d'où cette structure sera classée dans la classe **VERTE**.

### **3. Exemple 03**

Il s'agit d'une construction à usage d'habitation conçue en fin de l'année de 2010, située à wilaya de Blida classée en zone III selon le règlement parasismique Algérien RPA99 version 2003 et classe 6 selon le RPA2024, implantée sur un terrain meuble. La construction est en un RDC+4 étages. Les occupants sont moins de 20 personnes à un âge variant de moins de 14 ans jusqu'à 65 ans. Une vue d'extérieure de cette structure est donnée dans la figure 3.3



**Figure 3.4:** Vue de l'extérieure de l'exemple 3.

Lors de notre visite sur les lieux, nous avons collecté les données indiquées dans la fiche technique 3 pour cet exemple.

#### **Fiche technique de l'exemple 3**

N° : .....**11**..... Date: **07 /05 /2024**.

Wilaya: .....**BLIDA**.....

Commune:.... **BENI MERED**.....

Adresse : .....RUE...DE MANED DEMICHE.....

**Type de la construction**

Bâtiment <input type="checkbox"/> <b>Maison</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Individuelle <input type="checkbox"/>	Hangar <input type="checkbox"/>	Usine <input type="checkbox"/>	Précaire <input type="checkbox"/>
Autre ( Préciser).....				

**Usage de la construction**

<b>Habitation</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Hospitalier <input type="checkbox"/>	<b>Commercial</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Administration <input type="checkbox"/>
Sportif <input type="checkbox"/>	Industriel <input type="checkbox"/>	Scolaire <input type="checkbox"/>	Socioculturel <input type="checkbox"/>
Hydraulique <input type="checkbox"/>	Lieu De Culte <input type="checkbox"/>	Autre (Préciser).....	

**Date de La Construction (Approximativement)**

Conçue :				
En période coloniale <input type="checkbox"/>	Après :	1983 <input type="checkbox"/>	1988 <input type="checkbox"/>	1999 <input type="checkbox"/>
				<b>2003</b> <input checked="" type="checkbox"/>
				2024 <input type="checkbox"/>

**Type de sol**

Rocheux <input type="checkbox"/>	Ferme <input type="checkbox"/>	<b>Meuble</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Très Meuble <input type="checkbox"/>	Inconnu <input type="checkbox"/>
Présence du sable dans les couches		Oui <input type="checkbox"/>	<b>Non</b> <input checked="" type="checkbox"/>	
Présence de la nappe phréatique		Oui <input type="checkbox"/>	<b>Non</b> <input checked="" type="checkbox"/>	

**L'inclination**

-Y A t-il la présence d'inclination de la structure ?		
Oui <input type="checkbox"/>	inconnu <input type="checkbox"/>	<b>Non</b> <input checked="" type="checkbox"/>
Si oui dans ce cas, il faut voir dans le rapport géotechnique si peut y'avoir présence du phénomène de liquéfaction		

**Implantation de l'ouvrage**

L'ouvrage Est-Il Implanté :		
-Sur un terrain instable (Tassant, Etc.)	Oui <input type="checkbox"/>	<b>Non</b> <input checked="" type="checkbox"/>
-Abords d'une falaise	Oui <input type="checkbox"/>	<b>Non</b> <input checked="" type="checkbox"/>

-En haut ou en bas d'une colline	Oui <input type="checkbox"/>	<b>Non</b> <input checked="" type="checkbox"/>
-Abords d'une rivière ou d'un oued	Oui <input type="checkbox"/>	<b>Non</b> <input checked="" type="checkbox"/>
-Sur un terrain accidenté avec changement de pente important	Oui <input type="checkbox"/>	<b>Non</b> <input checked="" type="checkbox"/>

**Système de contreventement**

-Portique auto-stable sans remplissage de la maçonnerie <input type="checkbox"/>
<b>-Portique auto-stable avec remplissage de la maçonnerie <input checked="" type="checkbox"/></b>
-Voile porteurs <input type="checkbox"/>
-Mixte Portique / Voile <input type="checkbox"/>
-Mixte Portique / Voile avec interaction <input type="checkbox"/>
-Ossature contreventée par Noyau <input type="checkbox"/>
Autre (Préciser) : .....

**Plancher en**

<b>Béton Armé</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Charpente Métallique <input type="checkbox"/>	Bois <input type="checkbox"/>
Autre(Préciser).....		

**Type de toiture**

<b>Accessible</b> <input checked="" type="checkbox"/>	inaccessible <input type="checkbox"/>
---	---------------------------------------

**Toiture en**

<b>Béton Armé</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Charpente Métallique <input type="checkbox"/>	Bois <input type="checkbox"/>	Tuile <input type="checkbox"/>	Eternit <input type="checkbox"/>
Autre(Préciser).....				



**Y a-t-il des décrochements en plan ?**

Oui  Non

**Si oui**, mesurer les dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans les deux directions :

Les dimensions dans le sens de la largeur (m) : .....

Les dimensions dans le sens de la longueur (m) : .....

**Y a-t-il des décrochements en élévation ?**

Oui  Non

**Si oui**, mesurer la variation des dimensions en plan du bâtiment entre chaque deux niveaux successifs (m) : .....

**La construction est**

A l'angle  au milieu  isolée

**Présence du joint de rupture**

Oui  Non

Si oui, épaisseur du joint de rupture : .....(cm)

**Détails (Etats des éléments suivants)**

-Etat des cloisons :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat des balcons :	Bon <input type="checkbox"/>	Moyen <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du garde-corps :	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat de l'escalier :	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat de l'acrotère :	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau électrique :	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau Gaz :	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau Eau :	Bon	Moyen <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau d'assainissement :	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau Téléphonique :	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Toiture légère (Tuile, Eternit, Etc. ..) :	Bon <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>

**Changement dans la construction**

- Y a-t-il des rajouts ou des suppressions dans la construction (EX rajout de cloisons ou élimination d'un voile) ? :

Oui  Non

- Y a-t-il des transformations dans la construction (EX transformer le balcon en une chambre) ? :

Oui  Non

- Y a-t-il un changement de fonctionnalité dans la construction (EX changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine) ? :

Oui  Non

- Autres transformations (préciser) : .....

**Présence de poteau court**

Oui  Non  Inconnue

Si inconnue, Voir la dernière page (Voir l'annexe3)

**Observations générales**

- Présence de fissuration dans le plancher Oui  Non

- Présence de fissuration dans les murs Oui  Non

- Présence de fissuration dans les voiles Oui  Non

- Qualité des Nœuds Bonne  Moyenne  Mauvaise

-- L'état général de la construction :

Très bon  Bon  Moyen  Mauvais  Très Mauvais

**Occupants**

- Y a-t-il des personnes qui habitent dans la construction ?

Oui  Non

- Combien de personnes vivent dans la construction ?

Moins que 20 personnes

Entre 20 et 100 personnes

Entre 100 et 300 personnes

Plus de 300 personnes

La tranche d'âge de personnes occupantes la construction (la plus dominantes) :

- Moins de 14 ans  Nombre de personne .....
- Plus de 65 ans  Nombre de personne .....
- Entre 14 ans et 65 ans  Nombre de personne .....

Les résultats d'application de la méthode d'estimation de la résilience pour cet exemple, sont mentionnés dans le tableau (tableau 3.3)

**Tableau 3.3:** Les résultats d'application de l'exemple 3

Paramètre	Poids	Rubriques	Poids	Facteur	Scores
Structure	0.581	Iv	0.750	0.41	60
		Hauteur (H)	0.250	3.5 m	30
Occupants	0.110	Densité (T)	0.667	T<20	10
		Age ( A)	0.333	14<A<65 ans	20
Aléa	0.309	Liquéfaction	0.167	0<p1<5	20
		Intensité (I)	0.833	7 ≤ I ≤ 9 MMI	60

L'indice de résilience de cette structure vaut **45.54**, il est donc compris entre [40-70], d'où cette structure sera classée dans la classe **Orange**. Ce qui veut dire que la structure est moyennement résiliente.

