République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme

Hocine Ait Ahmed

Laboratoire Ville, Architecture et Patrimoine

Mémoire de Master

Option : Réduction de la Vulnérabilité

du Patrimoine Bâti

Thème

Diagnostic d'un immeuble du tissu colonial

Sis au 20 Rue Abbane Ramdane

En cours de réhabilitation

Elaboré par :

Mlle. KERBOUI Hiba

Encadré par :

Pr. SI YOUCEF Youcef

Membres de jury :

Présidente de jury : Mme. AMROUN L

Examinateur: Mr. KRITTER T A

Examinateur : Mr. BOUZID F

Février 2021

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir accordé la foi, le courage, la santé et les moyens de conception de ce mémoire.

J'adresse des remerciements particuliers à mon encadreur, Professeur SI YOUCEF qui m'a dirigé au cours de cet ambitieux travail. Son esprit critique et ses judicieux conseils ont grandement facilité la réalisation de ce travail.

Je voudrais également témoigner mon gratitude à :

Mr LAAROUCI, Directeur de la subdivision d'Urbanisme de l'APC d'Alger centre.

Mr BENHAMICHE, Architecte agréée dotant du Bureau d'étude d'Architecture et de Restauration à Bir Khadem.

A tout les responsables à l'APC d'Alger centre pour leur patience et serviabilité qui m'a été précieux afin de mener mon travail à bon port.

Je remercie toutes les personnes qui ont accepté de juger ce travail, et à toute l'équipe pédagogique de l'EPAU.

Mes remerciements vont également à :

Mes parents, qui m'ont encouragé, soutenu et qui sont toujours derrière moi, je ne pourrais jamais les remercier assez, et dont je suis très reconnaissante pour leurs efforts fournies le long de mon parcoure, que Dieu les gardent pour moi.

Ma famille, mon frère et mes sœurs en particulier, qui sont ma force et ma source d'inspiration et qui sont tout le temps à mes cotés.

A la fin je voudrais remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail de mémoire de master.

Résumé :

La réhabilitation en Algérie prend un grand écho nos jours, vue l'état vulnérable de notre patrimoine bâti, la dégradation de ces demeures est la conséquence de la forte sismicité de la ville d'Alger qui sonne l'alarme du danger en vue de la perte de plusieurs immeubles ces derniers mois et années.

A travers ce mémoire, nous allons ouvrir la parenthèse sur un thème d'actualité qui étudie un cas réel au cœur d'un des plus anciens quartiers de la ville d'Alger centre à la rue Abbane Ramdane, l'immeuble étudier est en cours de travaux de réhabilitation dans le cadre d'identifier l'opération mener au chantier tout en se basant sur les données collectées suivant une méthode appelée Réhabi Med qui décrit toute une démarche de réalisation d'une étude pour une opération de réhabilitation d'un bâtiment du tissu ancien.

Le développement de ce mémoire se base essentiellement sur une simulation numérique à l'aide d'un logiciel d'ingénierie appelé Robot Structural Analysis dans la vision de voir le comportement du mécanisme de la structure du bâtiment face aux efforts sismiques prévenue dans la zone d'Alger et pour voir l'état vulnérable de la résistance de la structure en présence de l'aléa sismique avec évaluation du degré de la gravité de la situation.

La question de ce mémoire de recherche résume une méthodologie de travail afin de bien mener une opération de réhabilitation commençant par une investigation in-situ et la collecte des données selon une méthode décrite passant ensuite à l'investigation à l'aide de l'outil informatique dans l'objectif est de définir les zones les plus endommagées afin d'agir ponctuellement et pour prévoir des solutions globales et définitives sous la conformité des lois du RPA et dans un cadre visant le développement du domaine de la réhabilitation.

Mots clés : Réhabilitation, Vulnérabilité, Réhabi Med, Robot structural Analysis.

ملخص:

تأخذ عملية إعادة التأهيل في الجزائر صدى كبير في الوقت الحاضر ، بالنظر إلى الحالة الهشة التي آل إليها تراثنا العمراني ، إن تدهور هذه المساكن هو نتيجة الزلازل القوية لمدينة الجزائر العاصمة ما وجب دق ناقوس الخطر في ضوء فقدان العديد من المباني في الأشهر والسنوات الأخيرة.

من خلال هذه الرسالة ، سنقوم بفتح قوس حول موضوع يدرس حالة حقيقية في قلب أحد أقدم أحياء مدينة الجزائر في شارع عبان رمضان ، والمبنى المراد دراسته هو قيد الإنجازحاليا. العمل سيكون في سياق تحديد العملية التي سيتم تنفيذها في الموقع مع الإعتماد على البيانات التي تم جمعها باستخدام طريقة تسمى **Réhabi Med** والتي تصف كعملية كاملة لإجراء دراسة لعملية إعادة تأهيل مبنى في النسيج القديم.

يعتمد تطوير هذه الأطروحة أساسًا على محاكاة عددية باستخدام برنامج هندسي يسمى **Robot Structural Analysis** الذي يمكننا من رؤية سلوك هيكل المبنى في مواجهة القوى الزلزالية التي تهز منطقة الجزائر ومعرفة الحالة الضعيفة لمقاومة الهيكل في وجود الخطر الزلزالي مع تقييم درجة خطورة الموقف.

يلخص سؤال أطروحة البحث هذا منهجية العمل من أجل تنفيذ عملية إعادة التأهيل بنجاح بدءًا من التحقيق في الموقع وجمع البيانات وفقًا لطريقة موصوفة ثم الإنتقال إلى التحقيق بإستخدام تكنولوجيا المعلومات و الهدف من كل هذا هو تحديد المناطق الأكثر تضررًا و العمل في الوقت المحدد وتقديم حلول عالمية ونهائية بموجب الامتثال لقوانين **RPA** وفي إطار يهدف إلى تطوير مجال إعادة التأهيل.

الكلمات المفتاحية: إعادة التأهيل ، الضعف ، RéhabiMed، Robot Structural Analysis

Summary :

The rehabilitation in Algeria takes a great echo nowadays, given the vulnerable state of our built heritage, the degradation of these residences is the consequence of the strong seismicity of the city of Algiers which sounds the alarm of the danger in view of the loss of several buildings in recent months and years.

Through this thesis, we are going to open the parenthesis on a topical theme which studies a real case in the heart of one of the oldest districts of the city of Algiers center at rue Abbane Ramdane, the building to be studied is in progress. rehabilitation work in the context of identifying the operation to be carried out on site while based on the data collected using a method called Réhabi Med which describes a whole process of carrying out a study for a rehabilitation operation of a building in the old fabric.

The development of this thesis is essentially based on a numerical simulation using an engineering software called Robot Structural Analysis in the vision of seeing the behavior of the mechanism of the building structure in the face of seismic forces prevented in the area of 'Algiers and to see the vulnerable state of the resistance of the structure in the presence of the seismic hazard with evaluation of the degree of gravity of the situation.

The question of this research thesis summarizes a working methodology in order to successfully carry out a rehabilitation operation starting with an in-situ investigation and the collection of data according to a described method then passing to the investigation using the tool, in the objective is to define the most damaged areas in order to act punctually and to provide global and final solutions under the compliance of RPA laws and within a framework aimed at the development of the field of rehabilitation.

Keywords: Rehabilitation, Vulnerability, Réhabi Med, Robot structural Analysis.

Table des matières

CHAPITRE I : Chapitre introductif 2
1. Introduction : 2
2. Problématique : 2
3. Les hypothèses: 3
4. Les objectifs : 3
5. La méthodologie : 4
5.1. Méthode théorique : 4
5.2. Méthode pratique : 4
6. La structure du mémoire : 4
CHAPITRE II : 5
Définition des notions et des concepts 5
CHAPITRE II : Définition des notions et des concepts 6
1. Le séisme : 6
1.1. Définitions 6
1.2. Exemple de séisme majeur en Algérie: cas du séisme de Boumerdes en 2003 : 9
1.3. Zones de sismicité : 11
2. La vulnérabilité : 12
2.1. Définitions : 12
2.2. Vulnérabilité sismique des bâtiments : 13
3. La réhabilitation : 15
3.1. Définition : 15
3.2. Les niveaux de la réhabilitation : 15
4. La règlementation parasismique Algérienne : 17
4.1. Règles et recommandations : 17
CHAPITRE III : 21
Méthode de réhabilitation « RéhabiMed » 21
CHAPITRE III : Méthode de réhabilitation « RéhabiMed » 22
I .Définition : 22
II. Les étapes à suivre : 22
1. La connaissance : 23
1.1. Préliminaires : 23
1.2. Etudes pluridisciplinaires : 24
2. La réflexion : 26

2.1. Diagnostic (synthèse) : 26
2.2. Réflexion et cadre de décision : 27
2.3. Le projet : 28
3. Les travaux : 29
3.1. Les travaux de réhabilitation : 29
4. La vie utile : 30
4.1. Entretien : 30
CHAPITRE IV : Fiche de vulnérabilité 32
CHAPITRE V : 35
Présentation et diagnostic du cas d'étude 35
CHAPITRE V : Présentation et diagnostic du cas d'étude 36
I. Présentation du cas d'étude : 37
I.1. Situation : 37
I.2. Historique : 38
I.3. Lecture architecturale : 40
I.4. L'état du bâtiment avant la réhabilitation relevé par le BET: 41
I.5. Diagnostic in-situe des éléments porteurs au cours de la réhabilitation: 42
II. Etude numérique à l'aide de logiciel Robot Structural Analysis 2019 : 43
II.1. Les phases de réalisation de cette modélisation : 43
II.2. Les difficultés et les problèmes rencontrés lors de la modélisation: 47
II.3. Déplacements de l'immeuble : 47
II.4. Outils et méthode de renforcement du vieux bâti : 50
Bibliographie 58

Table des figures :

Figure 1	Carte de la répartition de la tectonique des plaques	06
Figure 2	Principe sismique	07
Figure 3	Carte macrosismique montrant les zones touchées par le séisme de Boumerdes 2003	10
Figure 4	Zones sismiques du territoire national	11
Figure 5	Elaboration d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments	12
Figure 6	Effondrement de bâtiments auto stables en maçonnerie insérée	13
Figure 7	Cisaillement des poteaux par les bielles développées dans la maçonnerie	13
Figure 8	Cisaillement des poteaux par les bielles développées dans la maçonnerie insérée	13
Figure 9	Cisaillement et instabilité de bâtiment suite à la variation de rigidité induite par la maçonnerie.	14
Figure 10	Effondrement de bâtiment par manque de contreventement longitudinal	14
Figure 11	Fissuration des nœuds suite à l'absence du ferraillage transversal dans les nœuds	14
Figure 12	Les étapes de la méthode RéhabiMed	22
Figure 13	Etape 1 : Préliminaires de la méthode RéhabiMed	23
Figure 14	Etape 2 : Etudes pluridisciplinaires de la méthode RéhabiMed	24
Figure 15	Etape 3 : Diagnostic de la méthode RéhabiMed	26
Figure 16	Etape 4 : Réflexion et cadre de décision de la méthode RéhabiMed	27
Figure 17	Etape 5 : Projet de la méthode RéhabiMed	28
Figure 18	Etape 6 : Réhabilitation de la méthode RéhabiMed	29
Figure 19	Etape 7 : Entretien de la méthode RéhabiMed	30
Figure 20	Plan de situation	37
Figure 21	Plan de masse	38
Figure 22	Plan général de la ville d'Alger en 1888.	39
Figure 23	Photo de la rue Abbane Ramdane ex rue de Constantine en 1954.	39
Figure 24	Photo de la façade principale	40
Figure 25	La façade principale	40
Figure 26	Effondrement des escaliers à partir du 2ème étage.	42
Figure 27	Corrosion des solives	42
Figure 28	Dégradation de la façade arrière donnant sur la cour	42
Figure 29	Dégradation et fissuration superficielle des murs intérieurs	42
Figure 30	Modélisation des murs porteurs extérieurs	43
Figure 31	Modélisation des dalles	44
Figure 32	Modélisation des murs porteurs intérieurs	44
Figure 33	Modélisation des ouvertures	45
Figure 34	Modélisation des appuis	45
Figure 35 et 36	Introduction des charges	46
Figure 37	Création du maillage	46
Figure 38	Reprise de fissure d'un mur	51

Figure 39	Application d'un enduit de renfort sur un	52
Figure 40	Pose de tirants dans le mur	52
Figure 41	Contrefort des murs	53
Figure 42	Chainage des éléments verticaux	53
Figure 43	Taxidermie d'un mur	54

Chapitre Introductif

CHAPITRE I : Chapitre introductif

1. Introduction :

Le patrimoine, un concept qui reflète au sens propre l'identité d'un pays d'une civilisation quoi qu'il soit matériel ou immatériel il restera une possession d'une richesse et d'une potentialité ; il est d'avantage une source économique sur laquelle repose le tourisme.

Ce patrimoine est dicté par une diversité qui témoigne de son histoire et de son existence ancestrale.

Aujourd'hui et malheureusement on vit la dégradation de cet héritage bâti, suite à l'effondrement d'un immeuble au sein de la casbah d'Alger ce qui nous révolte encore plus à mettre en évidence ce bien patrimonial, et proclamer les opérations de réhabilitation ponctuel qui se limitent à quelques opérations disqualifié et non adapté qui sont consacré en grande partie aux revêtements et blanchissement de façades sans pour autant faire recours aux spécialistes dans le domaine ou même sans avoir des connaissances approfondies dans les modes d'intervention adapté à ces types d'opérations.

L'histoire montre que plusieurs facteurs sont à la base de cette détérioration et parfois même effondrement de ces biens immobiliers : les exigences environnementales, le séisme, le sol, la topographie et l'activité de l'homme…

En revanche ; la préservation de ce patrimoine est indispensable, donc une prise en charge durable est nécessaire.

Donc notre travail s'intéresse au diagnostic d'un immeuble colonial qui se trouve sur la rue Abbane Ramdane à Alger qui est pris en charge par la commune d'Alger centre et qui est en cours de phase d'étude pour y envisager une réhabilitation et un renforcement, ainsi l'évaluation de la vulnérabilité du bâtiment cas d'étude afin de confirmer ou infirmer son adaptation et résistance à l'aléa sismique.

2. Problématique :

En vue de l'état de dégradation remarquable de plusieurs immeubles du tissu colonial sur Alger, nous constatons qu'ils nécessitent des opérations de réhabilitation et de renforcement de leurs structures porteuses ; de cela on doit s'inquiéter à la question de la vulnérabilité des bâtiments qui borde la rue Abbane Ramdane.

La question qui se pose est donc : Quelle est la technique de renforcement la plus convenable pour réduire la vulnérabilité de ce vieux bâti ?

Ainsi, plusieurs questions se succèdent :

Comment peut-on procéder à la réhabilitation tout en gardant l'authenticité de cet immeuble ?

Quel type de réhabilitation est le plus adapté ?

Quelles sont les méthodes et techniques de diagnostic de la vulnérabilité de cet immeuble ?

3. Les hypothèses:

Avant de situer une opération de réhabilitation, une étude de comportement de la structure s'impose cela nous guide vers des outils et des méthodes d'analyse préalable cela nous emmène à penser :

La modélisation numérique permet de comprendre le comportement du bâtiment sous l'effet des efforts sismique comme elle indique le degré de l'état de vulnérabilité.

La modélisation numérique peut être un outil qui participe à la décision elle confirme ou infirme les solutions optés dans l'opération de réhabilitation.

4. Les objectifs :

Notre travail a pour objectif d'accompagner un des sujets d'actualité, en rapport avec la conservation des biens patrimoniaux, donc nous voulons atteindre les objectifs suivants :

Conserver l'histoire et la faire transmettre aux générations futures.

Capitaliser un savoir dans le domaine de la réhabilitation des immeubles anciens.

Déterminer les caractéristiques et recommandations à prendre en compte pour prévoir sa durabilité et définir les différentes techniques de réparation envisageables.

Rendre de l'utilité et la fonction au vieux bâti.

