

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme

epau

Laboratoire Architecture et Environnement



Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN ARCHITECTURE

Option: Architecture et Environnement

Thème

***Conservation des Edifices historiques en Algérie.
Analyse et diagnostic de la réhabilitation de la villa Dar-Abdellatif.***

Présenté et soutenu par

BADACHE Hossem

Mémoire dirigé par :

Dr. ATTARI Nassereddine / EPAU

Jury :

Présidente de jury : Dr. Lebdiri M. Enseignante EPAU

Examineur : Dr. Boussora K. Enseignante EPAU

Examineur : Dr. Bouzid F. Enseignant EPAU

Octobre 2016

Remerciements et dédicaces :

Merci au bon Dieu.

Merci à ma mère, mon père, mes frères, ma future femme et à toute ma famille.

Merci à mon encadreur Mr Attari Nassereddine.

Merci aux membres du jury.

Merci à mes amis (es) et tous ceux qui m'ont aidé de proche ou de loin.

Merci à toutes et à tous.

Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont chers.

Résumé :

L'architecture réside l'un des témoignages vifs de la civilisation, ce capital témoigne d'une histoire et d'un savoir-faire riche qui marque le vécu et la présence de l'autorité humaine sur un territoire donné. En Algérie, ce patrimoine architectural bâti, notamment celui de la période ottomane, est aujourd'hui menacé de démolition, il présente ainsi des signes inquiétants de dégradation et de vieillissement qui posent de grands problèmes de réhabilitation pour son sauvegarde et sa préservation.

L'Algérie, et depuis quelques années s'est engagé avec enthousiasme dans la préservation de ce patrimoine. Ainsi de nombreux exemples ont retrouvé leurs qualités plus au moins initiales grâce aux travaux de réhabilitation qu'on leur a affecté, notamment les palais et villas de la capitale à l'image du Bastion 23, dar Aziza, la Villa Mahieddine, et aussi la Villa Abdellatif qui vient de s'achever grâce à la virtuosité de jeunes architectes pétris de leurs culture traditionnelle.

Malheureusement, et dans pas mal d'exemple, ces efforts n'ont pas été mise avec normes et règles internationales, soit par manque de connaissance suffisante par rapport aux modes et techniques d'intervention ou bien par engagement d'un personnel qui n'est pas qualifié dans le domaine.

De ce fait, et dans l'objectif de capitaliser un savoir dans ce domaine de la restauration des édifices historiques. Il s'est apparu qu'il est nécessaire d'évaluer et de faire une analyse objective de ces interventions déjà effectuées (sinon d'un de ces exemples) et de vérifier la pertinence des travaux effectué, pour proposer, le cas échéant, d'autres solutions les plus appropriées et qui s'adaptent le mieux avec cette architecture afin d'assurer la maintenance et la résistance de ces témoignages faces aux différents aléas extérieurs et d'assurer la transmission de cette histoire aux générations futures.

Pour ce faire, et dans le but de mieux investir dans cette thématique, plusieurs approches sont disponibles à savoir l'approche théorique ou exploratoire, et l'approche pratique ou empirique que nous aurons à utiliser afin de mener à bien ce travail de recherche.

Mots clés : bâti ancien, analyse, évaluation, méthodes, techniques, réhabilitation, préservation.

Abstract:

Architecture is one of the lively testimonies of civilization, this capital that testifies the rich history that marks the experience and presence of human authority over a given territory. Today in Algeria, this architectural heritage, particularly that of the Ottoman period, is threatened with demolition, it presents worrying signs of degradation and aging which pose major problems of rehabilitation for its preservation. Algeria, for some years has been enthusiastically engaged in preservation of this heritage. Thus many examples have recovered more or less initial qualities thanks to the rehabilitation works that have been assigned to them, the palaces and villas of the capital such theirs Bastion 23, dar Aziza, Villa Mahieddine, and also the Villa Abdellatif, which has just been completed thanks to the virtuosity of young architects who have mastered their traditional culture. Unfortunately, and in many instances, these efforts have not been made with international norms and standards, either because of insufficient knowledge of the methods and techniques of intervention or the commitment of personnel who, re not qualified in the field. Therefore with the objective of capitalizing knowledge in this field of the restoration of historic buildings. It has become apparent that it is necessary to evaluate and make an objective analysis of these interventions already carried out and to verify the relevance of the work carried out in order to propose, Other solutions are most appropriate and best adapted to this architecture in order to ensure the maintenance and resistance of these testimonies against the various external hazards and to ensure the transmission of this history to future generations. To do this for better in order to invest in this theme, several approaches are available, namely the theoretical or exploratory approach and the practical or empirical approach that we will have to use in order to carry out this research work.

Keywords: old buildings, analysis, evaluation, methods, techniques, rehabilitation, preservation.

ملخص

الهندسة المعمارية دليل حي للحضارة، هذه الاخيرة تعبر عن تاريخ وتجربة غنية تعكس حياة الانسان ووجوده في اقليم معين.

في الجزائر، هذا التراث المعماري المبني أصبح مهددا بالهدم والضياع، خاصة ذلك الذي يرجع للفترة العثمانية، تعتبر مثل هذه الحالة من التدهور من العلامات المثيرة للقلق التي تتطلب جهود كبيرة لإعادة تهيئته بهدف حمايته والحفاظ عليه.

خلال السنوات الاخيرة اهتمت الجزائر بحماس في المحافظة على هذا التراث في اقليمها، لذلك قامت بأحيائها واعادة تهيئتها، لكن مع الاسف، في بعض هذه الامثلة، تلك المجهودات لم تكن موافقة للقواعد والمعايير الدولية، اما لنقص المعرفة الكافية او لنقص العاملين المؤهلين في هذا المجال وبالتالي تبين لنا انه يجب تقييم هذه التدخلات والتحقق من اهمية الاعمال المقامة لكي يتحقق الاستقرار ومقاومة هذا التراث في مواجهة المخاطر الخارجية وتحقيق انتقال هذا التاريخ الى الاجيال القادمة.

من أجل الاستفادة في هذا المجال أصبح من الضروري تقييم وإجراء تحاليل موضوعية للتدابير التي نفذت بالفعل والتحقق من الاعمال المنجزة، واقتراح أنسب الحلول التي تناسب هذه البنايات لضمان المقاومة من مختلف هذه الصدمات الخارجية وضمان انتقال هذا التاريخ للأجيال القادمة.

للقيام بذلك، ومن أجل استثمار أفضل في هذا الموضوع، تتوفر عدة طرق مثل المنهج أو النظرية الاستكشافية، والمنهج العملي أو التجريبي.

الكلمات المفتاحية: المباني القديمة، التحليل، تقييم، طرق، تقنيات، اعادة تأهيل، حفظ.

Sommaire :

| | |
|--|------------|
| Remerciements et dédicaces..... | I |
| Résumé..... | II |
| Abstract..... | III |
| المخلص..... | IV |

| | |
|---|------------|
| Chapitre introductif : (intention de recherche)..... | 1-5 |
|---|------------|

Première partie : données théorique de la recherche.

Chapitre 01 : approche conceptuelle de la recherche.

| | |
|--|-----------|
| Introduction..... | 6 |
| 1. Notions et concepts de base à propos l'intervention sur le bâti ancien..... | 6 |
| 1.1. Le patrimoine..... | 6 |
| 1.2. Le risque..... | 7 |
| 1.3. La vulnérabilité..... | 7 |
| 1.4. Le risque sismique..... | 7 |
| 1.5. La réhabilitation..... | 8 |
| 1.6. La Restauration..... | 8 |
| 2. Règlement et texte législatif de la conservation du patrimoine bâti..... | 9 |
| Conclusion..... | 10 |

Chapitre 02 : la réhabilitation en tant que processus et mode d'intervention sur le bâti ancien.