#### 4. Exemple 04

L'exemple 4 est une maison en RDC à usage d'habitation, situé dans la ville de Beni Mered –wilaya de Blida, implanté sur un terrain meuble sans risque de liquéfaction. La structure est réalisée en 1988, moins de 20 personnes occupent les lieux, leurs âges varient de 14 ans et 65 ans. La figure suivante présente le plan de situation de la structure sur la carte de la ville.



**Figure 3.5 :** Le plan de situation de l'exemple 4.

Les données requises lors de notre visite sur les lieux sont données dans la fiche technique suivante

**Fiche technique de l'exemple 4**

N° : .....09..... Date: **07 /05 /2024.**

Wilaya: .....**BLIDA**.....

Commune:.... **BENI MERED**.....

Adresse : .....**RUE...DE MANED DEMICH**.....

**Type de la construction**

Bâtiment <input type="checkbox"/>	<b>Maison</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Individuelle <input type="checkbox"/>	Hangar <input type="checkbox"/>	Usine <input type="checkbox"/>	Précaire <input type="checkbox"/>
Autre ( Préciser).....					

**Usage de la construction**

<b>Habitation</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Hospitalier <input type="checkbox"/>	Commercial <input type="checkbox"/>	Administration <input type="checkbox"/>
Sportif <input type="checkbox"/>	Industriel <input type="checkbox"/>	Scolaire <input type="checkbox"/>	Socioculturel <input type="checkbox"/>
Hydraulique <input type="checkbox"/>	Lieu De Culte <input type="checkbox"/>	Autre (Préciser).....	

**Date de La Construction (Approximativement)**

Conçue :

En période coloniale       Après :      1983       1988       1999       2003       2024

**Type de sol**

Rocheux     Ferme     Meuble     Très Meuble     Inconnu

Présence du sable dans les couches      Oui       Non

Présence de la nappe phréatique      Oui       Non

**L'inclination**

-Y A-il la présence d'inclination de la structure ?

Oui       inconnu       Non

Si oui dans ce cas, il faut voir le rapport de géotechnique peut être présence du phénomène de liquéfaction

**Implantation de l'ouvrage**

L'ouvrage Est-Il Implanté :

-Sur un terrain instable (Tassant,Etc.)      Oui       Non

-Abords d'une falaise      Oui       Non

-En haut ou en bas d'une colline      Oui       Non

-Abords d'une rivière ou d'un oued      Oui       Non

-Sur un terrain accidenté avec changement de pente important      Oui       Non

**Système de contreventement**

-Portique auto-stable sans remplissage de la maçonnerie

-Portique auto-stable avec remplissage de la maçonnerie

-Voile porteurs

-Mixte Portique / Voile

-Mixte Portique / Voile avec interaction

-Ossature contreventée par Noyau

Autre (Préciser) : .....

**Plancher en**

<b>Béton Armé</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Charpente Métallique <input type="checkbox"/>	Bois <input type="checkbox"/>
Autre(Preciser).....		

**Type de toiture**

<b>Accessible</b> <input checked="" type="checkbox"/>	inaccessible <input type="checkbox"/>
---	---------------------------------------

**Toiture en**

<b>Béton Armé</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Charpente Métallique <input type="checkbox"/>	Bois <input type="checkbox"/>	Tuile <input type="checkbox"/>	Eternit <input type="checkbox"/>
Autre(Preciser).....				

**Caractéristiques de la construction**

Nombre de niveaux : ...0...SS+RDC+...00.....	
Longueur totale (m) : .....11.....	
Largeur totale (m) : .....16.....	
Hauteur Inter-étage (m) : .....3.5m.....	
Hauteur total (m) : .....16.m.....	
Nombre de poteaux par étage : .....16m.....	
Dimensions min des poteaux (A*B) en Cm .....25*25.....	
Dimensions min des poutres longitudinales (b*h) en Cm.....20*25.....	
Dimensions Min Des Poutres Transversales (b*h) en Cm.....20*25.....	
Nombre des voiles dans le sens de la largeur : .....	
Epaisseur des voiles en Cm : .....Longueur minimale du voile en (m) : .....	
Nombre des voiles dans le sens de la longueur : .....	
Epaisseur des voiles en Cm : .....Longueur minimale du voile En (m) : .....	
-Présence d'ascenseur	Oui <input type="checkbox"/> <b>Non</b> <input checked="" type="checkbox"/>
-Type d'ascenseur : .....	
-Présence de monte-charge	Oui <input type="checkbox"/> <b>Non</b> <input checked="" type="checkbox"/>
-Type de monte-charge : .....	
La Contrainte Fc28 Estimée : .....20.....(En MPA).	

**La construction a-t-elle fait l'objet d'un contrôle ?**

Oui

**Non**

**Régularité de la construction**

Régularité en plan :

**Régulière**

faiblement irrégulière

irrégulière

Régularité en élévation :

**Régulière**

faiblement irrégulière

irrégulière

**Y a-t-il des décrochements en plan ?**

Oui

**Non**

**Si oui**, mesurer les dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans les deux directions :

Les dimensions dans le sens de la largeur (m) : .....

Les dimensions dans le sens de la longueur (m) : .....

**Y a-t-il des décrochements en élévation ?**

Oui

**Non**

**Si oui**, mesurer la variation des dimensions en plan du bâtiment entre chaque deux niveaux successifs (m) : .....

**La construction est**

A l'angle

**au milieu**

isolée

**Présence du joint de rupture**

Oui

**Non**

Si oui, épaisseur du joint de rupture : .....(cm)

**Détails (Etats des éléments suivants)**

-Etat des cloisons :	Bon <input type="checkbox"/>	<b>Moyen</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat des balcons :	Bon <input type="checkbox"/>	<b>Moyen</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du garde-corps :	Bon <input type="checkbox"/>	<b>Moyen</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat de l'escalier :	Bon <input type="checkbox"/>	<b>Moyen</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat de l'acrotère :	Bon <input type="checkbox"/>	<b>Moyen</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau électrique :	<b>Bon</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau Gaz :	<b>Bon</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau Eau :	<b>Bon</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau d'assainissement :	<b>Bon</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Etat du réseau Téléphonique :	<b>Bon</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Moyen <input type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>
- Toiture légère (Tuile, Eternit, Etc. ...) :	Bon <input type="checkbox"/>	<b>Moyen</b> <input checked="" type="checkbox"/>	Mauvais <input type="checkbox"/>

**Changement dans la construction**

- Y a-t-il des rajouts ou des suppressions dans la construction (EX rajout de cloisons ou élimination d'un voile) ? :

Oui  **Non**

- Y a-t-il des transformations dans la construction (EX transformer le balcon en une chambre) ? :

Oui  **Non**

- Y a-t-il un changement de fonctionnalité dans la construction (EX changement de la chambre en bloc de stockage ou changement de la structure à usage d'habitation en usine) ? :

Oui  **Non**

- Autres transformations (préciser) : .....

**Présence de poteau court**

**Oui**  Non  Inconnue

**Si inconnue, Voir la dernière page (Voir l'annexe3)**

**Observations générales**

- Présence de fissuration dans le plancher  Oui  Non

- Présence de fissuration dans les murs  Oui  Non

- Présence de fissuration dans les voiles  Oui  Non

- Qualité des Nœuds  Bonne  Moyenne  Mauvaise

-- L'état général de la construction :

Très bon  Bon  Moyen  Mauvais  Très Mauvais

**Occupants**

- Y a-t-il des personnes qui habitent dans la construction ?

Oui  Non

- Combien de personnes vivent dans la construction ?

Moins que 20 personnes

Entre 20 et 100 personnes

Entre 100 et 300 personnes

Plus de 300 personnes

La tranche d'âge de personnes occupantes la construction (la plus dominantes) :

Moins de 14 ans  Nombre de personne .....

Plus de 65 ans  Nombre de personne .....

Entre 14 ans et 65 ans  Nombre de personne .....