Améliorer la durabilité de ce vieux bâti vis-à-vis des aléas naturels.

5. La méthodologie :

Afin d'atteindre les objectifs cités précédemment, notre travail se base sur les méthodes suivantes :

5.1. Méthode théorique :

Elle consiste à collecter et consulter les différents documents bibliographiques nécessaires : des articles, des ouvrages, des mémoires, des archives… qui traitent notre thème qui est « Diagnostic d'un immeuble du tissu colonial sis au 20 Rue Abbane Ramdane en cours de réhabilitation » et analyser ces données.

5.2. Méthode pratique :

C'est une investigation sur terrain à travers des diagnostics et visites orientés sur site, des entretiens avec les différents acteurs ayant contribué à l'étude préliminaire de notre cas d'étude. Ensuite, cette étude consiste en la réalisation d'une simulation numérique de la structure de l'immeuble cas d'étude à l'aide du logiciel Robot Structural Analysis.

6. La structure du mémoire :

Notre mémoire se compose de deux grandes parties :

Dans la première partie nous s'intéressons à la récolte des informations liées au thème choisi, cela veut dire la réalisation d'une étude bibliographique : la définition des concepts et des notions en relation avec notre réflexion concernant le sujet traité.

En deuxième lieu, notre démarche s'intéresse au cas d'étude choisi « immeuble du tissu colonial sis au 20 rue Abbane Ramdane », pour appliquer une simulation dynamique pour évaluer l'état du bâtiment et proposer par la suite des solutions en traitant les résultats obtenus.

CHAPITRE II :

Définition des notions et des concepts

CHAPITRE II : Définition des notions et des concepts

1. Le séisme :

1.1. Définitions

a) **Le séisme :** l'Algérie a connu tout le long de son histoire des tremblements de terres dévastateurs ce qui l'a mis dans la zone du danger, ces tremblements de terres sont des secousses sismiques qui se résultent du mécanisme ordinaire des plaques tectoniques sur lesquelles reposent les continents.

Le séisme ou le tremblement de terre, qui se définit comme un phénomène naturel, dans lequel la terre libère les énergies accumulées sous forme d'ondes sismiques se compte parmi phénomènes les plus dévastateurs, vu la particularité de ses sollicitations et la façon dont elles touchent la structure bâtie. (Djebri et al , 2017)

b) **L'origine du séisme :** un tremblement de terre est lié à la contrainte engendré par le frottement des plaques tectoniques sur lesquelles reposent les continents, lorsque ces contraintes de frottement deviennent importantes un tremblement de terre se produit**.** Au final, on constate que les zones ou se chevauchent les plaques tectoniques auront un risque sismique plus élevé que celles qui s'éloignent de cette zone de frottement. Ce qui illustre la figure ci-dessus :

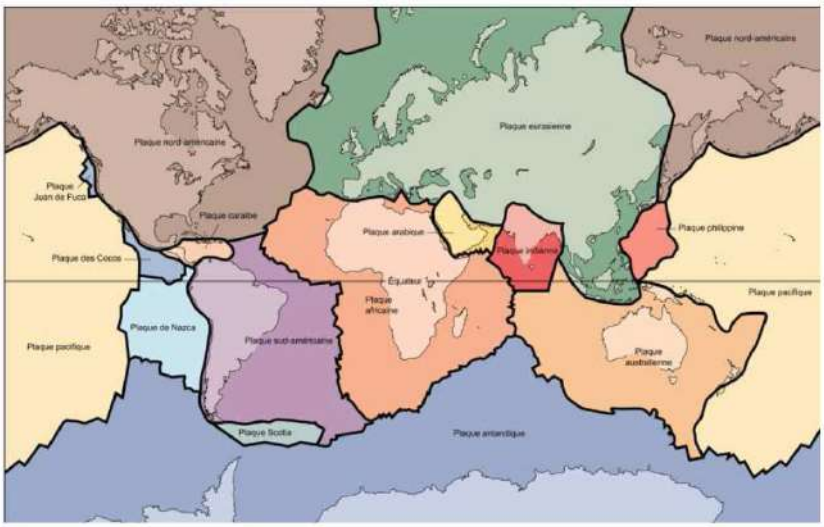


Figure 1 : Carte de la répartition de la tectonique des plaques, (Garacia. J, 2007)

On entend par **Risque sismique** le degré de pertes, de destructions ou de dégâts sur une période de référence (en général un an) sur une région donnée. Les pertes se réfèrent aux vies humaines et aux biens exposés. (Garacia. J, 2007)

c) Ondes sismiques :

L'hypocentre ou le foyer est le point d'origine d'un séisme. Ainsi, l'épicentre est le point qui se situe sur la surface du sol à la verticale de l'hypocentre.

Les ondes sismiques résultent de la propagation des secousses sismiques. Le résultant de cette manifestation engendre des dégâts sur la surface terrestre en une intensité décroissante à partir de l'épicentre.

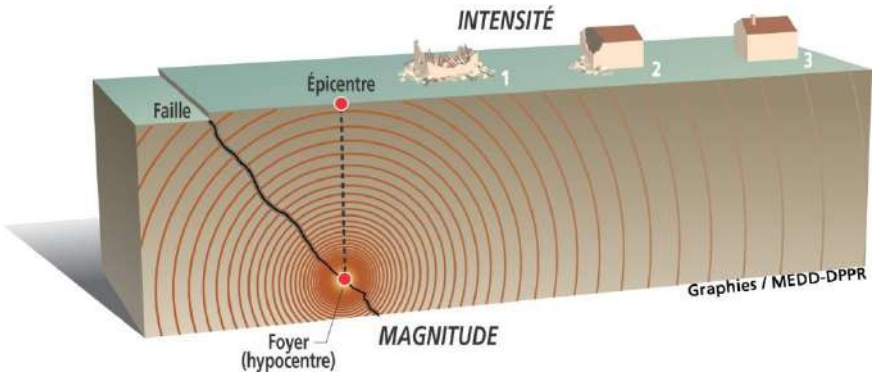


Figure 2 : Principe sismique. (https://eduscol.education.fr/)

d) Intensité et magnitude du séisme :

On peut mesurer son impact par plusieurs paramètres :

1. **Son intensité : Echelle de Mercalli :** l'intensité d'un séisme mesure son importance qui dépend de différents paramètres :

- Les dégâts qu'il peut provoquer.
- L'intensité ressentie par les gens.

  Donc, l'intensité évalue les effets destructeurs d'une secousse sismique.

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

Tableau 1 : Echelle d'intensité de Mercalli, (Garacia. J, 2007)

e) **Sa magnitude : Echelle de Richter :** c'est une évaluation de la quantité d'énergie libérée au niveau du foyer du tremblement de terre. Cette échelle, définie en 1935, est basée sur le principe d'enregistrement des mouvements du sol effectué en un certain nombre de points d'observations situés à des distances quelconques de l'épicentre. A partir d'une étude statistique, on a pu établir une corrélation entre l'énergie libérée par un séisme et la magnitude.

Magnitude	Energie en J
0	
1	
2	$\sim 10^{3}$
3	$\sim 10^{6}$
4	$\sim 10^{9}$
5	$\sim 10^{10}$
6	$\sim 10^{13}$
7	$\sim 10^{15}$
8	$\sim 10^{17}$
9	sup à 10^{18}

Tableau 2 : Echelle de Magnitude de Richter, (Garacia. J, 2007)

1.2. Exemple de séisme majeur en Algérie: cas du séisme de Boumerdes en 2003 :

L'Algérie se situe au Nord Africain sur la zone de jonction de deux plaques tectoniques. Cette zone à forte sismicité, le long de son histoire a connu plusieurs séismes dévastateurs qui ont touché plusieurs régions du Nord Algérien citant comme exemple : le séisme de Chlef El Asnam en 1980 et sa région, subissent la plus forte secousse sismique jamais enregistrée en Afrique du Nord, et dernièrement celui de Boumerdes en 2003 qui est resté gravé dans la mémoire des Algériens, sa magnitude était de 6.7 sur l'échelle de Richter, selon le Réseau National de Strasbourg, parmi les tremblements de terres les plus meurtriers qui ont touché l'Algérie.

Victimes et Dommages :

Selon le bilan officiel de l'Association Française du génie Parasismique AFPS 2003 :

Le nombre de personnes décédées était de 2277 personnes.

Selon le bilan de Monsieur FARSI de CGS **« Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique »**, le tableau ci-dessus illustrera l'évaluation des dommages de constructions dans la wilaya la plus touché Boumerdès selon des degrés de dommages à savoir :

- Degrés 1 et 2 : couleur verte
- Degrés 3 et 4 : couleur orange
- Degré 5 : couleur rouge

USAGE	VERT		ORANGE		ROUGE	Total
	NIVEAU 1	NIVEAU 2	NIVEAU 3	NIVEAU 4	NIVEAU 5	
Habitations	12646	20591	10818	5940	6449	**56444**
Bat. Admin.	119	142	82	48	40	**431**
Equip. Scolaires	295	449	244	178	82	**1248**
Equip. Hospitaliers	72	58	23	14	8	**175**
Equip. Sportifs ou Culturels	81	57	54	53	20	**265**
Commerces	148	124	100	71	108	**551**
Equip. Industriels et Hangars	50	99	49	43	42	**283**
Autres	20	41	16	22	29	**128**
TOTAL	**13431**	**21561**	**11386**	**6369**	**6778**	**59525**
%	22.58	36.22	19.12	10.70	11.38	100.00

Tableau 3 : WILAYA DE BOUMERDES: BILAN DES DOMMAGES ARRETE AU 24.06.2003, (AFPS, 2003)

Il s'est étalé sur toutes les régions limitrophes, ce qui est illustré sur la carte macrosismique ci-joint :

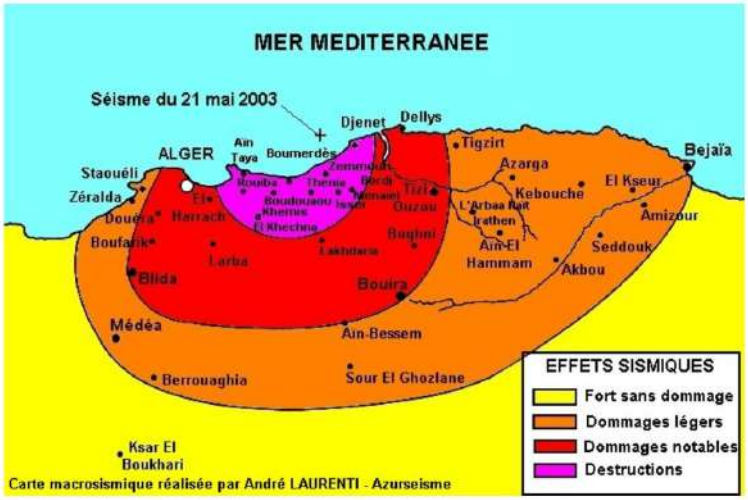


Figure 3 : Carte macrosismique montrant les zones touchées par le séisme de Boumerdes 2003. (https://www.azurseisme.com/)

Cette carte tente une approche sur les effets provoqués par le séisme du 21 mai 2003. Carte proposée par **André Laurenti** réalisée d'après les témoignages transmis sur "azurseisme"

1.3. Zones de sismicité :

Classification des zones sismiques :

Le territoire algérien est divisé en 4 zones de sismicité croissantes :

- **Zone 0 :** sismicité négligeable
- **Zone I :** sismicité faible
- **Zone II :** sismicité moyenne
- **Zone III :** sismicité élevée

La wilaya d'Alger est classée en zone III. (AFPS, 2003)

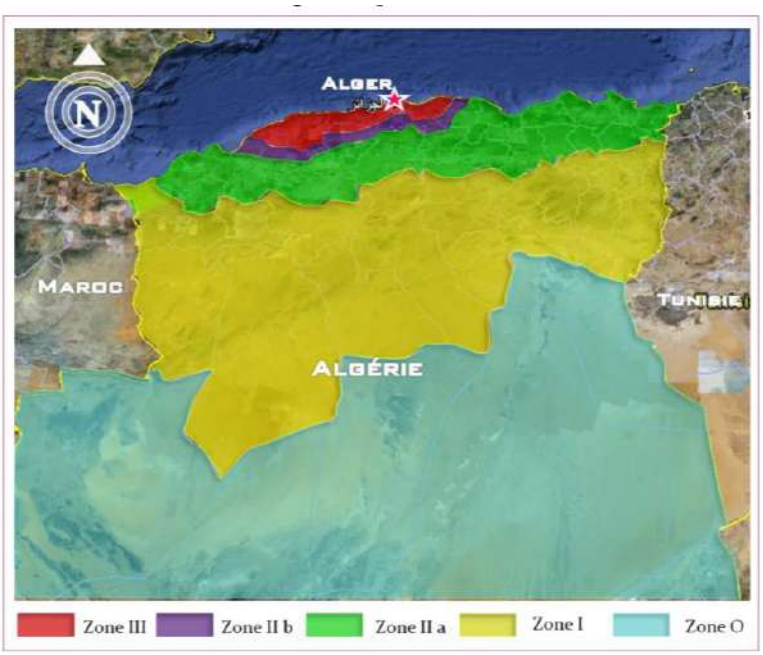


Figure 4: Zones sismiques du territoire national (Boughazi. Kh, 2012)

2. La vulnérabilité :

2.1.Définitions :

La vulnérabilité d'une construction représente le degré auquel une structure va souffrir des dommages, et des perturbations sous l'impact d'une catastrophe menaçante, comme des tremblements de terre. (Djebri et al , 2017)**.** Elle est aussi le niveau de perte de valeur d'un système.