| | |
|---|-----------|
| Introduction..... | 11 |
| 1. Présentation du thème de la recherche, la réhabilitation (restauration)..... | 11 |
| 2. Objectifs d'une opération de réhabilitation..... | 12 |
| 3. Principes généraux et étapes d'une opération de réhabilitation..... | 12 |
| 3.1. Les degrés d'une opération de réhabilitation..... | 12 |
| 3.2. Les étapes d'un processus de réhabilitation..... | 13 |

| | |
|---|----|
| 4. méthodes d'évaluation sismiques..... | 15 |
| 4.1. évaluation de la présomption de vulnérabilité..... | 15 |
| 4.2. évaluation de la vulnérabilité..... | 17 |
| 4.2.1. méthode AFPS..... | 17 |
| 4.2.2. méthode FEMA..... | 19 |
| 5. Présentation des techniques de réhabilitation (méthode RehabiMed)..... | 20 |
| 5.1. Cadre d'apparition..... | 20 |
| 5.2. Présentation de la méthode..... | 21 |
| 5.3. Pourquoi RehabiMed..... | 21 |
| 5.4. Les étapes à suivre..... | 22 |

Chapitre 03 : structures du patrimoine architectural.

| | |
|--|-----------|
| 1. Présentation et identification des structures et typologies structurelles de la période ottomane..... | 36 |
| 1.1. Structure verticale..... | 36 |
| 1.1.1. Les murs porteurs..... | 36 |
| 1.1.2. Le support arcatures..... | 37 |
| 1.2. Structure horizontale..... | 38 |
| 1.2.1. Les fondations. | 38 |
| 1.2.2. Les franchissements horizontaux. | 39 |
| 1.2.2.1. Les planchers..... | 40 |
| 1.2.2.2. Les voûtes. | 40 |
| 1.2.2.3. Les coupoles. | 41 |
| 1.2.3. Les couvertures..... | 42 |
| 1.2.3.1. Charpente traditionnelle à structure en bois..... | 42 |
| 1.2.3.2. Platelages et tuiles. | 43 |
| 1.2.3.3. Couverture plancher terrasse à structure en bois. | 43 |
| 1.2.4. Les revêtements. | 44 |
| 1.2.4.1. Les revêtements de finition (les enduits) | 44 |
| 1.2.4.2. Les revêtements aux sols. | 45 |
| Conclusion. | 46 |
| 2. Pathologies des éléments de l'architecture traditionnelle. | 47 |
| 2.1. Désordre liés à l'eau. | 47 |
| 2.2. Fissures superficielles. | 48 |

| | |
|--|----|
| 2.2.1. Le faïençage. | 48 |
| 2.2.2. Fissure de surface localisée. | 48 |
| 2.3. Fissures structurelles. | 49 |
| 2.3.1. Désordres des fondations. | 49 |
| 2.3.2. Désordres des murs porteurs. | 50 |
| 2.3.3. Désordre des planchers. | 51 |
| 2.3.3.1. Planchers sur voutes. | 51 |
| 2.3.3.2. Déformations des arcs porteurs des planchers sur arcs. | 52 |
| 2.3.3.2.1. Relation descentes de charges/ formes des arcs..... | 52 |
| 2.3.3.2.2. déformations géométriques et fissures des planchers..... | 52 |
| 2.3.3.2.3. risques d'écroulement. | 52 |
| 2.4. Désordres des revêtements. | 53 |
| 2.4.1. désordres liés à l'usage. | 53 |
| 2.4.2. Désordres liées aux déformations des planchers. | 53 |
| 3. Renforcement et consolidation des structures en maçonnerie. | 53 |
| 3.1. Interventions sur les murs et les piliers. | 53 |
| 3.1.1. Remplacement physique de la partie endommagée. | 54 |
| 3.1.2. Reprise de fissures. | 54 |
| 3.1.3. Injections. | 55 |
| 3.1.4. Rejointoiements. | 55 |
| 3.1.5. Enduit de renfort à base de mortier ou de béton armé. | 55 |
| 3.1.6. Pose de tirants..... | 56 |
| 3.1.7. Contreforts. | 57 |
| 3.1.8. Chaînage. | 57 |
| 3.1.9. Taxidermies avec des barres d'acier. | 57 |
| 3.2. Interventions sur les planchers et les couvertures. | 58 |
| 3.2.1. Remplacement fonctionnel des appuis sur les poutres et poutrelles..... | 58 |
| 3.2.2. Suppléments de résistance pour les poutres et les poutrelles..... | 59 |
| 3.2.3. Montants intermédiaires..... | 59 |
| 3.2.4. Pose additionnelle de dalles en béton armé..... | 60 |
| 3.2.5. Interventions spécifiques sur les arcs, les voûtes et les coupoles..... | 60 |
| 3.3. Interventions dans les fondations. | 61 |