Les résultats d'application de la méthode d'estimation de la résilience pour cet exemple, sont mentionnés dans le tableau (tableau 3.4)

**Tableau 3.4:** Les résultats d'application de l'exemple 4

Paramètre	Poids	Rubriques	Poids	Facteur	Scores
Structure	0.581	Iv	0.750	0.44	60
		Hauteur (H)	0.250	17.5 m	30
Occupants	0.110	Densité (T)	0.667	T<20	10
		Age ( A)	0.333	14<A<65 ans	20

Aléa	0.309	Liquéfaction	0.167	$0 < p_l < 5$	20
		Intensité (I)	0.833	$7 \leq I \leq 9$ MMI	60

L'indice de résilience de cette structure vaut **48.45**, il est donc compris entre [40-70], d'où cette structure sera classée dans la classe **Orange**. Ce qui veut dire que la structure est moyennement résiliente.

### **3.3 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté 4 exemples d'application de la méthode d'estimation de la résilience des constructions en béton armé. Les résultats obtenus indiquent une résilience variable allant de bonne (verte) à moyenne (orange), soulignant la nécessité d'une évaluation plus approfondie sur un échantillon plus large des structures. Ces résultats seront utilisés dans le chapitre suivant pour une analyse d'un tissu urbain afin d'évaluer la résilience sismique d'un quartier urbain à la ville de Beni Mered.

**CHAPITRE 04**

**ESTIMATION DE**

**LA RESILIENCE POUR UN TESSUE URBAIN**

## **CHAPITRE 04 : ESTIMATION DE LA RESILIENCE POUR UN TESSUE URBAIN**

### **4.1 Introduction**

L'étude de la résilience à grande échelle consiste à identifier les bâtiments les plus résilients aux séismes de façon à planifier et à organiser une politique de renforcement du bâti existant, ou comment organiser les secours dans les quartiers les plus fragiles. Cette approche, sans aucune évaluation des dommages et des pertes, a l'avantage de pouvoir hiérarchiser les priorités en termes d'aménagement et d'identifier les secteurs les plus sensibles aux secousses sismiques.

Notre objectif dans ce chapitre est d'analyser la capacité des infrastructures et des bâtiments de Beni-Mered à résister aux tremblements de terre et à se rétablir rapidement après une catastrophe. En nous concentrant sur un quartier précis, en particulier Rue MENAD DEMICHE, où nous espérons d'obtenir une classification approfondie des mécanismes de résilience à l'échelle locale.

### **4.2 Présentation du tissu urbain choisi**

Beni Mered est une commune de la wilaya de Blida en Algérie. Elle est située à environ 40 km au sud d'Alger et à 10 km au sud de Blida. La commune est composée de plusieurs villages, dont le plus important est Beni Mered. Le tissu urbain de Beni Mered que nous avons choisi s'appelle Rue de MENAD DEMICHE se compose de plusieurs constructions à usages variés (habitation, commerce, usine, lieu de culte, etc....) et se caractérise par des époques de construction différentes allant de 1983 à 2015. Les habitations sont généralement mitoyennes et construites sur un à trois étages. Par la suite, nous vous présenterons les plans de ce quartier.

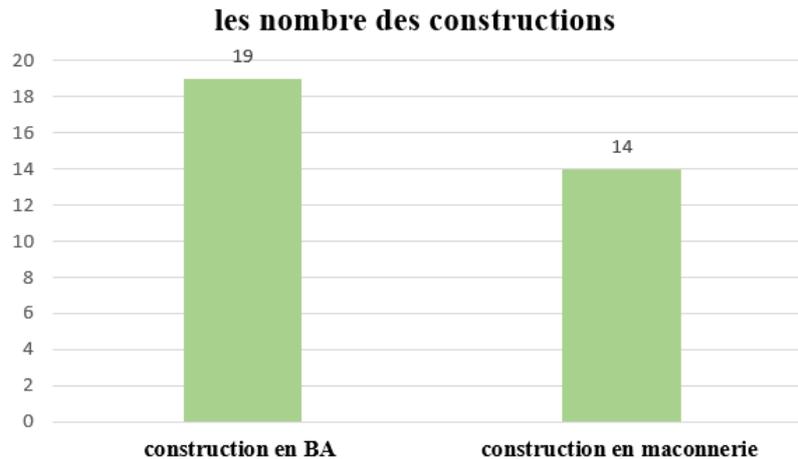
### **4.3 Les plans de projet**

Dans le cadre d'une analyse de la résilience du quartier face aux séismes, l'exploitation d'images acquises par les satellites et Google Map, nous a permis d'obtenir une représentation cartographique précise des éléments structurants la rue MENAD DEMICHE et les différentes structures qui la composent, tels que les bâtiments, les villas et les mosquées. (Figure 4.1)



**Figure 4.1 :** Vue des plans par satellite de quartier Beni-Mered.

Cette rue compte 33 constructions, dont 19 construites en béton armé et le reste en maçonnerie traditionnelle (briques pleines). Notre étude de la résilience se concentre uniquement sur les constructions en béton armé. (Figure 4.2).



**Figure 4.2 :** Présentation par histogramme des différents types de constructions.

Pour l'évaluation de la résilience sismique du tissu urbain comportant les constructions en béton armé, nous utiliserons la méthode d'estimation de la résilience d'un béton armé que nous avons développé dans le deuxième chapitre. Afin de présenter les résultats, nous avons utilisé le système d'information géographique (SIG), en particulier le logiciel **QGIS 3.22**, pour analyser la distribution spatiale des constructions en béton armé dans la rue étudiée.

#### **4.4 Le système d'information géographique (SIG)**

Un système d'information géographique (SIG) est un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace.

Les SIG offrent toutes les possibilités des bases de données (telles que requêtes et analyses statistiques) et ce, au travers d'une visualisation unique et d'analyse géographique propres aux cartes. Ces capacités spécifiques font du SIG un outil unique, accessible à un public très large et s'adressant à une très grande variété d'applications.

##### **4.4.1 Fonctionnement d'un SIG**

Un SIG stocke les informations concernant le monde sous la forme de couches thématiques pouvant être reliées les unes aux autres par la géographie. Ce concept, à la fois simple et puissant a prouvé son efficacité pour résoudre de nombreux problèmes concrets.

##### **4.4.2 Références géographiques**

L'information géographique contient soit une référence géographique explicite (latitude & longitude ou grille de coordonnées nationales) ou une référence géographique implicite

(adresse, code postal, nom de route...). Le géocodage, processus automatique, est utilisé pour transformer les références implicites en références explicites et permettre ainsi de localiser les objets et les événements sur la terre afin de les analyser.

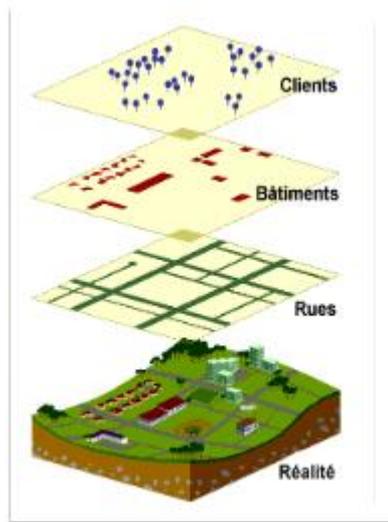


Figure 4.3:Modèle vecteur.

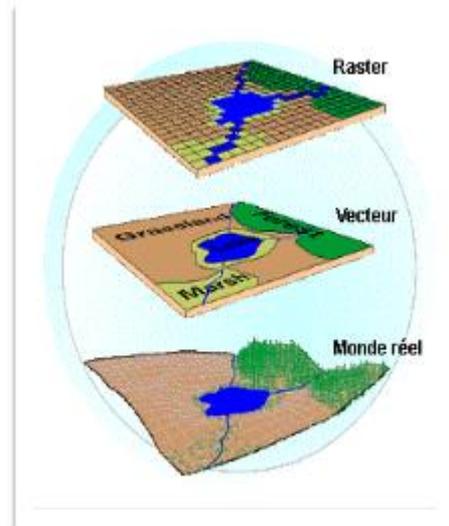


Figure 4.4 :Modèle raster.

#### 4.4.3 Modèles de données vecteurs et raster

Les Systèmes d'Information Géographique exploitent deux différents types de modèles géographiques :

##### 4.4.4 Le modèle vecteur(Figure 4.3)

Dans le modèle vecteur, les informations sont regroupées sous la forme de coordonnées x, y. Les objets de type ponctuel sont dans ce cas représentés par un simple point. Les objets linéaires (routes, fleuves...) sont eux représentés par une succession de coordonnées x,y.