On définit **la Vulnérabilité sismique** par le degré d'endommagement pour différents évènements. La vulnérabilité dépend des caractéristiques physiques et géométriques des bâtiments. (Garacia. J, 2007)

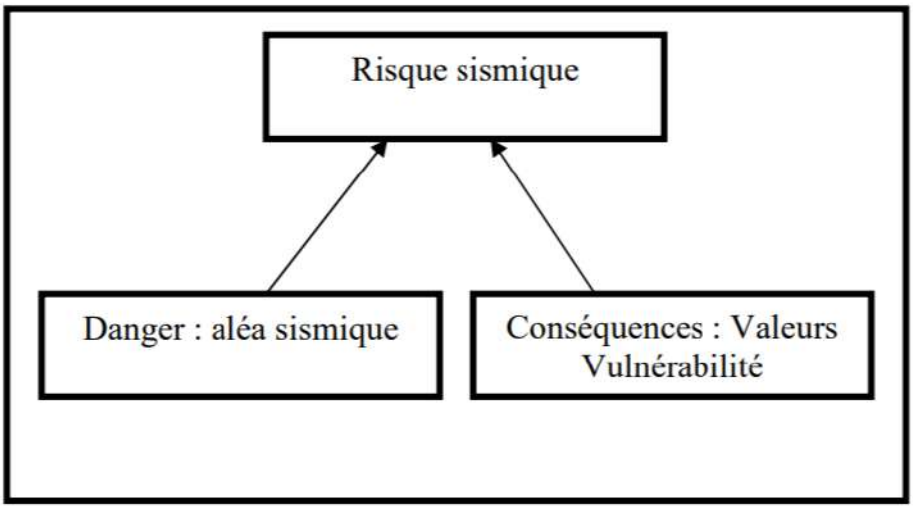


Figure 5 : Elaboration d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments (Garacia. J, 2007)

Finalement, le risque peut être exprimé comme le produit de l'aléa sismique (probabilité d'occurrence), de la vulnérabilité (degré d'endommagement) et de la valeur de l'élément exposé. (Garacia. J, 2007)

Risque sismique = Aléa sismique×Vulnérabilité sismique×Valeurs

2.2. Vulnérabilité sismique des bâtiments :

Effets du séisme sur les bâtiments « Exemple du séisme de Boumerdès 2003 » :

Figure 6: Effondrement de bâtiments auto stables en maçonnerie insérée, (Kebaili et al , 2009)

Figure 7: Cisaillement des poteaux par les bielles développées dans la maçonnerie insérée. (Kebaili et al , 2009)

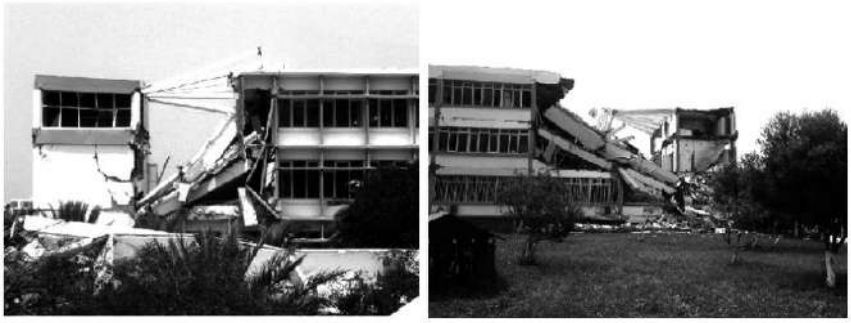


Figure 8: Effondrement partiel d'un bâtiment faute de mauvaise conception. (Kebaili et al , 2009)

Figure 9: Cisaillement et instabilité de bâtiment suite à la variation de rigidité induite par la maçonnerie. (Kebaili et al , 2009)

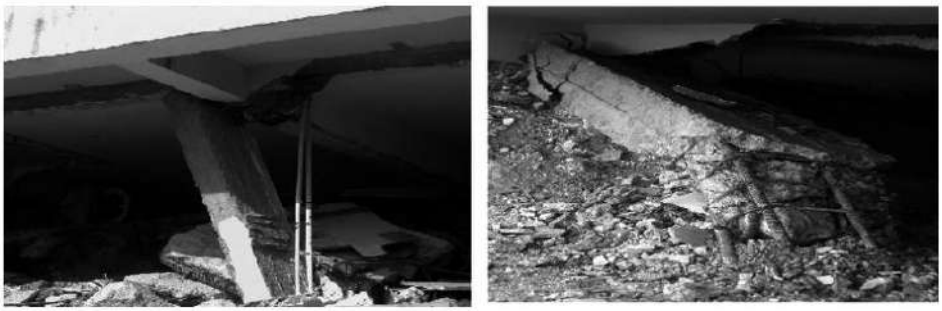


Figure 10: Effondrement de bâtiment par manque de contreventement longitudinal. (Kebaili et al , 2009)

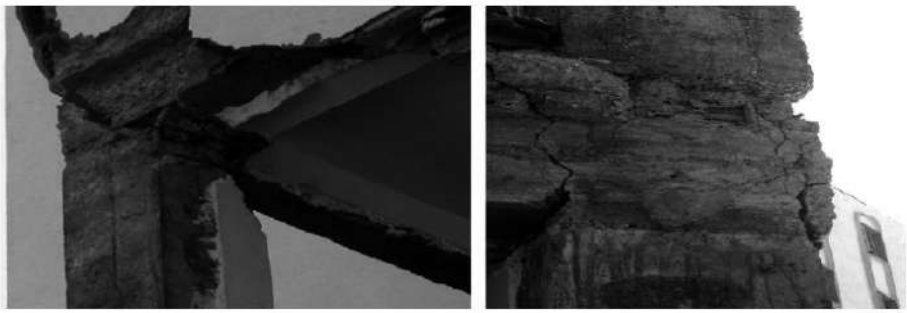


Figure 11: Fissuration des nœuds suite à l'absence du ferraillage transversal dans les nœuds, (Kebaili et al , 2009)

Les premières lectures faites concernant la défaillance de certaines structures peuvent être classées en trois catégories :

- Vulnérabilité de certains types de structures.
- Conception Architecturale et Structurale.
- Conditions constructives et matériaux.

(Kebaili et al , 2009)

3. La réhabilitation :

3.1. Définition :

« **Réhabiliter** » un immeuble ancien consiste à le restaurer de façon sommaire, en y installant notamment un équipement sanitaire correspondant aux normes minimales d'habitabilité. La « réhabilitation » touche généralement le tissu urbain banal, la restauration étant plutôt réservée à la sauvegarde et à la mise en valeur d'ensembles ayant une réelle qualité architecturale.

Dans le domaine du bâtiment plus précisément la réhabilitation est définie comme suit :

Comme le bâtiment architectural est une constitution ou stratification de plusieurs périodes qui doivent être réservées et maintenues ; la réhabilitation est une opération de consolidation et de restitution des parties endommagées ou des portions manquantes, elle sert à prolonger la durée de vie d'un bâtiment, elle se base d'avantage sur la restitution des éléments structurels de la bâtisse. Donc, la réhabilitation c'est une opération de travaux effectués sur un bâtiment vétuste, qui consiste à redonner vie et à rénover sans pour autant le raser.

C'est aussi, reconnaitre la valeur, l'utilité de quelque chose après une période d'oubli, de discrédit. Ainsi que réhabiliter signifie restaurer et moderniser un quartier ou un immeuble.

3.2. Les niveaux de la réhabilitation :

Il existe quatre niveaux de réhabilitation selon le rapport de NORA portant sur l'amélioration de l'habitat ancien Paris 1976 qui sont les suivant :

a. **Réhabilitation légère :** elle concerne la réhabilitation des éléments décoratifs, ainsi que l'installation des équipements sanitaires ; par contre elle n'inclut pas les travaux des parties communes du bâtiment ni l'installation du chauffage central.
b. **Réhabilitation moyenne :** En plus de ce qui a été cité auparavant, la réhabilitation moyenne inclut l'intervention sur les parties communes du bâtiment ainsi que les parties privatives intérieures.

   En règle générale la réhabilitation légère ne concerne pas le système structurel et constructif du bâtiment.
c. **Réhabilitation lourde :** ce niveau de l'opération, inclut en addition à ce qui est touché dans les niveaux précédent, la redistribution des espaces, modification ou suppression des cloisons, aussi il consiste en la réparation des toitures et des planchers, refaire l'étanchéité.
d. **Réhabilitation exceptionnelle :** dans ce niveau le bâtiment présente un état de dégradation avancé des dégâts qui touchent des éléments de la structure porteuse de l'immeuble ce qui engendre à ce niveau des travaux de reconstruction ou de renforcement des éléments de structure.

Donc cette opération de réhabilitation du patrimoine est loin d'être une opération simple mais plutôt c'est une intervention profonde qui touche tout les éléments qui constitues le bâtiment en totalité à partir de l'habillage de façades jusqu'aux fondations selon le degré de complexité et qui dépend à son tour de l'état de vulnérabilité du bâtiment surtout dans notre cas ici en Algérie qui est une zone touchée souvent par le séisme.

4. La règlementation parasismique Algérienne :

L'Algérie se trouve au Nord Africain qui est une zone de forte sismicité, en conséquent elle était victime de nombreuses catastrophes naturelles violentes le long de son histoire, Ce qui a engendré l'évolution ainsi des règlements parasismiques Algériennes due aux actions sismiques enregistrés et qui ont en conséquence pu détruire des villes ou des régions entières. Une succession de recommandations et de règles ont été établi afin d'atténuer les dommages du séisme, ainsi de sauvegarder la vie humaine. Dès lors, l'objectif principal de ce règlement c'est d'arriver à concevoir des bâtiments durables et résistants aux aléas sismiques et cela peut être réalisé que si la structure est rigide et ne possède pas un risque d'effondrement local ou général, « partiel ou total ».

4.1. Règles et recommandations :

Evolution de la règlementation parasismique Algérienne :

Historiquement les premières mesures parasismiques sont celles prises par le Dey Ali CHAOUCH d'Alger, après le séisme d'Alger de 1716 ;

1) 1976-1978 : Elaboration carte micro sismique
2) 1978 Préparation du RPA 80 avec université de Stanford-Professeur CHAH
3) Après le séisme d'Octobre 980 : Cohabitation PS69 et RPA81
4) 1983 : RPA81
5) 1988 : Révision RPA83 : RPA88
6) 1999 : Révision RPA83 : RPA99 : Modifications principales :
   - Revue : Méthode statique équivalente
   - Méthode dynamique spectrale
   - Mise en chapitres des fondations et des matériaux
7) 2003 : Révisions du RPA99 en RPA2003 :
   - Nouveau zonage en 5 zones
   - Limitation du nombre d'étages et de hauteur totale par zone.

C'est ainsi que nous avons disposé de cinq versions du RPA (1981, 1983, 1988, 1999, et 2003). C'est pourquoi, le ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme a instruit le Centre National de Recherche appliqué en Génie Parasismique (CGS) à l'effet d'initier un avant projet de version révisée du RPA (RPA-2010) qui prendrait en charge au mieux les évolutions, préoccupations et exigences. (Bouguerba. A)

Le patrimoine à travers le cadre réglementaire algérien :

En étudiant les différents textes législatifs et réglementations algériennes, en corrélation avec la réhabilitation et la préservation du patrimoine bâti, il est remarquable que les différentes lois présentent un cadre réglementaire très superficiel, qui se manifeste dans le manque d'un guide de réhabilitation, chargé de l'ensemble d'opérations de protection et de mise en valeur du patrimoine algérien vis-à-vis des différents risques et pathologies qui pourrons altérer cet héritage. Parmi les textes réglementaires qu'on a pu repérer, nous citons :

1. Loi n°90-08 du 7 avril 1990 relative à la commune :

Art. 93 – Dans le cadre de la protection du patrimoine architectural, la commune est responsable de :

- La préservation et la protection des sites et monuments en raison de leur vocation et de leur valeur historique et esthétique.
- La sauvegarde du caractère esthétique et architectural et l'adoption de type habitat homogène des agglomérations.

2. Loi n°90-09 du 7 avril 1990 relative à la wilaya :

Art. 82 – L'assemblé populaire de la wilaya apporte son soutien aux communes dans la mise en œuvre de leur programme d'habitat
A ce titre elle :

- Participe à des opérations de rénovation et de réhabilitation en concertation avec les communes.

3. Loi 90-29 du 01 décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme :

On remarque dans la présente loi, la prise en charge du patrimoine bâti dans les opérations des aménagements territoriales (PDAU, POS). On peut citer :

Art. 20 –Les secteurs urbanisés incluent également les parties de territoire urbanisés à rénover, à restaurer et à protéger.

Art. 31 – Dans le respect des dispositions des plans directeur d'aménagement et d'urbanisme(PDAU), le plan d'occupation des sols fixe de façon détaillée les droits d'usage des sols et de construction

A cet effet, le plan d'occupation des sols :

- Précise les quartiers, rues, monuments et sites à protéger, à rénover et à restaurer.

4. Décret législatif N° 94-07 du 18 mai 1994 modifié par la loi N° 04-06 du 14 août 2004 relatif aux conditions de la production architecturale et à l´exercice de la profession d´architecte :

On remarque dans l'article ci-dessous, l'intention donné à la réhabilitation et à la rénovation des tissus urbains dans un cadre global, et pour cela on trouve :

Art. 41 – Le comité d´architecture, d´urbanisme et de l´environnement bâti de wilaya poursuit dans le cadre de la protection et de la préservation de l´environnement bâti, les actions visant à :

- Améliorer l´orientation et l´encadrement des opérations de rénovation et de réhabilitation de tissus urbains.
- Sensibiliser et encadrer les opérations d´intégrations urbaines des grands ensembles. Encourager les opérations de viabilisation et d´amélioration du cadre bâti des tissus spontanés.
- Conseiller les autorités locales sur la localisation et la délocalisation des activités nuisibles et à la restructuration des zones d´activités.

5. Loi n°98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel :

Art. 41 –Sont érigés en secteur sauvegardés, les ensembles immobiliers urbains ou ruraux tels que les casbahs, médinas, Ksour, villages et agglomérations traditionnelles caractérisés par leur prédominance de zone d'habitat, et qui, par leur homogénéité et leur unité historique, architectural, artistique ou traditionnel de la nature à en justifier la protection, la restauration, la réhabilitation et la mise en valeur.

6. Décret exécutif n°03-227 du 22 juin 2003 fixant les conditions et les modalités d'octroi des aides pour la réhabilitation des habitations endommagées par le séisme du 21 mai 2003 :

Art. 2. Les aides prévues à l'article 1er ci-dessus sont consenties aux conditions ci-après pour la réhabilitation de :

- Tout immeuble collectif à usage d'habitation, occupé ou en voie de l'être par un ou plusieurs locataires ou copropriétaires ;
- Toute construction individuelle à usage d'habitation occupée ou en voie de l'être.

(Mahmoudi. A, 2018)

CHAPITRE III :

Méthode de réhabilitation « RéhabiMed »

CHAPITRE III : Méthode de réhabilitation « RéhabiMed »

I .Définition :

C'est une méthode qui s'applique sur deux échelles : l'échelle urbaine et l'échelle territoriale jusqu'au l'échelle architecturale « le bâtiment ». Il s'agit donc d'une méthode ou approche qui ordonne la procédure de réalisation d'une opération de réhabilitation d'un bâtiment traditionnel de la Méditerranée, elle est destinée à tous les agents impliqués dans la procédure de réhabilitation qui sont : les Architectes, les ingénieurs et les constructeurs.

II. Les étapes à suivre :

Cette méthode est décomposée en quatre grandes phases successives qui sont les suivantes :

1. La connaissance
2. La réflexion
3. Les travaux
4. La vie utile

Dans chacune des phases citées auparavant on trouve une ou plusieurs étapes qui se suivre selon le schéma détaillé ci-dessous :

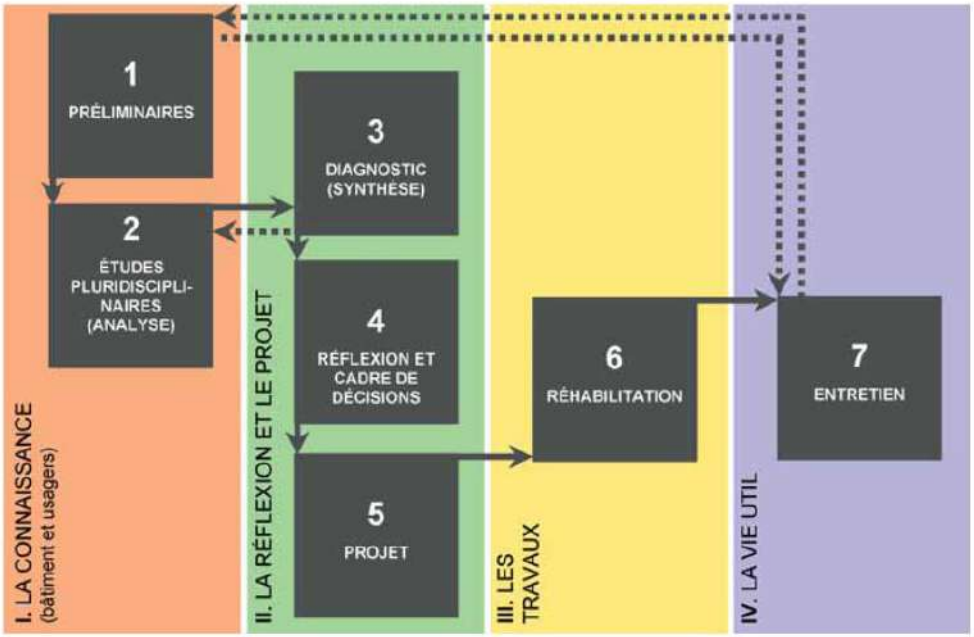


Figure 12: Les étapes de la méthode RéhabiMed (Casanovas. X, 2007)

1. La connaissance :

1.1. Préliminaires :

C'est la première étape du processus, elle se base essentiellement sur une première connaissance du projet sur le volet technique, économique, et usager, pour en ressortir à la fin toutes les informations qui aident à l'évaluation de l'état des lieux du bâtiment, et qui aident à prendre les décisions et les mesures qui conviennent à l'opération en dépendent de l'état de conservation de la bâtisse :

Si le bâtiment est en bon état, la procédure passe directement à la septième étape qui est l'entretien sans passer par les étapes intermédiaires.