Deuxième partie : cas d'étude : monographie, analyse et interprétation.

Chapitre 01 : Vulnérabilité, aléa et risque sismique en Algérie.

| | |
|---|-----------|
| Introduction. | 63 |
| 1. Qu'est-ce qu'un séisme ? | 63 |
| 2. Caractéristiques d'un séisme. | 64 |
| 2.1. Son foyer (ou hypocentre) | 64 |
| 2.2. Son épicentre. | 64 |
| 2.3. Sa magnitude. | 64 |
| 2.4. Son intensité. | 64 |
| 2.5. La fréquence et la durée. | 64 |
| 2.6. La faille activée. | 64 |
| 3. Vulnérabilité et risque sismique des bâtiments. | 65 |
| 4. Effets d'un séisme sur un bâtiment : Comportement des constructions en maçonnerie...66 | |
| 5. Situation sismique en Algérie. | 68 |
| 5.1. Activité sismique en Algérie du nord. | 68 |
| 5.2. Caractéristiques de la sismicité en Algérie. | 69 |
| 5.3. Alea sismique. | 70 |
| Conclusion. | 70 |

Chapitre 02 : cas d'étude, analyse et diagnostic.

| | |
|--|----|
| 1. Choix du cas d'étude et du thème de recherche. | 71 |
| 2. Présentation historique de l'ouvrage. | 71 |
| 3. Situation et délimitation de l'ouvrage. | 73 |
| 4. Présentation formelle et fonctionnelle. | 74 |
| 5. Données géométriques de l'ouvrage. | 75 |
| 6. Description structurelle et des matériaux de construction de l'ouvrage.....76 | |
| 6.1. Fondations. | 76 |
| 6.2. Murs. | 76 |
| 6.3. Ouvertures. | 76 |
| 6.4. Enduits et revêtements. | 76 |
| 6.5. Plancher. | 77 |

| | |
|--|-----------|
| Master en Architecture | BADACHE.H |
| 6.6. Escalier. | 78 |
| 7. Qualification et catégorisation de l'édifice. | 78 |
| 7.1. La valeur historique. | 78 |
| 7.2. Le type d'usage. | 78 |
| 7.3. La catégorisation sismique. | 78 |
| 8. Réhabilitation de la villa. | 79 |
| 8.1. Travaux effectués. | 79 |
| 8.2. Critères. | 81 |
| 9. Vulnérabilité de l'édifice vis à vis le risque sismique. | 82 |
| Conclusion. | 82 |

Chapitre 03 : synthèse de l'analyse de la restauration.

| | |
|---|-----------|
| Introduction. | 83 |
| 1. Application de la méthode AFPS. | 83 |
| 2. Commentaire et récapitulatif des résultats obtenus. | 84 |
| 3. Quelle stratégie à adopter. | 85 |
| 4. Solutions proposées. | 86 |
| 4.1. Dissipateurs d'énergie. | 87 |
| 4.2. Exemple de dissipateurs d'énergie (system DC90). | 87 |
| 4.3. Quelques références de projets réhabilités avec la technique de dissipateurs d'énergie (DC 90). | 89 |
| 5. Impacts de l'application de la méthode sur l'ouvrage. | 91 |
| Conclusion. | 92 |