Les objets polygonaux (territoire géographique, parcelle...) sont, quant à eux, représentés par une succession de coordonnées délimitant une surface fermée.

Le modèle vectoriel est particulièrement utilisé pour représenter des données discrètes.

##### 4.4.5 Le modèle raster (Figure 4.4)

Le modèle raster, quant à lui, est constitué d'une matrice de points pouvant tous être différents les uns des autres. Il s'adapte parfaitement à la représentation de données variables continues telles que la nature d'un sol etc. Chacun de ces deux modèles de données dispose de

ses avantages. Un SIG moderne se doit d'exploiter simultanément ces deux types de représentation.

#### **4.4.6 Domaines d'application**

Les domaines d'application des SIG sont aussi nombreux que variés et il serait impossible d'en dresser ici une liste exhaustive. Citons cependant :

- Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques)
- Marketing (localisation des clientèles)
- Milieu scolaire (parcours des autobus scolaires)
- Inventaire et gestion des ressources (équipements urbains)
- Planification urbaine (cadastre, POS, voirie, réseaux assainissement)
- Gestion des installations (AM/FM, Automatic Mapping and Facilities Management)
- Protection civile (gestion et prévention des catastrophes)
- Politique (cartes électorales)
- Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires)
- Hydrologie (gestion des AEP, réserves hydroélectriques)
- Réseaux de distribution (gaz, électricité, marchandises)
- Foresterie (gestion des coupes et sylviculture)
- Géologie (prospection minière)
- Biologie (études du déplacement des populations animales)
- Défense (planification des opérations militaires)

De nombreux types de réseaux de distribution exploitent ce type d'outils :

- Réseaux d'adductions d'eau
- Réseaux d'assainissement,
- Réseaux de distribution électriques,
- Réseaux téléphoniques filaires ou cellulaires,
- Réseaux routiers.

Les applications des SIG appliqués à la gestion sont multiples : conception, maintenance, marketing, etc.....

#### **4.4.7 Avantages et inconvénients des SIG**

- **Les avantages**

- Capacité et fiabilité de stockage de façon claire et définitive.
- Rapidité de restitution des données (gain de temps)

- Intégration et combinaison de données de sources différentes
- Précision des processus cartographiques
- Facilité de mise à jour (Outils de suivi)
- Analyse des relations spatiales (Intégration, requête spatiale, Combinaison et superposition de cartes)
- Production de cartes (bon rapport qualité / prix)
- Gérer une multiplicité d'informations attributaires sur des objets
- Comprendre les phénomènes, prévoir les risques (simulations)
- Etablir des cartographies rapides
- Localiser dans l'espace et dans le temps
- Réagir rapidement après des événements ayant un impact sur le territoire
- Calculer des coûts ou des bénéfices
- Associer un plus grand nombre de partenaires aux choix d'aménagement
- Fournir des itinéraires, des plans adaptés

- **Les Inconvénients**

- Le manque de personnel spécialisé et compétant
- Coût élevé et problèmes techniques pour l'acquisition des données fiables.
- Non Standardisation des formats de données.

#### **4.4.8 Softwares SIG (Système d'Information Géographique)**

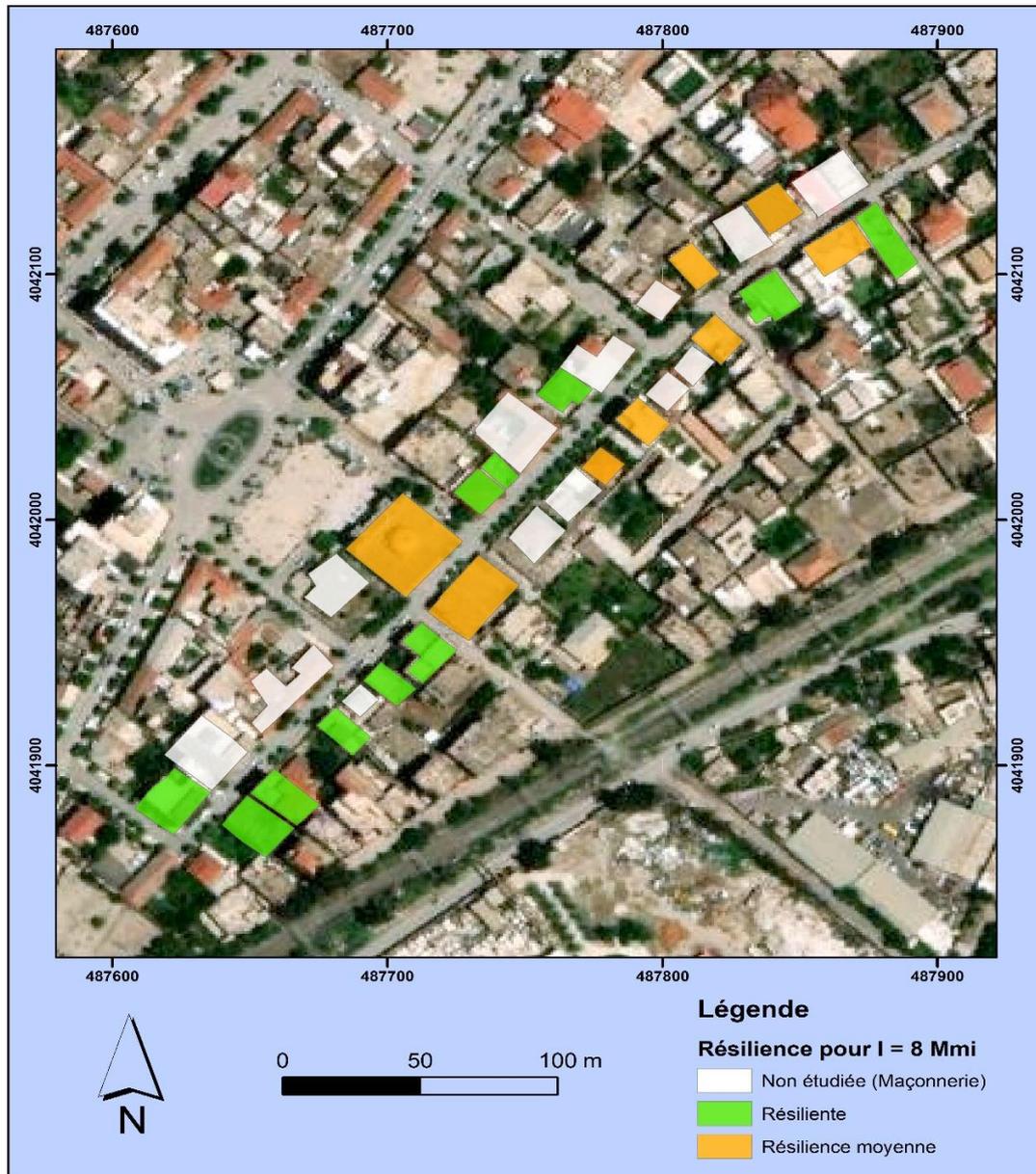
Parmi les logiciels du SIG, on peut citer MapInfo, ArcGIS, ArcView, QGIS. Dans notre étude, nous avons utilisé MapInfo qui est un SIG bureautique doté d'une interface graphique conviviale de type « pointer-cliquer ». Il permet de charger facilement des données localisées et tabulaires et de les afficher sous forme de cartes, de tables ou de diagrammes. MapInfo fournit les outils nécessaires pour interroger et analyser ces données et présenter les résultats sur des documents cartographiques de qualité.

#### **4.5 Les cartes de graphique**

La méthode d'estimation de la résilience des constructions en béton armé fournit des résultats qui permettent de les classer selon une échelle allant de bonne, moyenne à mauvaise.