Si le bâtiment présente des dégradations remarquables, la procédure passe à la deuxième étape.

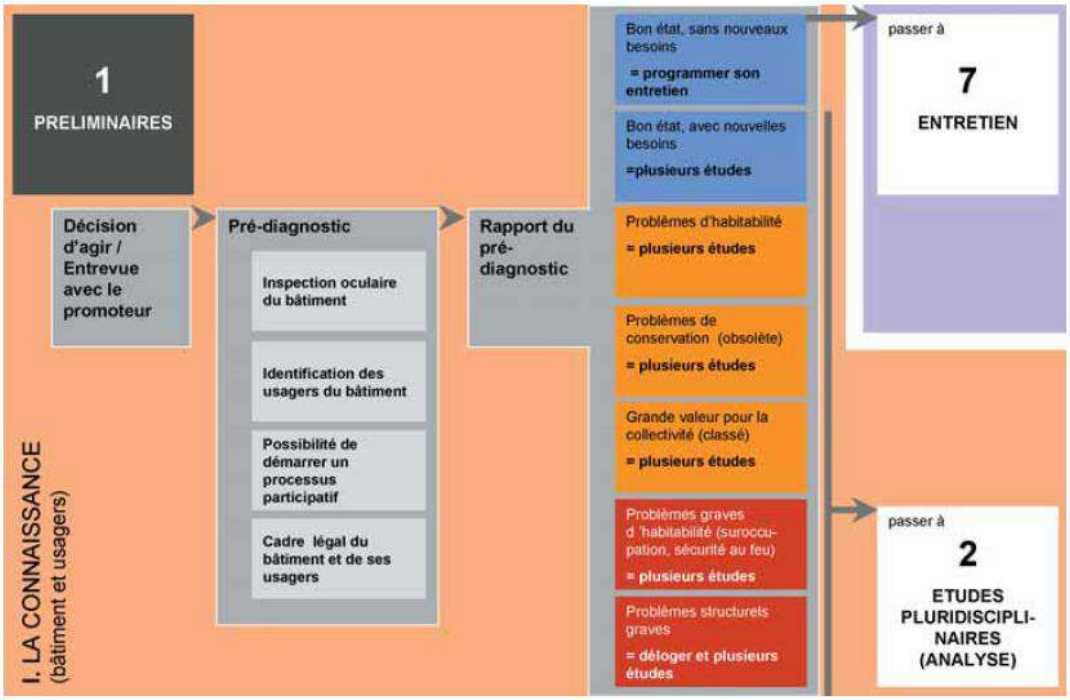


Figure 13: Etape 1 : Préliminaires de la méthode RéhabiMed (Casanovas. X, 2007)

1.2. Etudes pluridisciplinaires :

Il s'agit dans cette deuxième étape de faire une analyse spécialisée, cette analyse consiste en établissement d'une compagnie d'étude qui touche tout les aspects du bâtiment : Historique, Social, Architectural, Technique…

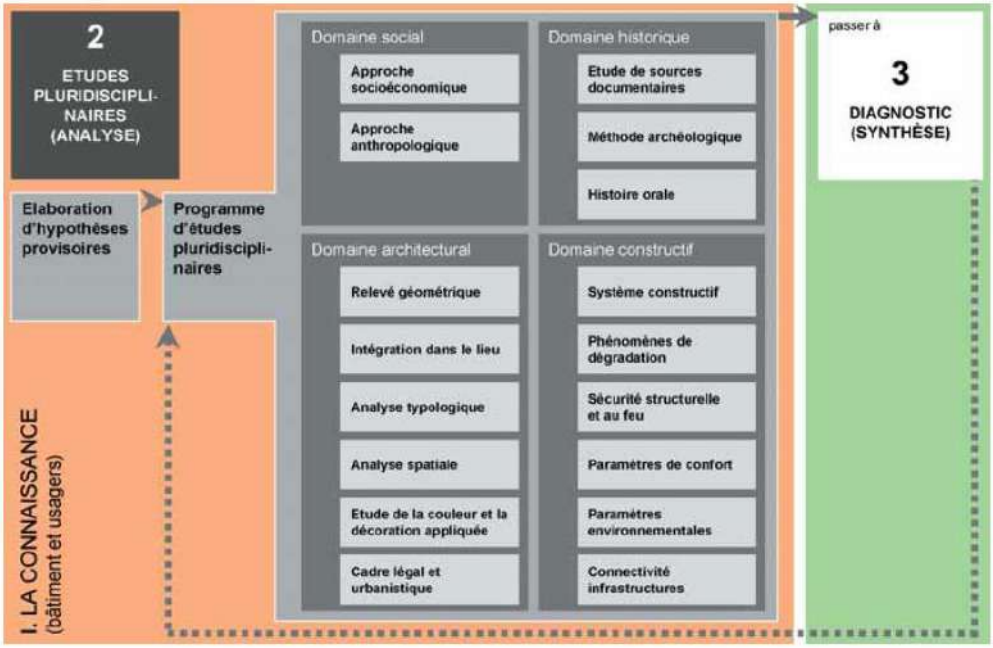


Figure 14: Etape 2 : Etudes pluridisciplinaires de la méthode RéhabiMed (Casanovas. X, 2007)

a. Le domaine social :

Une enquête sociologique est nécessaire dans ce genre d'opération, elle permet de connaitre la composition familiale des usagers, leur tranche d'âge, leur situation socioéconomique, leurs niveaux intellectuels, toutes ces informations permet de connaitre la relation entre l'usager et son espace, pour envisager à la fin l'opération la plus compatible avec ses coutumes et ses traditions.

b. Le domaine historique :

Ce domaine se base essentiellement sur des enquêtes, des documents d'archives, des rapports photographiques, ainsi que des sondages in-situ, la récolte de ces informations permet de connaitre le processus de transformation du cas d'étude ; pour choisir la manière d'agir et afin de prendre les décisions les plus pertinentes.

c. Le domaine architectural :

Ce domaine nécessite un relevé géométrique du bâtiment, le type de complexité de relevé dépend des travaux postérieurs, ce domaine se base sur la réalisation des : des relevés géométriques, des reportages photographiques, des études d'intégration urbaines et environnementales, tous ces données permettent de dessiner le dossier graphique de l'ancien bâtiment, au cours de cette inspection, l'architecte/ingénieur s'intéresse à l'analyse typologique et stylistique dans le but de définir les valeurs architectoniques et les aspects singuliers à préserver.

d. Le domaine constructif :

Ce domaine consiste en la reconnaissance de tous les éléments physico-constructifs du bâtiment et l'observation de ses lésions, cette étape fait appel à un architecte/ingénieur habitué aux modes de constructions traditionnels, ces spécialistes jouent un rôle important dans l'identification des phénomènes de dégradation de la structure du bâtiment ainsi d'assurer la sécurité structurelle tout en introduisant les paramètres de conforts et les paramètres environnementaux dans leurs démarche de réhabilitation durable.

2. La réflexion :

2.1. Diagnostic (synthèse) :

Cette étape est une synthèse qui consiste à évaluer l'étude pluridisciplinaire qui a été établi auparavant pour confirmer les hypothèses mises au début des études élaborées.

A la fin de cette troisième étape, il est nécessaire de procéder à la rédaction d'un rapport d'expertise qui détaillera le degré de connaissance du bâtiment atteint, ce rapport décrira et justifiera les valeurs de l'opération de réhabilitation du bâtiment, aussi il détaillera les déficits et leurs causes, ainsi il proposera des recommandations.

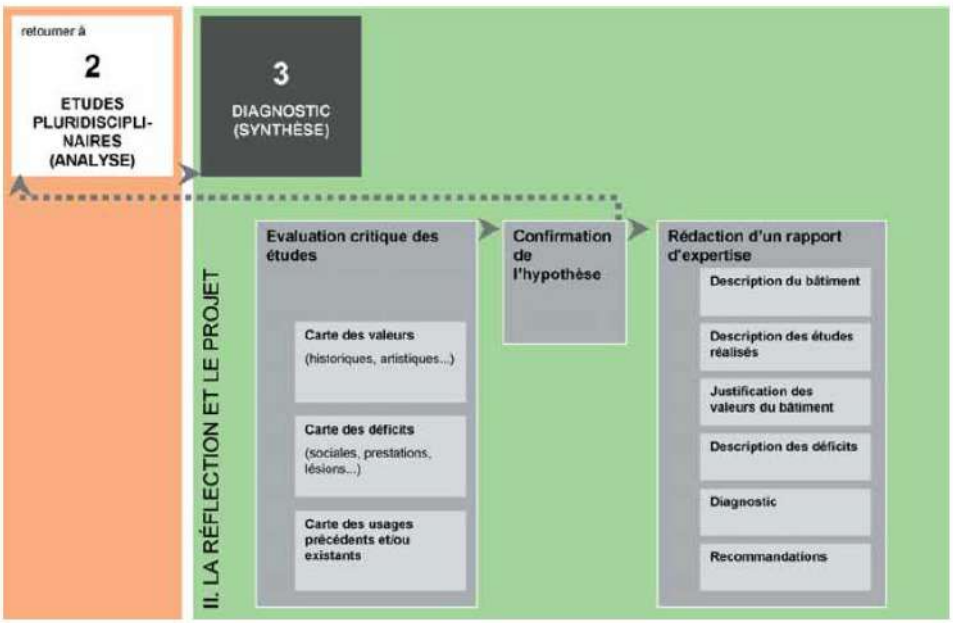


Figure 15: Etape 3 : Diagnostic de la méthode RéhabiMed (Casanovas. X, 2007)

2.2. Réflexion et cadre de décision :

Il s'agit dans cette étape de réaliser une étude de faisabilité de différentes actions et changements qui doivent être établies par la suite, dans le but de choisir un cadre de décision selon le type de réhabilitation à mettre en œuvre.

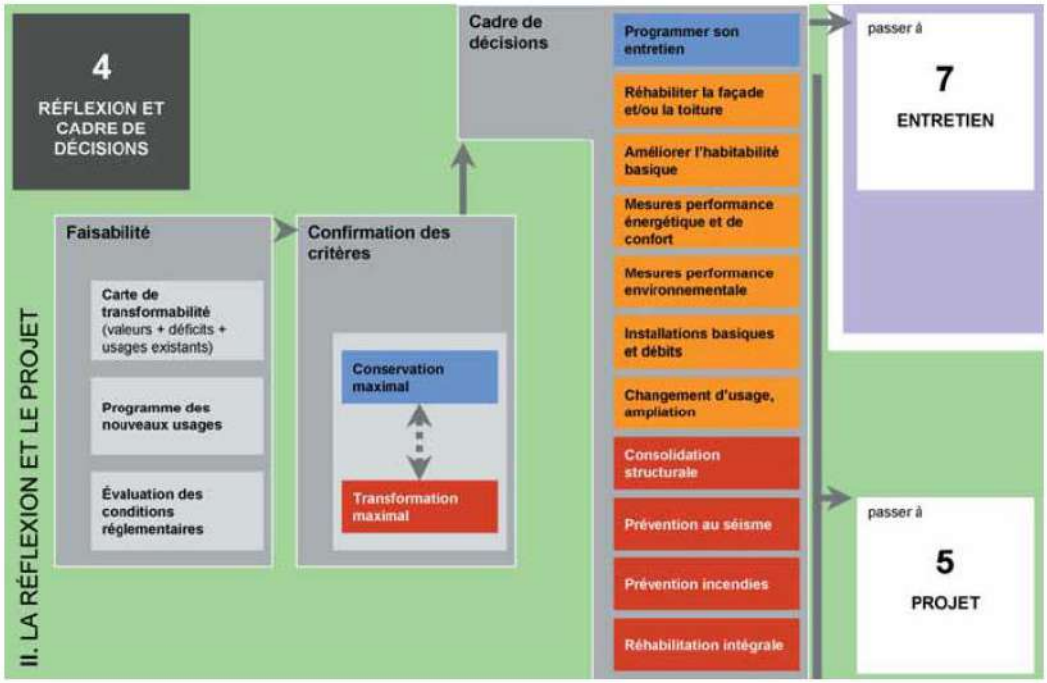


Figure 16: Etape 4 : Réflexion et cadre de décision de la méthode RéhabiMed (Casanovas. X, 2007)

2.3. Le projet :

Dont on trouve : l'avant-projet et le projet

Cette phase concerne en particulier l'élaboration du dossier technique et administratif, c'est le projet détaillé englobant tout les aspects, durant cette phase le projet sera fixé en terme d'étude technique, économique, administrative aussi, tout en intégrant les paramètres de durabilité et de maintenabilité du bâtiment :(mesures d'économie de l'eau, mesures d'économie énergétique, introduction des énergies renouvelables,…) . Mais cela n'empêche d'avoir des modifications au fer-à-mesure des travaux en cas particulier.

Le dossier comprendra la documentation suivante :

La définition géométrique de la proposition avec cotes (étages, élévations, sections), plans de structure, plans de finitions, plans des installations, cahier technique, cahier des charges, devis, mesures, mesures d'hygiène et de sécurité.

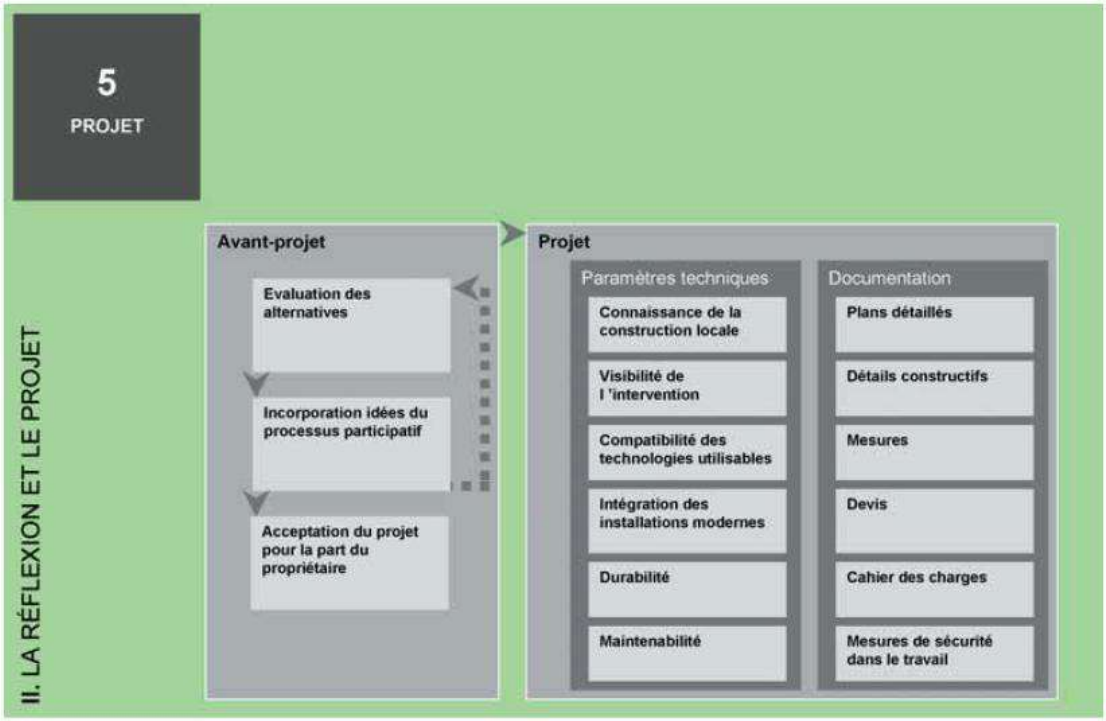


Figure 17: Etape 5 : Projet de la méthode RéhabiMed (Casanovas. X, 2007)

3. Les travaux :

3.1. Les travaux de réhabilitation :

Afin de bien mener une opération de réhabilitation, le choix du type de constructeur est très important, le choix se fera entre un constructeur spécialisé dans les techniques traditionnelles ce qui est réellement rare à trouver ou bien choisir un constructeur peu spécialisé mais qui nécessite un suivi de la part des spécialistes en cours des travaux.

La réalisation du projet nécessite une bonne gestion de la part de la direction des travaux, en vue des imprévues qui peuvent surgissent au fer et à mesure des travaux et qui exige la révision continue du projet pour modifier à chaque fois le projet initiale selon les travaux réalisés réellement sur chantier.

D'autre part, dans les opérations de réhabilitation on parle souvent d'opération de démolition ou de démontage pour désigner le remplacement ou la réutilisation des éléments démontés comme : les poutres en bois, les solives métalliques…et qui sont repérés avant le début des travaux.

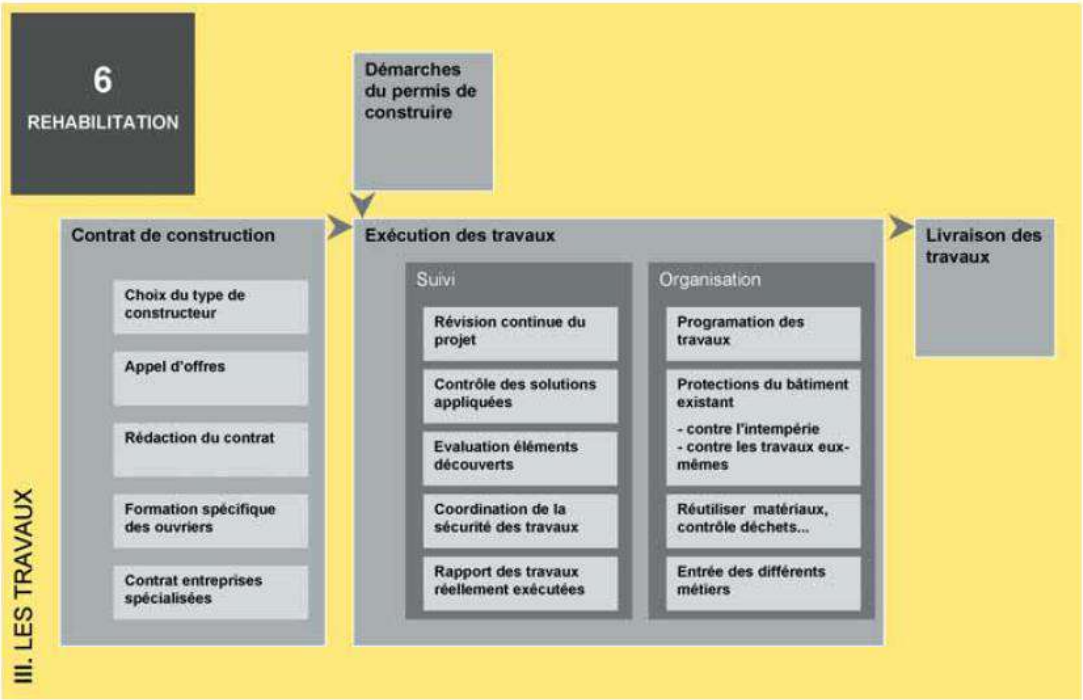


Figure 18: Etape 6 : Réhabilitation de la méthode RéhabiMed (Casanovas. X, 2007)

4. La vie utile :

4.1. Entretien :

C'est la dernière étape du processus de réhabilitation mais aussi c'est l'étape la plus importante vue que :

Un bâtiment traditionnel est un bâtiment forcément vulnérable.

A partir de la fin des travaux de réhabilitation, le bâtiment commence à vieillir.

Cette étape se base essentiellement sur deux aspects : la planification et la prévention, qui se présentent sous forme d'une carte d'identité c'est une feuille de route pour l'élaboration des travaux d'entretien tout en désignant le responsable de ces travaux ainsi la date nécessaire à les réaliser.

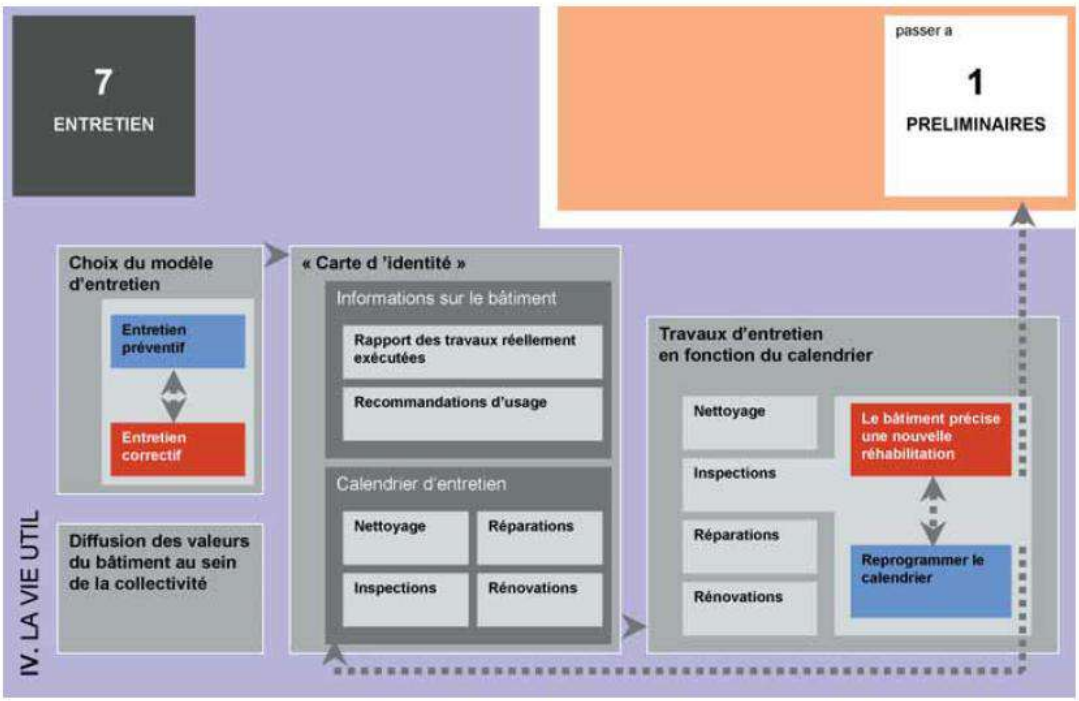


Figure 19: Etape 7 : Entretien de la méthode RéhabiMed (Casanovas. X, 2007)

CHAPITRE IV :

Fiche de vulnérabilité

CHAPITRE IV : Fiche de vulnérabilité

Dans une opération de réhabilitation, de renforcement ou de consolidation d'un vieux bâti, une étude de vulnérabilité préalable est nécessaire, cette étude a pour objectif principal d'apporter des conseils en vue de la réduction de la vulnérabilité des biens et des personnes face aux risques sismiques, aussi elle permet de définir préalablement l'opération la plus adaptée à mener pour chaque cas traité, en guise de l'état vulnérable du bâtiment et selon des critères notés.

Cette étude de vulnérabilité des constructions dans le cas du séisme est résumée dans un tableau nommé « fiche de vulnérabilité » :

C'est un tableau d'évaluation, dans lequel une cote (coefficient de pénalité) est attribuée aux divers facteurs de vulnérabilité. Ces cotes permettent de calculer un coefficient K variant de 0 à 100. Selon la valeur de K, on conclut sur une présomption de :

- très forte vulnérabilité, $K > 100$
- forte vulnérabilité, $50 < K < 100$
- moyenne vulnérabilité, $25 < K < 50$
- faible vulnérabilité, $10 < K < 25$

Cette évaluation se calcule par rapport aux différents paramètres liés aux différents aspects du bâtiment, chaque élément du tableau donne une note qui constitue une partie du coefficient de pénalité K cité auparavant dont l'objectif est de donner une bonne évaluation de l'état vulnérable du bâtiment cas d'étude de cette recherche. Ces paramètres sont les suivants :

Implantation du bâtiment : Morphologie du terrain (terrain en pente ou bâtiment implanté à coté d'un changement de pente…etc)

Environnement du bâtiment : Bâtiment accolé (absence de joint ou rempli d'un matériau) ou bien présence d'un joint entre blocs adjacents.

Type de structure : selon la classification du RPA (Murs en maçonnerie de blocs, Murs en bétons non armé, murs en béton armé, ossature poteaux-poutres sans remplissage, ossature poteaux-poutres avec remplissage, Système mixte murs en maçonnerie et ossature, panneaux de façade BA préfabriqués porteurs, ossature BA préfabriquée porteuse).

Forme en plan : la configuration du bâtiment en plan participe aussi à la réduction de la vulnérabilité du bâtiment en cas ou : la forme est irrégulière, le plan est élancé la longueur est plus grande que la largeur de 4 fois ; ainsi que s'il y'a des parties saillantes ou rentrantes.

Forme en élévation : Etages en encorbellement de plus de 2m, retrait en façade de plus de 40%, planchers d'un même étage situés à des hauteurs différentes, présence d'un plancher lourd ou d'une toiture lourde, absence de diaphragme horizontal en toiture.

Contreventements : Variation verticale croissante des rigidités, dissymétrie qui engendre une torsion en cas de séisme, absence de contreventement dans le sens X ou Y, une densité de voiles de contreventement sens X ou Y.

Zones ou éléments critiques: ce sont les endroits d'une faible rigidité et qui participe à diminuer la stabilité du bâtiment et endommage sa structure :

- Descente de charge en baïonnette
- Présence de poteaux courts ou partiellement bridés participant au contreventement
- Présence de poteaux élancés
- Percements inserts dans les poteaux
- Percements inserts dans les poutres
- Percements inserts dans les nœuds
- Présence d'un angle de façade affaibli
- Axes poteaux et poutres non concourants
- Diaphragmes horizontaux avec grandes ouvertures
- Absence de chainage encadrant les murs de contreventements en MAC

Autres cas à prendre en charge. Tous ces paramètres permettent de définir le degré de vulnérabilité du bâtiment.

En ce qui concerne le cas d'étude diagnostiqué à travers ce mémoire les paramètres relevés sont :

- Absence de joint entre les bâtiments mitoyen de l'ilot
- Le système structurel est en murs porteurs en blocs
- La forme en plan est irrégulière
- Risque de chute des éléments non structuraux
- Une partie du bâtiment est saillante, elle repose sur les arcades de la galerie

D'après ces paramètres on constate une pénalité de 55, ce qui signifie que notre cas d'étude est classé comme un bâtiment à forte vulnérabilité, ce qui nécessite une opération de réhabilitation, confortement. Cette opération qui est déjà prise en charge par l'APC d'Alger centre et qui a entamé la réalisation des travaux au début de l'année 2020.

CHAPITRE V :

Présentation et diagnostic du cas d’étude

CHAPITRE V : Présentation et diagnostic du cas d'étude

Introduction :

Ce chapitre vise à présenter en premier lieu notre cas d'étude : présenter sa situation, ses aspects techniques et constructifs, ainsi qu'historique accompagné avec les documents relatifs aux bâtiments ; ensuite, vue que le bâtiment est en phase de réhabilitation et fait partie de l'un des quartiers les plus importants de la ville d'Alger historiquement parlant, nous devons protégé cette demeure, pour cela, une simulation numérique du bâtiment est mise en œuvre tout en appliquant un efforts sismique pour en ressortir avec le degré de vulnérabilité de ce bâtiment, dans la vision d'apporter des solutions de renforcement du vieux bâti, et tout en analysant le diagnostic réalisé par le bureau d'étude chargé de l'opération de réhabilitation.

Ce chapitre s'intéresse en grande partie à la réalisation d'une étude de comportement de la structure des anciennes immeubles de la ville d'Alger sous l'impact de l'aléa sismique à travers une simulation numérique par le logiciel Robot Structural Analysis 2019.

I. Présentation du cas d'étude :

I.1. Situation :

Le bâtiment étudié se situe dans la rue Abbane Ramdane ex Rue de Constantine juste à coté de l'hôtel Arago « hôtel du palais », dans l'ex quartier des affaires, ce cas d'étude fait parti de l'ancien tissu colonial du quartier Laarbi Ben M'hidi ex Isly actuellement la commune d'Alger centre.

Le quartier Ben M'hidi est la première extension de la ville extramuros pendant la colonisation Française.

Le bâtiment s'implante dans une zone pratiquement plate, il s'aligne sur la rue Abbane Ramdane, c'est un immeuble de rapport qui se développe en R+5 avec une terrasse.

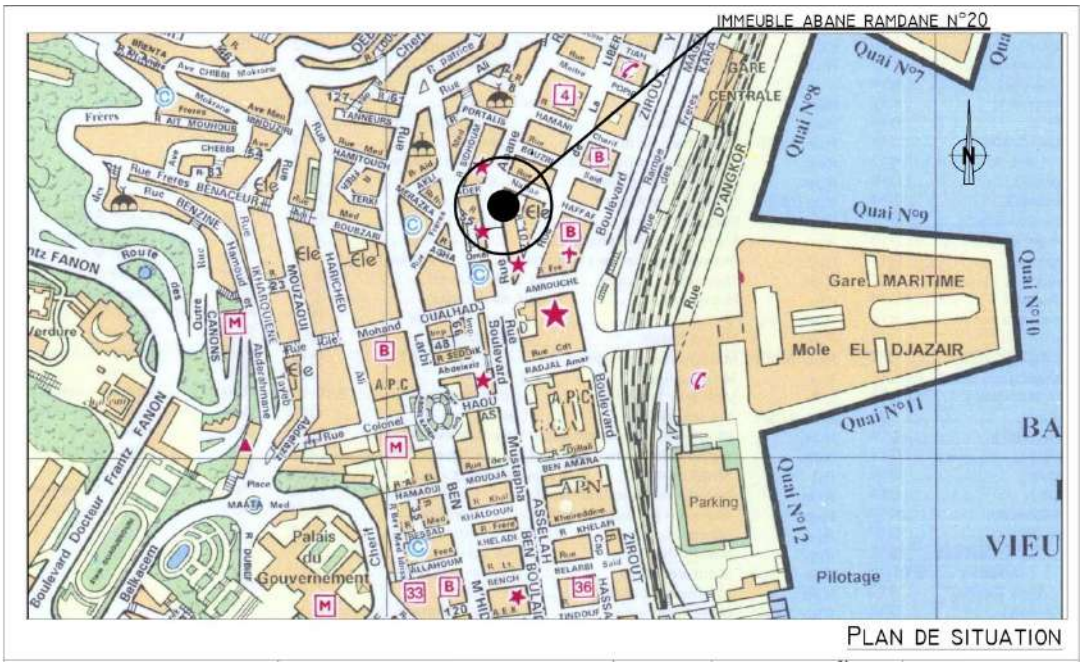


Figure 20: Plan de situation (BET BENHAMICHE 2017)

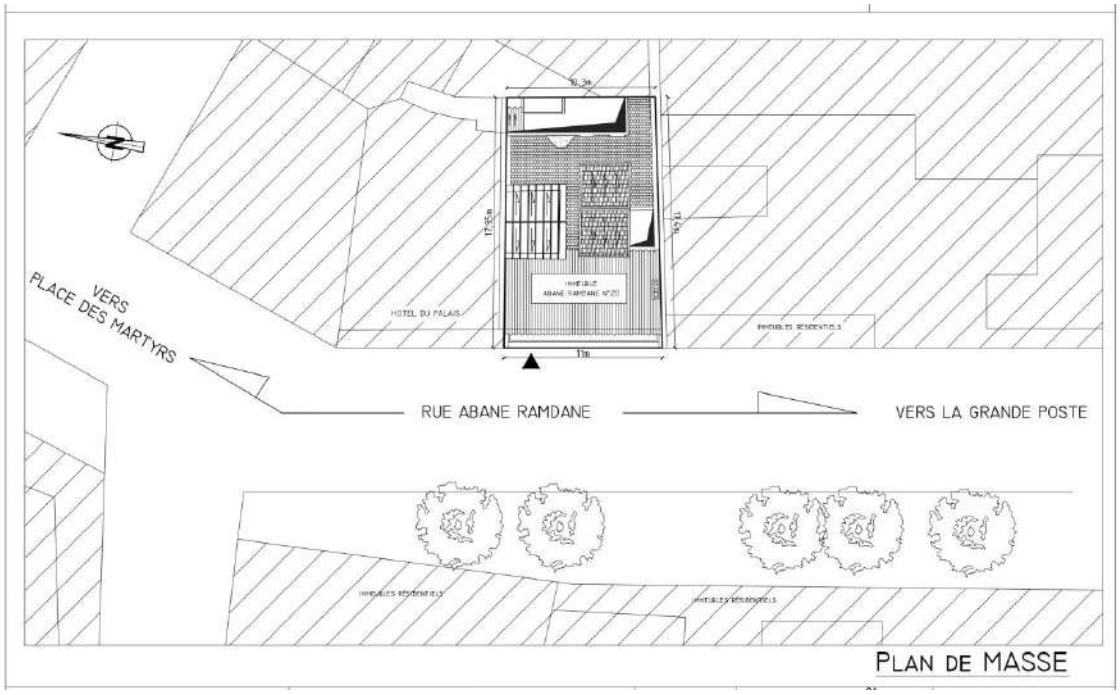


Figure 21: plan de masse (BET BENHAMICHE 2017)

I.2. Historique :

Le bâtiment remonte à la période de la colonisation Française entre la fin du 19ème et début du 20ème siècle, il fait parti du quartier de la liberté, quartier des affaires.