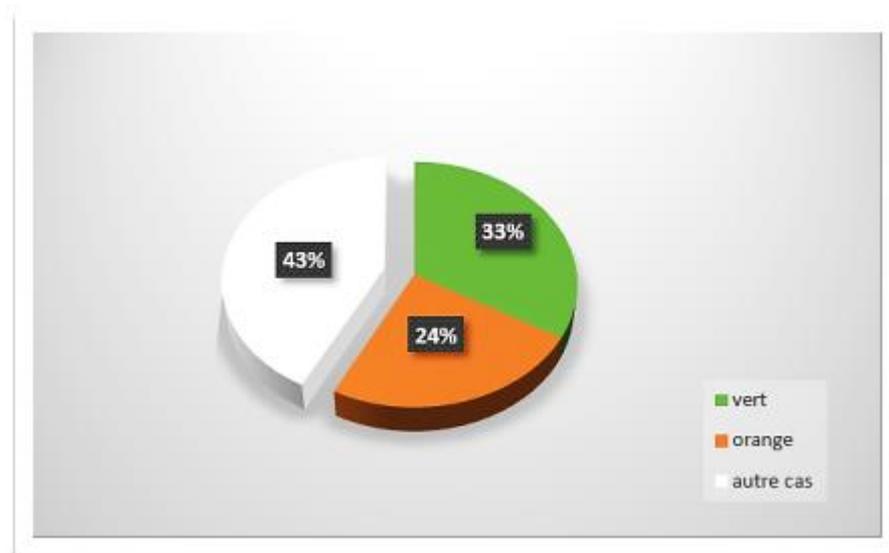
À l'aide du logiciel **QGIS 3.22**, nous avons intégré ces résultats dans deux scénarios d'intensité sismique distincts ( $I = 8$  MMI et  $I = 10$  MMI). Par la suite, nous présenterons les cartes graphiques de ces analyses.

### 4.5.1 1<sup>er</sup> Scénario (I= 8MMI)



**Figure 4.5 :** La carte graphique présente le premier Scénario I= 8MMI.

D'après le premier scénario (Figure 4.5), les constructions à résilience élevée sont représentées par la couleur verte et appartiennent à la classe [17-40[, tandis que les constructions à résilience moyenne sont représentées par la couleur orange et appartiennent à la classe [40-70[et la couleur Blanc représente d'autre type de matériaux de construction tel que la maçonnerie traditionnelle, maçonnerie chaînée...etc...., Nous présenterons les résultats dans le secteur suivant(Figure 4.6)

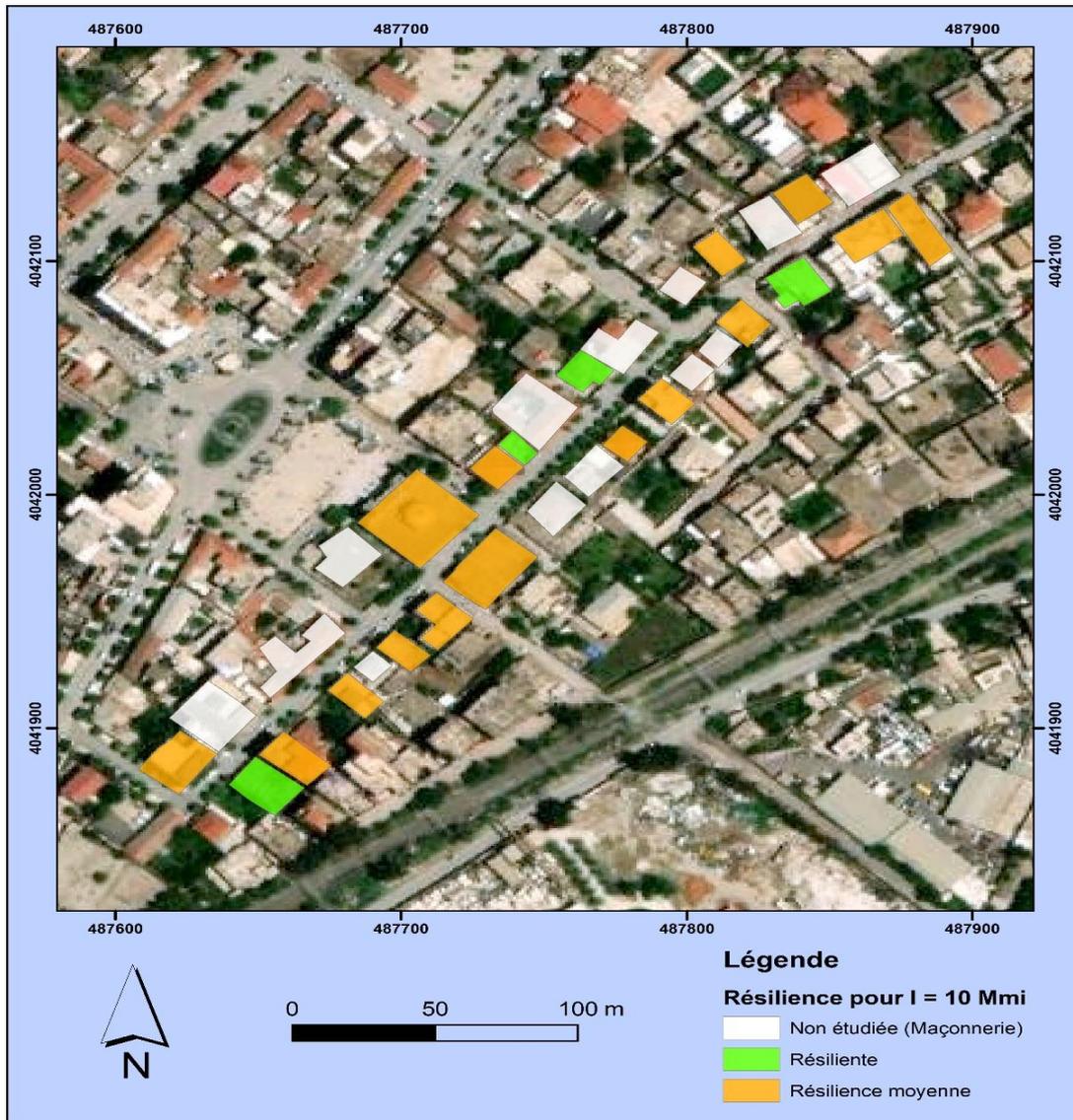


**Figure 4.6:** la résilience pour le 1<sup>er</sup> scénario de I= 8MMI.

Dans cette présentation nous remarquerons qu'il y a une différence de pourcentages comme suite :

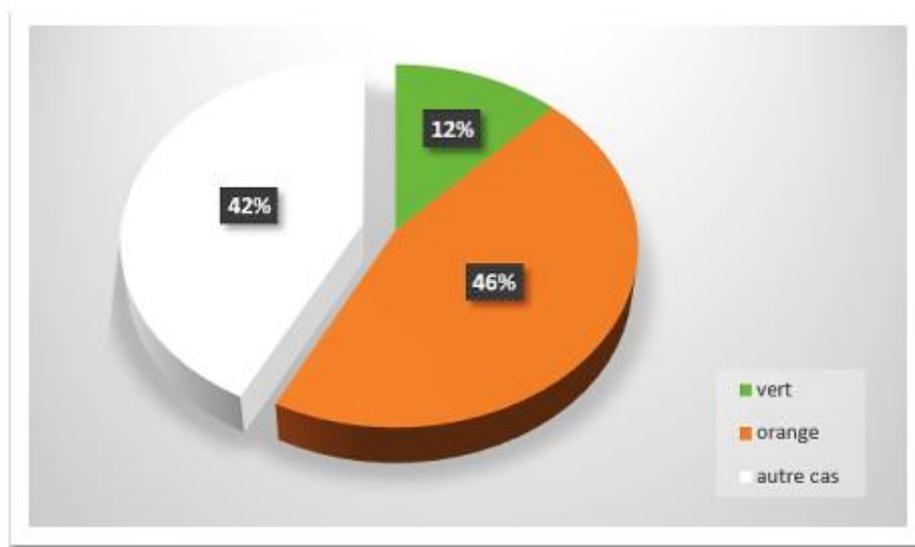
- 33% des constructions sont des constructions ayant une bonne résilience. Ces dernières sont représentées par la couleur vert qui signifie la classe [17-40[
- Alors que 24% des constructions ont une résilience moyenne et qui appartiennent à la classe [40-70[, cette catégorie est représentée par la couleur orange.
- 43 % représente les autres constructions non étudiées.