L'immeuble fait parti d'un ilot qui était fondé à l'emplacement de l'ancien faubourg de Bab Azzoun avant 1830, ensuite cette zone était occupée après la colonisation Française par les militaires, et vers la fin du 19ème siècle début 20ème siècle et après le développement de la ville extramuros, l'urbanisation s'est faite tout en s'alignant sur la rue Abbane Ramdane ex rue de Constantine parallèlement à la rue Laarbi Ben M'Hidi ex rue d'Isly, ce qui a donnée naissance au quartier des affaires ou se trouve le palais de la justice.

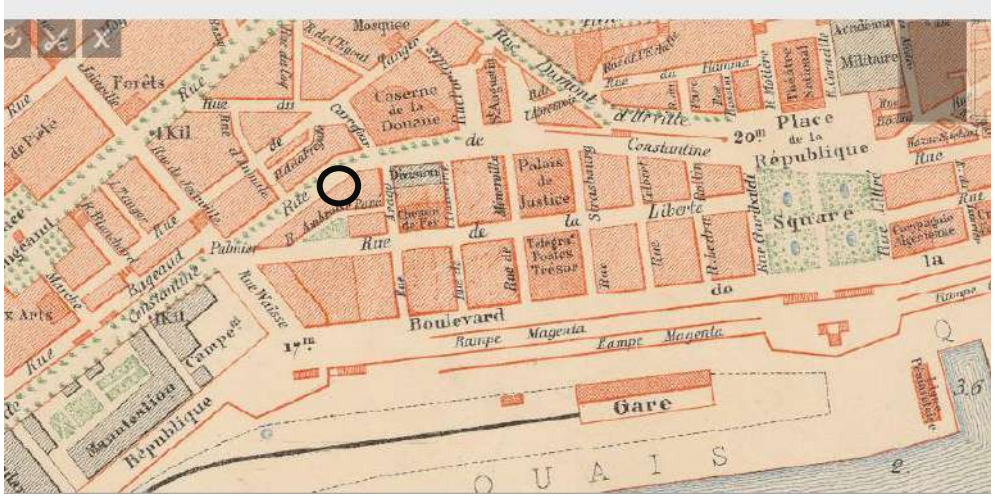


Figure 22 : Plan général de la ville d'Alger en 1888. (Site internet de la bibliothèque nationale de France Gallica). https://gallica.bnf.fr/

Figure 23 : Photo de la rue Abbane Ramdane ex rue de Constantine en 1954. (http://algeroisementvotre.free.fr/)

I.3. Lecture architecturale :

C'est un immeuble de rapport qui fait parti d'un ilot de l'ex quartier des affaires, donnant sur la rue Abbane Ramdane, avec une galerie à arcade en double hauteur, le bâtiment se développe en R+5 avec une terrasse accessible, avec une cour qui donne sur la façade arrière, aussi, il y'a un étage en sous-sol et un magasin au RDC.

L'immeuble occupe une surface d'environ 180m², il est de forme rectangulaire avec une cour à l'arrière mitoyen des deux façades latérales. Il est en cours de réaménagement en un immeuble d'habitations « des logements »

Le langage architectural de la façade repose sur le principe de la tripartite : Soubassement, corps, couronnement, le soubassement est une galerie à arcades en double hauteur, avec une décoration particulière de la façade : des moulures de différentes formes qui donne un langage et un esthétique particulier à la façade principale. Cette façade a été entretenue lors de l'opération de réhabilitation des anciens immeubles de la wilaya d'Alger centre.

Figure 24: photo de la façade principale (l'autrice 2020)

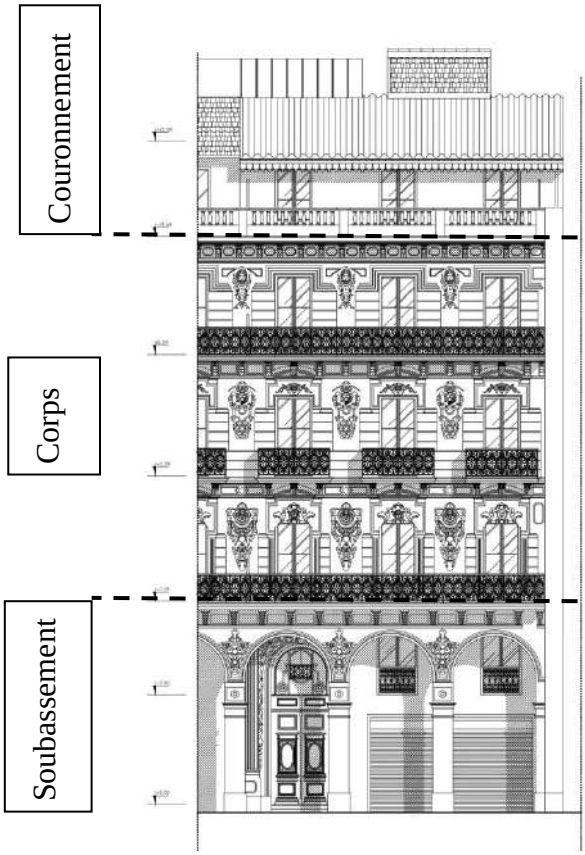


Figure 25 : La façade principale (BET Benhamiche)

I.4. L'état du bâtiment avant la réhabilitation relevé par le BET:

D'après l'étude faite par le bureau d'étude d'Architecture et de Restauration chargé par l'opération de réhabilitation et qui vise à diagnostiquer le cas d'étude, voici les différentes dégradations relevées :

a. Dégradation dues à l'humidité

- Effondrement des escaliers.
- Dégradation des faux plafonds
- Corrosion des solives métalliques des planchers
- Dégradation de murs intérieurs
- Dégradation des murs de façades extérieures
- Dégradation des peintures extérieures

b. Dégradations d'origine structurelle :

- Fissuration des murs intérieurs
- Fléchissement des planchers

c. Les dégradations fonctionnelles :

- Dégradation du réseau d'assainissement
- Dégradation du réseau de drainage des eaux pluviales
- Dégradation du réseau électrique
- Dégradation des cheminées
- Dégradation du réseau AEP et Gaz

d. Les dégradations d'origine humaine :

- Entreposage de gravats sur terrasse et planchers
- Dégradation de la verrière
- Transformations multiples des espaces
- Rajout d'éléments exogènes au bâtiment

La conclusion dont arrive le bureau d'étude c'est que les planchers de tous les étages ne peuvent pas être conservés et même la toiture doit être changée.

I.5. Diagnostic in-situe des éléments porteurs au cours de la réhabilitation:

Le constat relevé par le bureau d'étude chargé de l'opération de réhabilitation se résume comme ceci :

- Des fléchissements et même des fissures au niveau des planchers.
- Les voûtains de remplissage sont fortement endommagés.
- Les solives métalliques porteuses des planchers de tous les niveaux ont subi une corrosion très profonde dégradant même l'âme de la solive.
- Des fléchissements matérialisés par certaines fissures sont même constatés.
- Les voûtains de remplissage sont fortement dégradés dont certains effondrés.
- Effondrement des escaliers
- Dégradation des murs de façades extérieurs

Figure26 : Effondrement des escaliers à partir du 2ème étage.

(L'autrice 2020)

Figure 27 : Corrosion des solives (L'autrice 2020)

Figure 28 : Dégradation de la façade arrière donnant sur la cour (L'autrice 2020)

Figure 29 : Dégradation et fissuration superficielle des murs intérieurs (L'autrice 2020)

II. Etude numérique à l'aide de logiciel Robot Structural Analysis 2019 :

La modélisation de ce bâtiment s'est basé essentiellement sur le dossier graphique effectué par le bureau d'étude chargé de l'opération de réhabilitation, une opération chapoté par l'APC d'Alger centre, mais aussi ce relevé se réfère aux observations effectué lors des visites au sein du chantier.

Cette opération de modélisation a pour but d'effectuer une simulation et des analyses sur le bâtiment tout en appliquant des charges pour en sortir à la fin les zones les plus endommagées du bâtiment pour proposer par la suite des solutions de renforcement et de consolidation de ces zones critiques, cela à été élaboré suivant plusieurs étapes dont nous avons rencontré plusieurs difficultés.

II.1.Les phases de réalisation de cette modélisation :

- La désignation de la trame structurelle selon trois dimensions.
- La modélisation des murs porteurs extérieurs et intérieurs.
- La réalisation des dalles.
- La réalisation des ouvertures.
- L'application des appuis.

1. Modélisation des murs porteurs extérieurs :

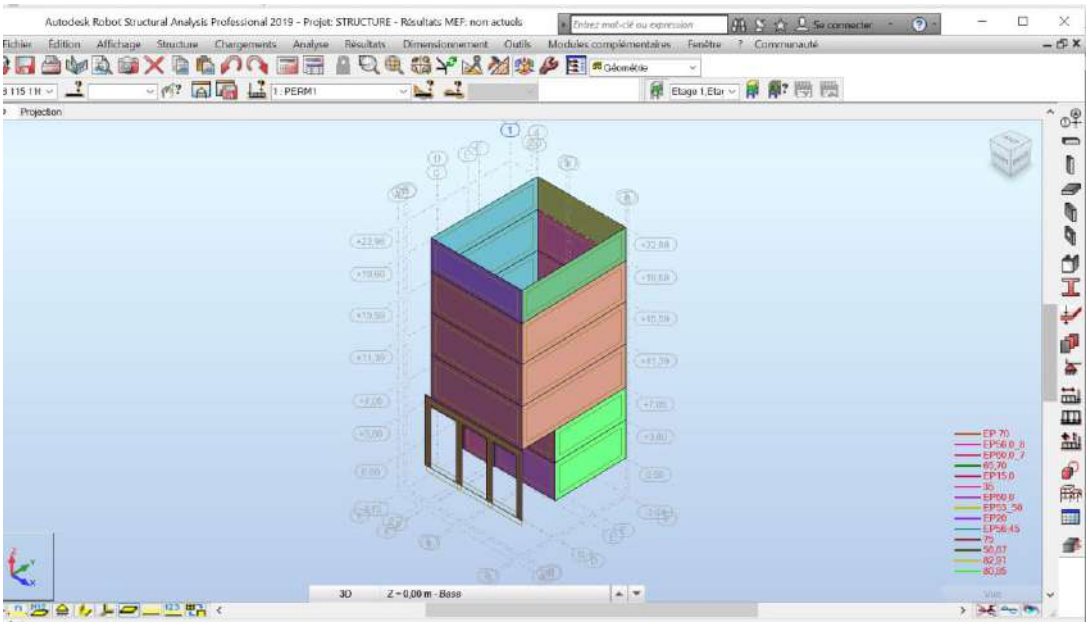


Figure 30 : Modélisation des murs porteurs extérieurs (L'autrice 2020)

2. Modélisation des dalles :

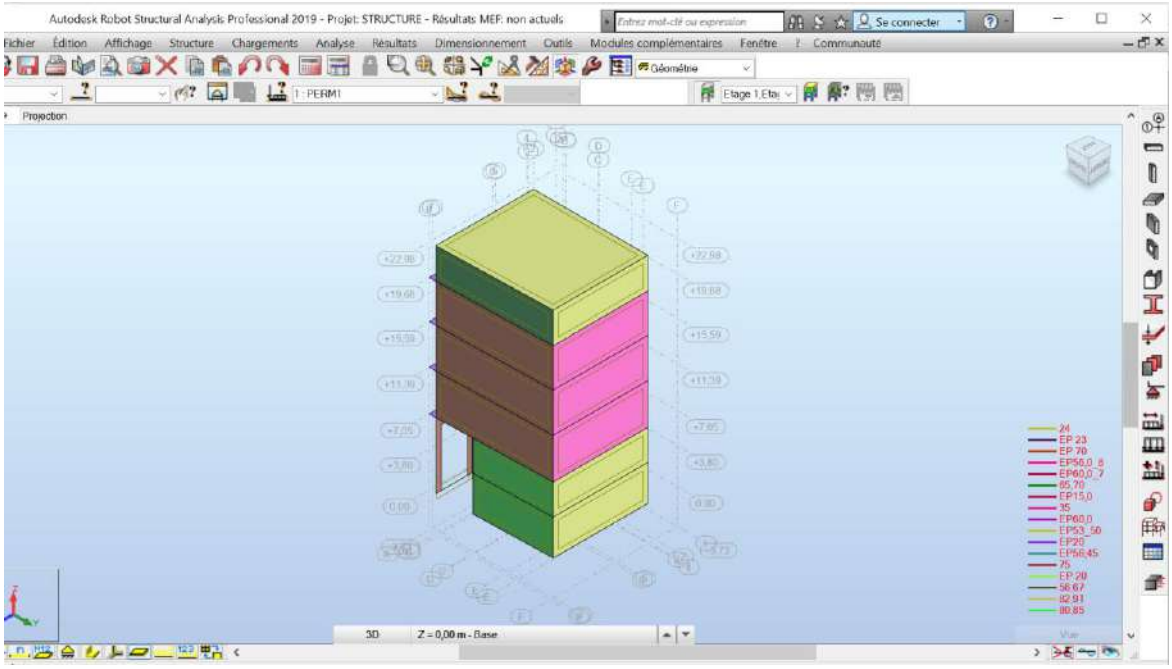


Figure 31 : Modélisation des dalles (L'autrice 2020)

3. Modélisation des murs porteurs intérieurs :

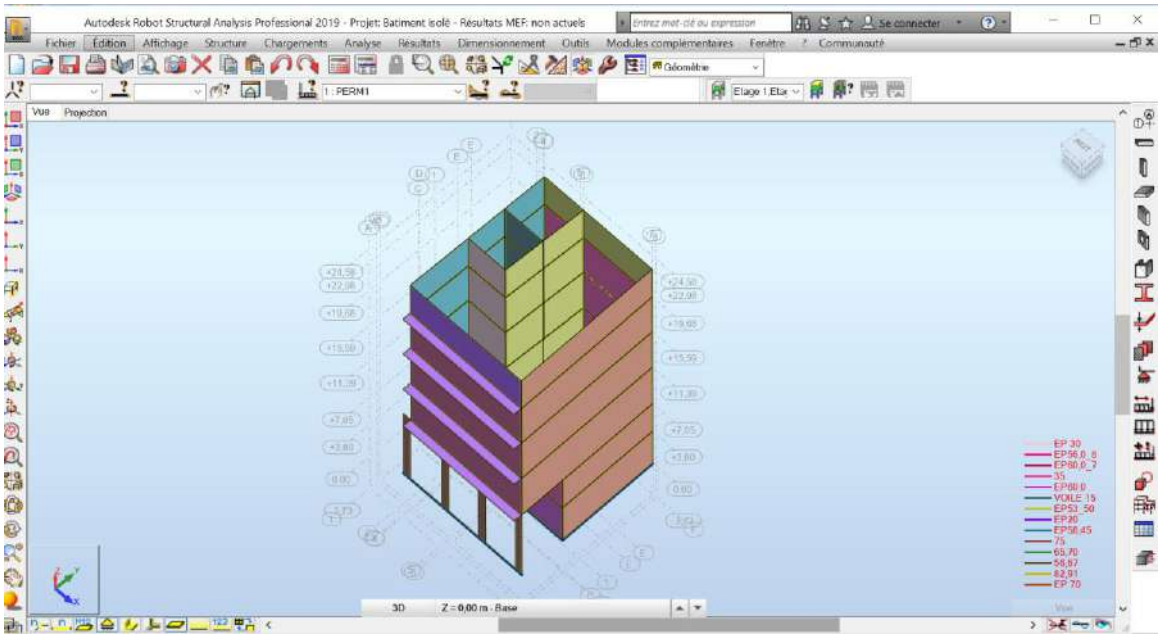


Figure 32 : Modélisation des murs porteurs intérieurs (L'autrice 2020)

4. Modélisation des ouvertures :

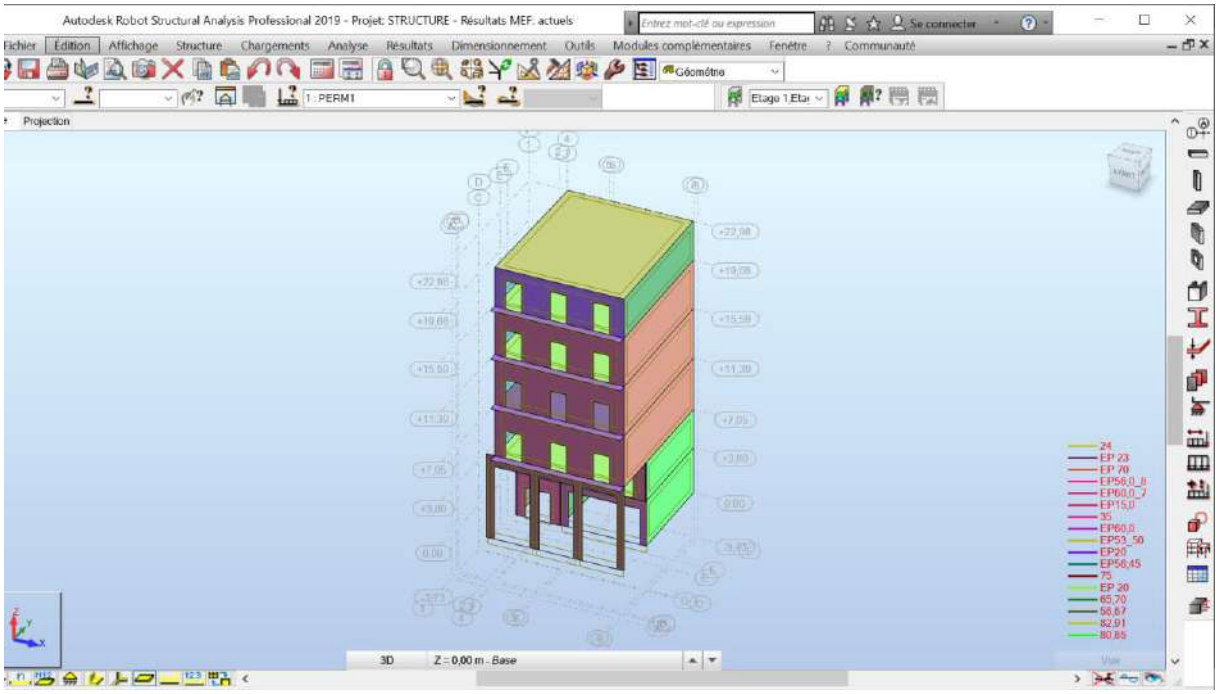
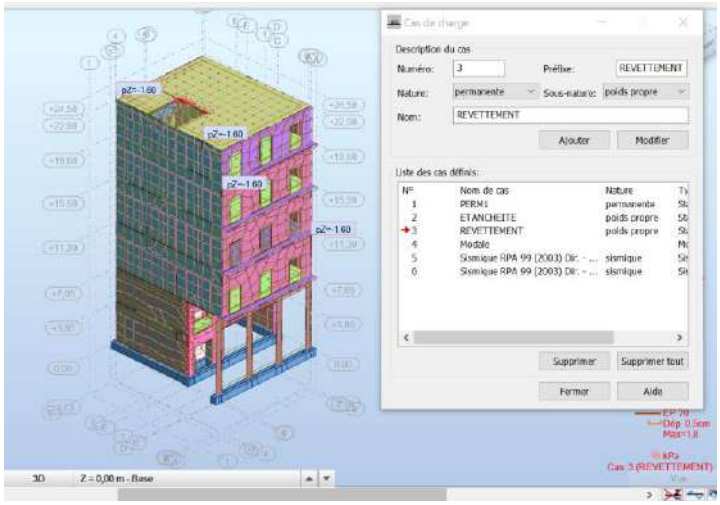


Figure 33 : Modélisation des ouvertures (L'autrice 2020)

5. Modélisation des appuis :

Figure 34 : Modélisation des appuis (L'autrice 2020)

6. Introduction des charges permanentes
7. Introduction des charges d'exploitation
8. Introduction des charges sismiques : dans les deux directions X et Y



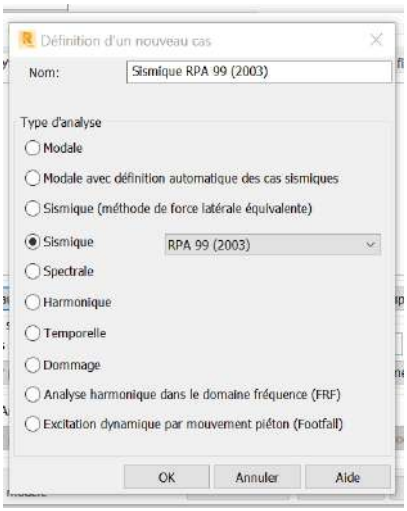


Figure 35 et 36 : Introduction des charges (L'autrice 2020)

Le résultat obtenu après la réalisation du maillage est illustré ci-dessous :

Figure 37 : Création du maillage (L'autrice 2020)

II.2.Les difficultés et les problèmes rencontrés lors de la modélisation:

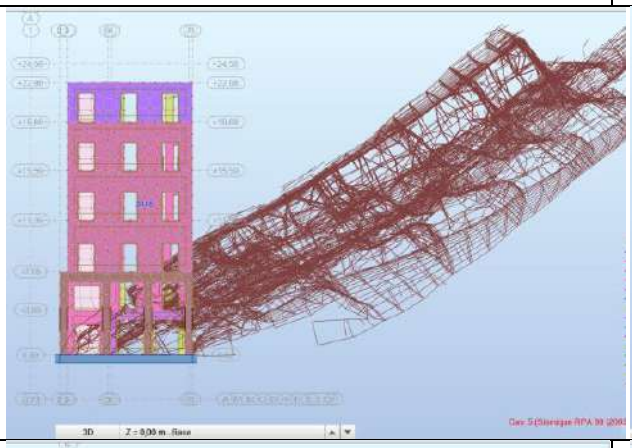
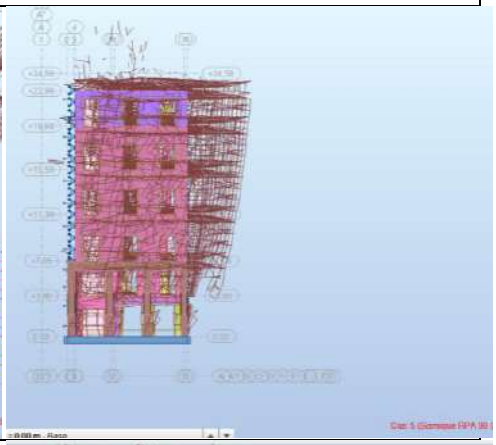
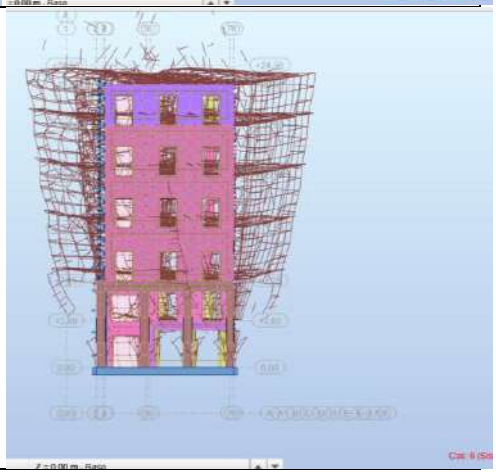
Durant la réalisation de cette étape, plusieurs difficultés ont été rencontré dont il est important de les signaler ; les murs ont une épaisseur différente le long de l'axe mais aussi leurs épaisseurs changent selon le niveau. Ainsi que les murs ne sont pas perpendiculaire et ils ne sont pas alignés selon un seul axe de composition de la trame structurelle.

Sans oublier que cette réalisation a été effectué en prenant en considération tout les décalages et la malfaçon de la structure du bâtiment avant réhabilitation, nous avons rencontré plusieurs zones ou il y'a eu : un décalage des 2 premiers niveaux de la façade principale par rapport aux murs des autres niveaux. Un décalage aussi a été détecté entre la dalle et les murs du premier étage.

II.3.Déplacements de l'immeuble :

Cette simulation nous a permet à la fin de ressortir les zones les plus endommagées avec une distance maximale de déformation selon un des axes : X et Y.

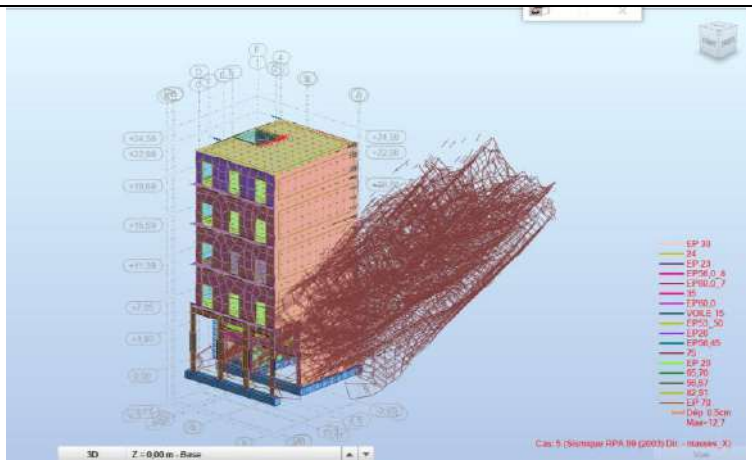
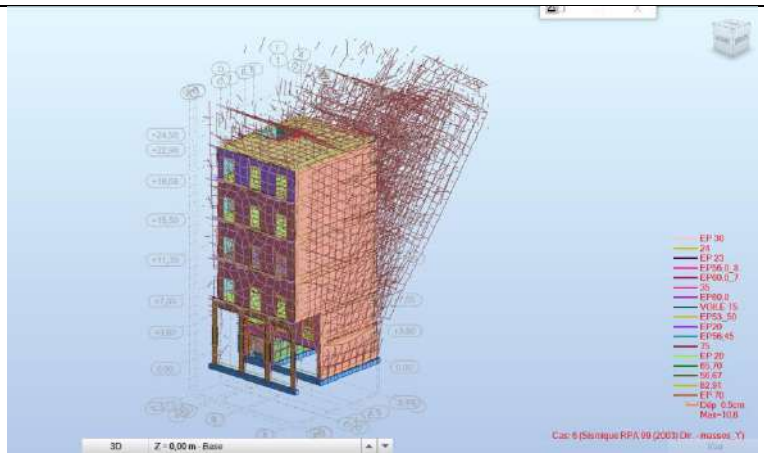
Notre démarche à travers cette étude c'est de faire une simulation du bâtiment seul ainsi une simulation du bâtiment en cas de mitoyenneté « le cas actuel », dans le but de ressortir la différence de la déformée aussi pour voir si la mitoyenneté peut participer dans la rigidité de la structure du bâtiment ; tout ce la en appliquant une force sismique dans les deux sens X et Y. Donc voici les résultats obtenues :

	Bâtiment Isolé	**Bâtiment Mitoyen**
Selon X		
Selon Y		

La déformée	Bâtiment Isolé	Bâtiment Mitoyen
Selon X	18,8	4,4
Selon Y	11,9	5,4

Vue qu'on ne connait pas le degré de rigidité des bâtiments mitoyens, on a appliqué des appuis rigides au niveaux des murs porteurs en mitoyenneté avec les autres bâtiments de l'ilot dont nous avons constaté un décroissement important dans la déplacement du bâtiment dans les deux sens X et Y, donc ces appuis rigides ont bloquer de manière remarquable la déformation de la structure.

Dans le troisième cas, nous avons supposé à la place des appuis rigides des appuis élastiques, voici les résultats de la déformation de la structure obtenus :

	Bâtiment avec des appuis élastiques
Selon X	
Selon Y	

Les déplacements de la structure selon X et Y :

Selon X : 12,7

Selon Y : 10 ,6

On remarque que : la déformation de la structure s'est diminuée selon X et Y par rapport au déplacement du bâtiment dans le cas de l'immeuble isolé par contre elle est plus grande que les déplacements dans le cas du bâtiment mitoyen.

Conclusion partielle :

- La déformation de la structure est très importante dans le cas du bâtiment isolé.
- Les appuis élastiques ont permet de diminuer l'effet des efforts sismiques sur la structure
- La déformation est moins importante dans le cas d'utilisation des appuis rigide « la mitoyenneté ».

De cela on peut dire que dans le cas d'utilisation des appuis élastiques nous sommes entre le blocage parfait de la structure « appuis rigides » et le libre « bâtiment isolé ».

La mitoyenneté joue un rôle très important dans la rigidité du bâtiment. Elle aide à renforcer le bâtiment tout en réduisant ses déplacements sous un effort sismique dans les deux directions en plan X et Y. Donc la mitoyenneté participe à la réduction de l'effort sismique.

II.4.Outils et méthode de renforcement du vieux bâti :

Solutions et opérations proposées par le BET:

Le bureau d'étude chargé de l'opération de réhabilitation a proposé tout une démarche pour effectuer l'opération qui se résume comme suit:

- Reprise de système de drainage des eaux pluviales et d'assainissement qui sont à la cause de dégradation des planchers qui ont subi une corrosion très profonde dégradant touchant même l'âme des solives.
- Décapage des faux plafonds.
- Réhabilitation du plancher par le remplacement des solives après avoir étier les murs porteurs afin de pouvoir réaliser les planchers.
- Reconstituer le plancher à l'identique « IPN+Voûtains »
- Remplacement des escaliers en béton par des escaliers avec une structure légère après avoir réhabiliter les planchers.

Après tout un processus d'analyse et de diagnostic relevé de manière théorique et pratique, l'objectif visé est d'arriver à proposer des solutions méthodiques afin de traiter l'état vulnérable de l'immeuble à réhabiliter.

En premier lieu, et avant d'entamer cette opération, il est indispensable de prendre en charge de traiter tout les pathologies qui sont à la base de la dégradation des éléments structuraux qui portent le bâtiment citant comme exemple :

L'opération de réhabilitation doit prendre en charge l'étanchéité du bâtiment, ainsi qu'elle doit traiter tout les problèmes d'infiltration d'eau, il faut aussi bien évacuer les eaux usées et les eaux pluviales.