4.5.2 2<sup>ème</sup> Scenario (I= 10 MMI)



**Figure 4.7:** La carte graphique représente le deuxième scénario I= 10 MMI.

Selon le scénario 2 illustré à la figure 4.7, les constructions à résilience élevée sont identifiées par la couleur vert et appartient à la classe [17-40]. Les constructions à résilience moyenne, quant à elles, sont représentées par la couleur orange et se situent dans la classe [40-70]. Pour la couleur Blanc représente les autres constructions non étudiées. Les résultats de cette analyse seront présentés pour un secteur comme le montre la figure 4.8.



**Figure 4.8:** la résilience pour un scénario de I= 10 MMI.

Dans ce secteur de deuxième scénario I=10 MMI, nous avons constaté que :

- 12% sont des constructions à résilience élevée sont représentées par la couleur vert et qui appartiennent à la classe [17-40[
- 46 % des constructions ont une résilience moyenne, représentées par la couleur orange et qui ont un indice de résilience variant de 40 à 70.
- 42 % en couleur Blanc représente les autres cas de constructions non étudiées.

#### **4.6 Comparaison des résultats des deux scénarios**

La représentation cartographique des scénarios sismiques I=8MMI et I=10MMI met en exergue une prédominance accrue de la zone orange, indiquant une proportion nettement plus élevée par rapport aux deux autres classes, cela est dû aux dommages et aux dégradations constatés dans bâtiments lors de notre expertise.

Une comparaison entre les deux cartes montre que la force d'un séisme influence considérablement à la résilience des bâtiments. Pour les bâtiments situés dans des régions où les tremblements de terre se produisent plus souvent et/ou avec une plus grande intensité, il est nécessaire que la conception structurelle et la construction de ces structures assurent la résistance à ces forces sismiques, en particulier, ces structures doivent reprendre leur fonctionnement lors et après l'aléa sismique d'où qu'elles soient résilientes.

#### **4.7 Recommandations**

Pour les constructions classées comme ayant une résilience moyenne, il est recommandé de proposer des mesures de renforcement basées sur des diagnostics approfondis (pathologie des constructions) réalisés par des ingénieurs experts.

Ces diagnostics permettront d'identifier les pathologies spécifiques qui affectent la structure des bâtiments, telles que les fissures dans les murs, les déformations des planchers ou la corrosion des armatures en acier. Il est important de souligner que l'absence de mesures de renforcement de ces constructions peut entraîner des risques importants pour la sécurité des occupants en cas de tremblement de terre.

#### **4.8 Conclusion**

Ce chapitre nous a permis d'obtenir des résultats concrets pour l'évaluation de la résilience d'un tissu urbain constitué de 19 constructions en béton armé pour deux intensités différentes  $I= 8$  MMI et  $I= 10$  MMI. Ce qui nous a permis de visualiser chaque construction, en identifiant leurs points forts et leurs points faibles dans ce tissu urbain.

L'analyse réalisée a mis en évidence l'importance de prendre en compte la résilience des constructions lors de leur conception, de leurs constructions et de leurs entretiens. Sur la base de ces résultats, des suggestions ont été proposées afin d'améliorer leur résilience sismique et leur comportement lors d'un séisme futur.

## **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

Les bâtiments en béton armé (BA) soumis aux tremblements de terre subissent des dégâts plus ou moins importants en fonction de leur conformité ou pas au règlements parasismique actualisé. Les règlements ont pour le but de réduire les pertes néanmoins l'évolution de l'état des connaissances fait que des mises à jour sont réalisées régulièrement. Ceci conduit à la longue a la présence d'un patchwork des structures ayant des résistances variables et donc une résilience différente.

Afin de réduire cette résilience sismique, il faut disposer d'une méthode très fiable. Le présent travail entre dans ce cadre et a conduit au développement d'une méthode en basant sur le processus « AHP », pour la détermination des facteurs de pondération de chaque paramètre par rapport aux autres paramètres. Ce qui nous a permis de calculer un indice de résilience et d'estimer la résilience sismique des constructions en béton armé.

A la base de cet indice, trois classes de résilience vert, orange et rouge ont été proposées. La classe verte indique que la structure a une bonne résilience vis-à-vis de l'action sismique. La classe rouge regroupe les structures ayant une résilience faible quant à la classe orange nous trouvons les structures qui ont une résilience moyenne,

Nous avons élaboré une fiche technique qui permet de recueillir l'ensemble d'information nécessaire pour établir la classification des structures en Béton armé. Nous avons appliqué la fiche technique sur plusieurs exemples de constructions en BA. À l'aide de la méthode d'estimation de la résilience en Béton armé, nous avons identifié la classe de la résilience de chaque structure étudiée. Les résultats trouvés dans le présent mémoire sont utilisés pour simuler des scénarios sismiques des constructions, afin d'identifier les zones les plus résiliente aux effets des séismes. Ces scénarios peuvent être utiles pour la gestion des catastrophes par les autorités concernées (APC, Wilayas, Directions d'urbanisme, Protection civile...etc.), afin d'élaborer un plan d'action pour réaménager et restructurer les anciennes villes, dans le but de réduire le risque sismique en Algérie.

En conclusion, pour que les structures en béton armé restent résilientes face à un avenir incertain et potentiellement hostile, il est crucial que les ingénieurs, architectes et décideurs s'engagent dans une démarche continue d'innovation et d'amélioration de la qualité matériaux utilisés, cela impliqueras des villes développées à risques réduits. Une formation continue des professionnels du secteur et un investissement soutenu dans la recherche et le développement

est vivement conseillé. La résilience des structures en béton armé n'est pas seulement une question de sécurité, c'est aussi un enjeu de développement durable et de responsabilité sociale donc l'application stricte de la réglementation est recommandée notamment le règlement parasismique algérien RPA 2024.

## **REFERENCES BIBOGRAPHIQUE**

## REFERENCES

- Aguirre, J. et al. (2017). Building Code Development for Earthquake-Resilient Construction in Latin America: Experiences and Challenges”, *International Journal of Disaster Risk Reduction*9(11), Pp 2054.,
- Asprone, D., et al. (2017). The economic feasibility of seismic resilience retrofitting of existing reinforced concrete buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15(11), 5201-5224.
- Almufti, I. et al. (2018). Development of Earthquake Resilient Infrastructure. *Procedia Engineering*, 15, 272-284
- Al-Harbi, K. M. (2001). An application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria decision making for the selection of container terminals location. *Journal of Operations Management*, 19(6), 655-666.
- Adamczewski, Z. (2008). Using the analytic hierarchy process (AHP) to make a strategic decision: The case of selecting a location for a new shopping mall. *European Journal of Operational Research*, 185(1), 311-327.
- Aguarón, J., & Moreno-Jiménez, J. M. (2003). The process of hierarchical consensus within the framework of the analytic hierarchy process (AHP). *European Journal of Operational Research*, 149(3), 462-476.
- Andrus, R. D. (2000). Liquefaction of soils. In *Earthquake Engineering Handbook*, 47-117. CRC
- Bruneau, M. (2003). *Seismic design of reinforced concrete buildings*. The Masonry Society.
- Brans, H., & Van der Putten, T. (2016). Integration of durability and resilience into structural design. *Structural Engineering International*, 26(4), 449-458.
- Bourahla et al. (2014) ."Analysis of the Algerian Seismic Building Code (RPA 99/v2003) and its Application to Reinforced Concrete Structures" par <https://www.wcee.nicee.org/wcee/article/16WCEE/WCEE2017-3442.pdf>
- Bendimerad et al. (2016)."Evaluation of the Seismic Performance of Reinforced Concrete Buildings Designed According to the Algerian Seismic Code (RPA 99/v2003)