Ensuite, il faut signaler que toutes opérations de consolidation, de renforcement et de réhabilitation doit prendre en charge l'utilisation du bâtiment qui peut évoluer au fil du temps, donc le chargement des planchers changera et doit s'adapter aux chargements dictées par la législation qui définit une charge d'exploitation que peut supporter le plancher pour un type d'usage, cette charge d'exploitation permet de définir si la capacité résistante de l'élément structurel concerné est suffisante ou on doit procédé aux solutions suivantes :

1. La réparation de l'élément endommagé.
2. Renfort de l'élément endommagé.
3. Le remplacement fonctionnel de l'élément endommagé par un autre élément sans retirer nécessairement l'élément à réhabiliter.

Interventions sur les murs et les piliers :

- **Remplacement physique de la partie endommagée :** remplacer le matériau détérioré, par le même matériau ou bien par un autre matériau dont la résistance est similaire.

- **Reprise de fissure :** dans ce cas il faut éliminer en premier lieu les causes principales de l'apparition des fissures, la reprise de fissure consiste à intercaler entre les lèvres de la fissure du mur des éléments plus résistants et plus rigides en guise de sutures, tels que des agrafes métalliques, des morceaux de brique, etc, de sorte que les tensions peuvent être de nouveau transmises et distribués de manière homogènes.

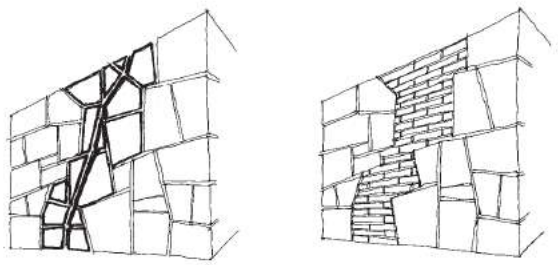


Figure 38: Reprise de fissure d'un mur (Casanovas. X, 2007)

- **Injections :** Il s'agit d'un autre système de réparation de fissures et de brèches passives, applicable à des murs en maçonnerie appareillée ou en brique, qui consiste à introduire un liquide sous pression pour colmater entièrement le vide entre les lèvres de la fissure.

- **Rejointoiement :** C'est une procédure de restitution de la résistance initiale applicable aux murs en pierre ou en brique qui consiste à rejointoyer au mortier les parties détériorées par l'érosion ou par les racines de plantes qui ont poussé entre les pierres.

- **Enduit de renfort à base de mortier ou de béton armé :**

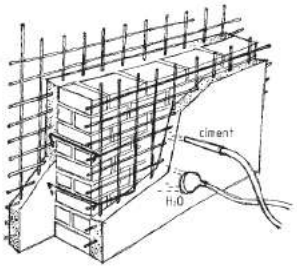


Figure 39: Application d'un enduit de renfort sur un mur (Casanovas. X, 2007)

- **Pose de tirants :** Cette méthode consiste à disposer des éléments linéaires qui vont exercer des tractions. Appelés tirants,

Figure 40: Pose de tirants dans le mur (Casanovas. X, 2007)

- **Contreforts :** Leur fonction équivaut à celle des tirants et il est pratiquement obligatoire de les appliquer lorsque le bâtiment ne dispose pas d'éléments suffisamment rigides, capables d'absorber les tensions ponctuelles créées aux points d'ancrage des tirants.

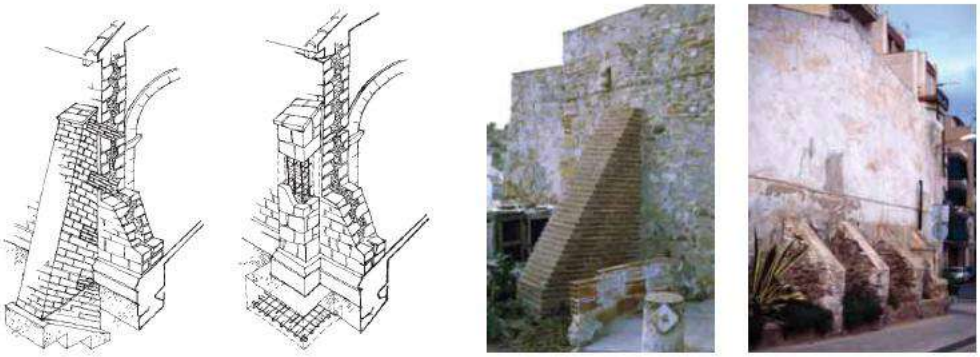


Figure 41: Contrefort des murs (Casanovas. X, 2007)

- **Chainage :** La disposition de ceintures ou de courroies sur le pourtour de murs structurants fermés, montés avec un appareillage en brique, d'un bâtiment ou sur ses piliers en pierre ou en brique, pour les rendre plus robustes et augmenter leur résistance, Le fer et l'acier sont les matériaux employés depuis longtemps pour fabriquer ces éléments. Plus récemment, les bandes en fibre de carbone remplissent la même fonction dans certaines situations. Néanmoins, il est nécessaire de considérer les effets du matériau qui adhérera à l'élément renforcé. (Casanovas. X, 2007)

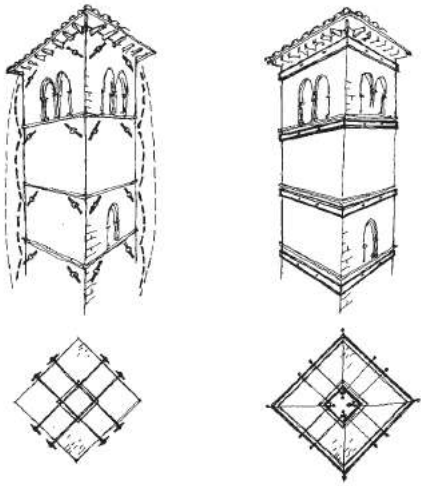


Figure 42 : Chainage des éléments verticaux (Casanovas. X, 2007)

- **Taxidermie avec des barres d'acier :** C'est un système de renfort intégral, applicable aux murs en pierre ou en brique, qui consiste à mettre en œuvre des armatures en acier à l'intérieur du mur, embouties dans des perforations atteignant parfois quelques mètres de longueur, de sorte à créer de véritables structures secondaires de barres à l'intérieur des murs, pour augmenter leur capacité de résistance globale ou créer des zones plus rigides, capables de distribuer de manière homogène les sollicitations descendantes. Le contact entre les barres d'acier et le matériau dont le mur est constitué se fera au moyen d'un produit adhérent, généralement à base époxydique. (Casanovas. X, 2007)

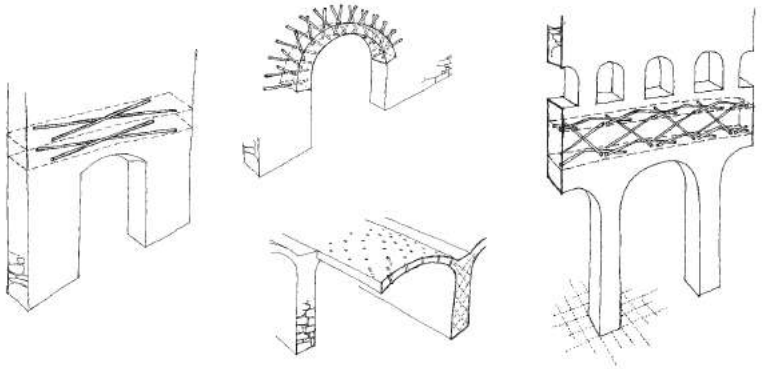


Figure 43: Taxidermie d'un mur (Casanovas. X, 2007)

<u>Interventions sur les planchers et les couvertures :</u>

1. Remplacement des appuis fonctionnels sur les poutres et poutrelles
2. Supplément de résistance sur les poutres et les poutrelles
3. Montants intermédiaires
4. Pose additionnelle de dalle en béton armé
5. Interventions spécifiques sur les ossatures
6. Interventions spécifiques sur les arcs, coupoles et voûtes

(Casanovas. X, 2007)

CONCLUSION GENERALE ET PISTES DE RECHERCHE :

CONCLUSION GENERALE ET PISTES DE RECHERCHE :

Le travail élaboré s'est intéressé à une étude d'un immeuble du tissu ancien qui est en cours de réhabilitation, l'opération de réhabilitation en elle-même est un sujet d'actualité vue que l'Algérie perd chaque période une partie de son histoire.

Le nord Algérien est une zone sismique ce qui rend ses bâtiments vulnérables, Pour cela nous avons réalisé un diagnostic sur l'état de dégradation d'un immeuble de la période coloniale sous l'aléa sismique et à travers une simulation numérique à l'aide du Robot Structural Analysis 2019, cette simulation nous a permis de faire une lecture sur le comportement du bâtiment ainsi que nous avons établi une comparaison entre le comportement du bâtiment isolé et le bâtiment en mitoyenneté et celui avec des appuis élastiques.

Notre recherche à la fin s'est focalisée aussi sur les différentes solutions de renforcement du vieux bâti à travers la récolte de différentes méthodes optées dans le cas de la réhabilitation des anciennes structures, ainsi que nous avons dirigé ce travail vers la connaissance des causes majeurs qui sont à la base de la vulnérabilité du patrimoine bâti.

Donc, ce mémoire permet d'avoir une feuille de route avant chaque opération de réhabilitation des anciennes immeubles de la ville d'Alger suivant la méthode RéhabiMed qui résume de manière objective les étapes à suivre , ensuite la simulation numérique du bâtiment permet d'avoir de manière rapproché à la réalité la manière la plus judicieuse à opter pour traiter les problèmes qui touchent les éléments structuraux ainsi qu'elle peut être une référence aux responsables de l'opération de réhabilitation mener en cours.

Cependant, nous jugeons qu'on n'a pas atteint tous nos objectifs fixés préalablement vue le temps fixé pour cette recherche, ainsi que la variété des pistes de recherche qui complètent notre thème à savoir :

- Vérification de conformité de l'opération de réhabilitation en cours en comparant aux méthodes internationales.
- Etablir une simulation numérique de la structure après la réalisation de l'opération de réhabilitation, afin de voir le comportement de la structure après l'intervention.

Bibliographie

Bibliographie

Abacha. I. (2015). Etude de la sismicité de la région Nord-Est de l'Algérie .

AFPS. (2003). Le séisme du 21 Mai 2003 en Algérie .

Ait Mahmouda. I. (2013). La conservation du patrimoine bati en Algérie cas de la réhabilitation d'immeubles urbains du bati ancien à Oran. *Magister* .

Badache. H. (2016). Conservation des édifices historiques en Algérie, analyse et diagnostic de la réhabilitation de la villa Abdellatif. *Master* .

Bouaoud. M. (2011). L'évaluation de la vulnérabilité et du risque sismique de la ville de Constantine. *Magister* .

Boughazi. Kh. (2012). Risque sismique et urbanisation regard croisé sur la ville d'Alger. *Magister* .

Bouguerba. A. (s.d.). Evolution de la règlementation parasismique Algérie-Maroc .

Casanovas. X. (2007). Méthode RéhabiMed Architecture traditionnelle Méditerranéenne, Barcelone.

Centre National de recherche génie parasismique. (s.d.). Règlementations parasismiques Algériennes RPA 99/ version 2003.

Chabane. S. (2017). Enduits et pathologies des façades de la période Ottomane, analyse et diagnostic de la restauration de la façade du Bastion 23. *Master* .

Cherait. Y. (2012). Conception des batiments en zone sismique. *Direction de la publication universitaire de Guelma* .

Djebri et al . (2017). Renforcement du vieux batis vis à vis des sollicitations sismiques. *Université Européenne* .

Garacia. J. (2007). Elaboration d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique des batiments .

Groupe de Travail AFPS présidé par Jean BATTIER. (mars 2002). PREMIERES RECOMMANDATIONS EN VUE DE L'EVALUATION DE LA PRESOMPTION DE VULNERABILITE DU BÂTI EXISTANT.

Harvé et al . (s.d.). Séisme et risques, approches sismotectoniques. *DUNOD* .

Kebaili et al . (2009). Analyse du séisme de Boumerdès Juin 2003 et règles parasismiques Algérienne .

Mahmoudi. A. (2018). Réduction de la vulnérabilité du vieux batis par l'analyse du comportement structurel face aux sollicitations sismiques à l'aide de l'outil informatique. *Master* .

Mezaher et al. (s.d.). Guide technique: renforcement parasismique des batiments, guide méthodologique pour le renforcement préventif du bati existant, évaluation de la résistance des

batiments, présentation des méthodes de renforcement parasismique. *CSTB le future en construction* .

Mhenni. Z. (2016). Diagnostic d'un batiment du tissu colonial à la rue Ahmed Chaib ex: rue Tanger en cours de réhabilitation et de renforcement. *Master* .

Zeghichi et al . (2005). Lecture dans le règlement parasismique Algérien . *Université Mohamed Khider, Biskra* .

Zidi et Tiziatia. (2017). Direction des dommages et analyse des renforcements de structures survenus lors de séismes récents, cas de la cité 1200 sise à Boumerdès. *Master* .

Résultats de l'évaluation de vulnérabilité du bâtiment cas d'étude

A Implantation du bâtiment	**1** Pente générale du terrain > 40 % 5				**2** Proximité d'un changement de pente D < 2H du bâtiment 15				Observations
B Environnement du bâtiment	**1** ● Bâtiments accolés : joint = 0 ou rempli d'un matériau **25**				**2** Joints entre blocs adjacents < 2 cm **25** / 2 à 4 cm **10** / > 4 cm **5**				
C Type de structure	**1** Murs en maçonnerie de blocs ● **15**	**2** Murs en béton non armé **10**	**3** Murs en béton armé **5**	**4** Ossature poteaux-poutres sans remplissage **20**	**5** Ossature poteaux-poutres avec remplissage **25**	**6** Système mixte murs en maçonnerie et ossature **20**	**7** Panneaux de façade BA préfabriqués porteurs **10**	**8** Ossature BA préfabriquée porteuse **50**	
D Forme en plan	**1** ● Irrégulière 5		**2** Elancement en plan L/l>4 5			**3** Parties saillantes ou rentrantes 5 ●			
E Forme en élévation	**1** Etages en encorbellement > 2 m **15**	**2** Retrait en façade >40 % **20**	**3** Planchers d'un même étage situés à des hauteurs différentes **10**		**4** Présence d'un plancher lourd ou d'une toiture lourde **10**		**5** Absence de diaphragme horizontal en toiture **20**		
F Contreventement	**1** Variation verticale croissante des rigidités **0 à 100** (voir formule 1)		**2** Dissymétrie : torsion **faible : 5** **accusée : 50**		**3** Absence de contreventement dans le sens des x ou y **100**		**4** Densité de voiles de contreventement sens x ou y **0 à 100** (voir formule 2)		
G Zones ou éléments critiques	**1** Descente de charge en baïonnette 25	**2** Présence de poteaux courts ou partiellement bridés participant au contreventement **50**		**3** Présence de poteaux élancés **10**		**4** Percements inserts dans les poteaux e>d/3 **25**	**5** Percements inserts dans les poutres e>d/3 **10**	**6** Percements inserts dans les nœuds e>d/3 **50**	
	7 Présence d'un angle de façade affaibli **15**		**8** Axes poteaux et poutres non concourants e>c/2 **10**		**9** Diaphragmes horizontaux avec grandes ouvertures s>10 %S **10**		**10** Absence de chaînages encadrant les murs de contreventement en MAC **verticaux : 25** **horizontaux : 75**		
H Divers	**1** Etat de conservation du gros œuvre **médiocre : 10** **mauvais : 25**		**2** Risque de chute d'éléments non structuraux **5** ●			**3** Façade BA préfabriquée non porteuse **10**			
Total des pénalités	**K=55**								

Formule 1 K = 50 (μ1/3 -1) avec μ = Σ I supérieur / Σ I inférieur

Formule 2 K = 25 (1000 λ -5) 2 / 4 avec λ = Σ I / S H

Avec : Σ I = somme des inerties des segments de voile dans la direction de calcul (m4),

S = surface du plancher courant (m2) et H = hauteur totale du bâtiment (m)

(Groupe de Travail AFPS présidé par Jean BATTIER, mars 2002)