- Bhushan, M., & Rai, K. (2004). Strategic decision-making: Applying the analytic hierarchy process. Springer Science & Business Media. Handbook 11-21.
- Bagchi, A., & Rao, S. S. (1992). An application of the analytic hierarchy process to the selection of a plant location. *European Journal of Operational Research*, 60(3), 232-242.
- Belheouane, M., & Ounis, M. (2006). Détermination de l'indice de vulnérabilité sismique des bâtiments en béton armé en Algérie. *Revue des sciences et technologies*, 3(2), 11-23.
- Belheouane, M. (2006). Vulnérabilité sismique des bâtiments en béton armé: Approche par l'indice de vulnérabilité Iv. Thèse de doctorat, Université de Constantine, Algérie.
- Belheouane, M., & Ounis, M. (2012). Évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments en béton armé en Algérie. *Bulletin d'application des recherches en sismologie et génie parasismique*, (158), 93-106.
- Belheouane, M., & Bouar, Y. (2012). A vulnerability index for seismic assessment of reinforced concrete buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 10(2), 437-457.
- Cao, X. et al. (2019). Cost-Effectiveness Analysis of Seismic Retrofit Strategies for Existing Buildings. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 21, 463-477
- Chow, N. et al. (2019). Challenges and Barriers to Resilient Infrastructure Implementation in South Pacific Island Nations. *Procedia Engineering*.
- Chow, J. Y., et al. (2019). Resilient infrastructure: A review of research needs and future directions. *Sustainable and Resilient Infrastructure*, 7(2), 117-139.
- Del Vecchio, C. W. (2006). Integration of spatial data and the analytic hierarchy process (AHP) for multi-criteria decision making in land use suitability analysis. *Landscape and Urban Planning*, 75(4), 266-272.
- Dauphiné, A., Provitolo D., La résilience : un concept pour la gestion des risques, *Annales de Géographie*, 654 (2), 2011. 115-125.
- Ellingwood, B., Frangopol, D. M., & ASCE. (2009). Life-cycle performance engineering of civil infrastructure systems. American Society of Civil Engineers.
- Eurocode 2 : Calcul des structures en béton - Partie 1 : Règles générales et dispositions pour les bâtiments (NF EN 1992-1-1 :2004+A1 :2019)

Ennaouri, W. (2010). Application of AHP to the evaluation of the effectiveness of a performance management system in a Tunisian public organization. *Management decision*, 48(2), 272-288.

Échelle de Mercalli modifiée (MM ou MMI)

[https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89chelle\\_de\\_Mercalli](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89chelle_de_Mercalli)

FEMA (Federal Emergency Management Agency). (2007). *Reducing the Risk of Earthquake Damage to Federal Buildings*. Washington, DC: FEMA. <https://www.fema.gov/>

FEMA (2017). "Seismic Design and Construction: A Guide for Practitioners" (<https://www.fema.gov/emergency-managers/risk-management/earthquake/training/fema-p-749>)

Fatahi, B. et al. (2018). Resilient Construction Methods for Urban Infrastructure Development: A Review. *Journal of Construction Engineering and Management*.

Fatahi, B., et al. (2018). A review of seismic resilience assessment of transportation networks. *Structures, Journal of Infrastructure Systems* 16, 174-194.

Fatahi, B., et al. (2018). Critical challenges and research directions in developing resilient infrastructure for smart cities. *Journal of Infrastructure Systems*, 24(1), 04017002.

Fumey, H. (2001). *Aide à la décision multicritère : l'analyse hiérarchique par processus (AHP)*. Dunod.

Fahd Al Fahd et al. (2018) "Defining and Measuring the Population of Buildings for Fire Safety Design"

F.Z HALFAYA, « Evaluation des courbes de vulnérabilité sismique d'un réseau de conduites enterrées », Thèse De Doctorat De L'école Normale Supérieure De Cachan, Paris, France, 2013.

Fahd, N. (2018). *Vers une nouvelle approche de l'aménagement urbain résilient aux risques sismiques*. Thèse de doctorat, Université de Lorraine.

Gibb, A. et al. (2013). *Developing a Methodology to Incorporate Resilience into Infrastructure Planning*. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*.

George Housner : [https://en.wikipedia.org/wiki/George\\_Housner](https://en.wikipedia.org/wiki/George_Housner)

Giovinazzi, S., « The vulnerability assessment and the Damage Scenario in seismic risk analysis », Thèse de Doctorat, Technical University Carolo Wilhelmina at Braunschweig et University of Florence, 2005.

Grünthal, G., Bosse, C., & Stromeyer, D. (1998). The European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Potsdam: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Report No. 4, 97-99.

Gagné, M., & Gharbi, J. (2003). A fuzzy decision support system for supplier selection using the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 147(1), 22-46.

Haselton, C. B., Whittaker, A. S., Bryant, T. A., & Stewart, M. G. (2009). Earthquake loss estimation methods for engineering professionals. Earthquake Engineering Research Institute.

Hamoudi et al. (2018). "Seismic Vulnerability Assessment of Existing Buildings in Algeria: A Case Study" par (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045794921000444>)

Ishizaka, A., & Labib, F. (2009). Ranking and selection of alternatives using the analytic hierarchy process (AHP): A review. *European Journal of Operational Research*, 193(3), 31-41.

Ishizaka, A., & Labib, M. (2009). Analytic hierarchy process (AHP) and multi-criteria decision making (MCDM): developments, applications and perspectives. *International journal of operations researches and information systems*, 20(1), 1-31.

Iwasaki, T. (1978). Fundamental aspects of liquefaction of soils. *Soil mechanics and foundation engineering*, 17(1), 35-116.

"JMA Shindo Scale." *Handbook of Earthquake Prediction and Countermeasures*, Japan Meteorological Agency, 1996. 45-47.

Koliou, M. et al. (2018). Post-Earthquake Rapid Assessment and Decision-Making Framework for Critical Transportation Infrastructure. *Journal of Infrastructure Systems*.

Khattak, M. A., & Wilkinson, S. (2019). *Resilient infrastructure for a changing climate: Linking theory and practice*. Springer Nature.

Kasimire et al. (2014). "The Impact of Natural Disasters on Civil Infrastructure: A Review of Research Methods and Findings"

([https://www.researchgate.net/publication/373999242\\_Investigation\\_of\\_the\\_impact\\_of\\_natural\\_disaster\\_on\\_civil\\_structures](https://www.researchgate.net/publication/373999242_Investigation_of_the_impact_of_natural_disaster_on_civil_structures))

Lee, J. et al. (2016). Barriers and Enablers to Adopting Resilience Strategies: Preliminary Findings from a Global Survey of Architects and Engineers. *Procedia Engineering*.

Lee, D. S., et al. (2016). Barriers to implementing resilient design and construction practices in the United States. *Journal of Structural Engineering*, 142(12).

Lang, K., « Seismic vulnerability of existing building », Thèse de doctorat, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Swiss, 2002.

Mercalli, G. (1902). The Modifications of the Observations of Earthquakes. *Italian Seismological Society*, 14, 59-98.

M. Belazougui(2017) ALGERIAN SEISMIC BUILDING CODE: MAIN FEATURES OF THE NEW DRAFT RPA 2015. *World Conference on Earthquake*, 9(1),

Medvedev, I.P., Sponheuer, F., & Karnik, V. (1965). New Developments in Seismic Intensity Scales. *IASPEI General Assembly, 4th, Vienna, Proceedings*, 2, 677-684.

Mathieu J.-P. (1991), *Dictionnaire de physique*, Paris, Masson, 567 p.

Michel Virlogeux (2020). *Génie parasismique : Principes et applications*

Virlogeux, M. (2020). *Le génie civil face aux catastrophes naturelles, Génie parasismique : Principes et applications*. Éditions Techniques pour l'Ingénieur.

Martin, P., & Latham, R. (2018). *Advanced Reinforcement Techniques for Earthquake Resistance in Reinforced Concrete Structures*. Institute of Structural Engineering Publications, p. 215.

Nathan M. Newmark (1910-2004) : [https://en.wikipedia.org/wiki/Nathan\\_M.\\_Newmark](https://en.wikipedia.org/wiki/Nathan_M._Newmark)

Olsen, R. E. & Mitchell, R. K (1960). Geotechnical properties of fine grained sediments. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 86(1), 1-26.

Paul G. Somerville (2003). "The Big One: An Earthquake Reader"

Plateforme nationale de réduction des risques naturels - Les aléas (<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-risques-naturels-2023/4-aleas--enjeux--risques>)

René, C 2020 . *Évaluation de la performance sismique des bâtiments en béton armé : approche par la résilience*

Règles Parasismiques Algériennes RPA (Versions 1981, 1983, 1988, 1999, 2003, Ministry of Housing, and CGS, Algiers)

Spence et al. (2015). "Earthquake Risk Reduction in Developing Countries: A Review of Policy and Practice" ([https://www.researchgate.net/publication/288969202\\_Earthquakes](https://www.researchgate.net/publication/288969202_Earthquakes))

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process. McGraw-Hill.

Saaty, T. L. (1986). The analytic hierarchy process for multi-criteria decision making. European Journal of Operational Research, 28(1), 22-47.

Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 97(9),1249-1273.

Triantaphyllou, E., & Mann, S. H. (1995). How to use the analytic hierarchy process. European journal of operational research, 75(1), 1-24.

Weiss, W. (2018). Seismic design of reinforced concrete buildings: A practical approach. Taylor & Francis.

William M. Rasberry (2016) "Occupancy and Population Data for Fire Safety Design of Buildings"

Yanga, M. J., & Shia, Y. T. (2002). Applying the analytic hierarchy process (AHP) to facility layout design. Journal of facility planning, 15(2), 117-127.

Yousfi. N & Ait belkacem. M et al. (2024) Seismic Resilience scenario of Algerian Buildings 'context Blida city case study, Journal Earthquake and Tsunami.28(4)

Yousfi Nacim, « Estimation de l'indice de vulnérabilité de Structures » Mémoire de Magister de Université de saad dahleb de blida, Algerie,2010.

## **ANNEXES**

# **ANNEXE 01**

**« Calcul du paramètre capacité sismique »**

## 1. La capacité sismique:

La classification de ce paramètre se fait en fonction du coefficient «  $\alpha$  » qui est défini comme étant le rapport entre la force résistante des éléments structuraux de la structure et la force sismique appliquée sur cette structure.

## 2. Etape de calcul

Selon la référence [7], le coefficient  $\alpha = \frac{Fr}{Fs}$

**Tel que :**

La force sismique  $F_s$  donnée par le règlement italien [IRS, 1996] est :

$$F_s = 0.4 \times R \times h_i \times W_i \frac{\sum_{i=1}^{i=n} W_i}{\sum_{i=1}^{i=n} h_i}$$

**Avec:**

- $W_i$  : Le poids du niveau  $i$ .
- $h_i$  : Hauteur de l'étage  $i$ .
- $R$  : Facteur défini en fonction du type de sol (S) et la période (T)
- 

**Sachant que :**

La force sismique donnée par le règlement parasismique algérien [RPA99, 2003], est :

$$F_s = \frac{A \times Q \times D}{R} W$$

**Avec:**

- $A$  : Coefficient d'accélération de zone.
- $Q$ : Facteur de qualité
- $R$  : Coefficient de comportement global de la structure.
- $D$ : Facteur d'amplification
- $W$  : Le poids total de la structure.

Soit le coefficient  $\beta = \frac{F_s \text{ Italienne}}{F_s \text{ Algérienne}}$

**D'où :**  $F_s \text{ italienne} = \beta \times F_s \text{ Algérienne}$

**Donc :**  $\alpha = \frac{Fr}{\beta \times F_s \text{ algérienne}}$

### **3. Classification:**

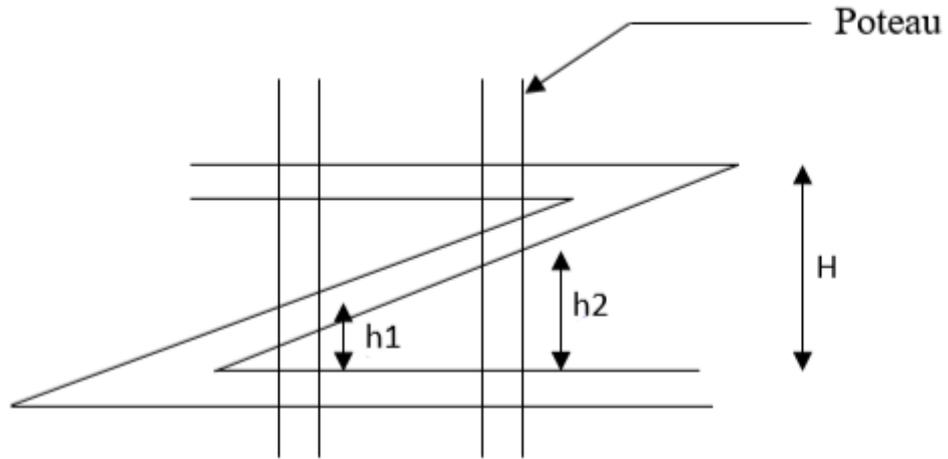
La classification de ce facteur en fonction du coefficient  $\alpha$  est :

- 1- Classe A : Pour les structures ayant un rapport de la force résistante et la force sismique  $\alpha \geq 1$ . C'est à dire les structures dont la force résistante de leurs éléments structuraux est plus grande que la force sismique appliquée sur cette structure. Donc ces structures peuvent résister au mouvement sismique.
- 2- Classe B : Cette classe regroupe les structures dont le coefficient  $\alpha$  est  $0.7 \leq \alpha < 1$ . C'est-à-dire, dans cette classe, on y trouve les structures dont leur résistance à la force sismique est moyenne. Donc leurs forces résistantes ne dépassent pas 70% de la force sismique.
- 3- Classe C : Dans cette classe, on trouve les structures ayant un coefficient :  $\alpha < 0.7$ . Donc cette classe regroupe les structures ayant une faible résistance au séisme.

# **ANNEXE 02**

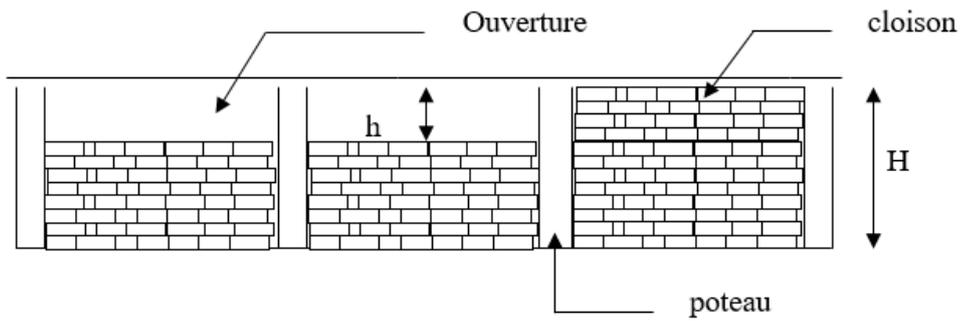
**« Calcul du poteau court »**

**Schéma explicatif du phénomène de poteau court**



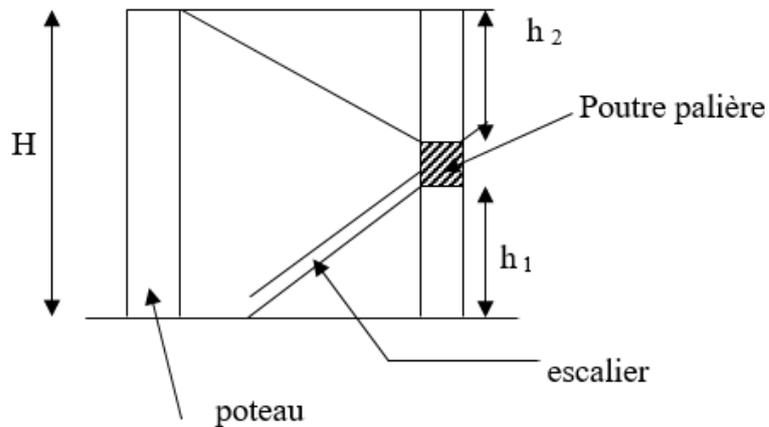
**Figure 1 : Rampe d'accès de parking.**

Mesurer H (m) : ....., h<sub>1</sub> (m) : ....., h<sub>2</sub> (m) : .....



**Figure 2 : Représentant des ouvertures dans les cloisons.**

Mesurer H (m) : ....., h (m) : .....



**Figure 3 : Coupe sur les escaliers.**

Mesurer H (m) : ....., h<sub>1</sub> (m) : ....., h<sub>2</sub> (m) : .....