Conclusion générale et perspectives.93

Références bibliographiques.94

Table des figures.97

Annexe.102

Chapitre introductif :
Intention de recherche

Introduction générale :

Depuis toujours, en Algérie, l'art de construire trouvait une place éminente. Il se traduit par la variété des architectures tant au niveau de l'organisation de l'espace qu'au niveau de la richesse des formes construites, de l'emploi maîtrisé des matériaux, du matériel et des techniques de construction ancestrales. Cette architecture si riche, si diversifiée, est symbole de l'identité algérienne, elle est le fidèle reflet de la société qui l'a produite. Chaque monument, chaque construction, chaque bâtisse porte en elle autant d'histoire et de mémoire du pays. Hassan FATHY n'a-t-il pas constaté que « *tout peuple qui a produit une architecture a dégagé ses lignes préférées qui lui sont spécifiques que sa langue, son costume ou son folklore (...) on rencontrait sur toute la terre des formes et des détails architecturaux locaux, et les constructions de chaque région étaient le fruit merveilleux de l'heureuse alliance de l'imagination du peuple et des exigences de l'espace.* »⁽¹⁾

Ledit patrimoine est d'une portée universelle, il se caractérise aussi par une diversité impressionnante en ce qui concerne sa provenance historique ; de même son caractère morphologique. Un legs bâti vivant, il raconte l'histoire d'un nombre considérable de grandes civilisations (phénicienne, romaine, byzantine, arabe, turque, espagnole), qui se sont succédé sur la terre d'el-djazair.

De nos jours, personne ne peut nier qu'à une échelle mondiale, la valeur du patrimoine architectural et le devoir scientifique et juridique de sa conservation sont mieux perçus qu'auparavant. Malgré cela, l'environnement historique bâti de l'Algérie cherche son avenir, il est laissé à l'abandon, il est morcelé et fatigué, il se meurt peu à peu. Ces majestueuses constructions d'autrefois sont menacées par les intempéries et tombent en ruine, et au risque de disparaître à jamais du paysage algérien et du patrimoine mondial.

Face à ses dégradations, on s'est rendu compte que, chaque mur qui tombe est une partie de notre mémoire qui disparaît, que le temps des recommandations, des colloques, des écrits et du verbiage est largement dépassé et qu'il faut agir et agir vite sur le terrain.

(1) P. BOURDIEU. IN post-face à Architecture gothique et pensée Scholastique de E. PANOFKY. Paris : Ed. Minuit.p.137.

Ainsi, et notamment après les dommages qui ont frappé l'Algérie en 2003, la nécessité de préserver ces legs s'est imposée et des projets de réhabilitation et de restauration ont vu le jour et nous ont fait écarquiller les yeux de bonheur.

D'assurer la préservation d'un bâtiment n'est pas une tâche facile, c'est une responsabilité lourde et surtout quand il s'agit d'un bien culturel d'une valeur patrimoniale assez particulière. Cela nécessite en plus d'un cadre juridique en adéquation avec la réalité du terrain, d'une expertise appropriée et des connaissances approfondies du bâti en question du point de vue organisationnel, spatial et structurel, des moyens et techniques en adéquation avec les techniques du passé, et cela par des outils méthodologiques (guides techniques) qui assurent la sauvegarde au fil du temps de ses particularités d'origines.

Le présent travail se veut une modeste contribution dans le domaine de la recherche lié à l'art de bâtir traditionnel et l'identification des techniques de sa consolidation, son renforcement et de sa remise à neuf. C'est un investissement dans le patrimoine architectural algérien de la période ottomane ayant bénéficié d'un intérêt particulier : d'avoir eu cette chance d'être restauré ou réhabilité, et dont un des témoignages les plus fabuleux est la médina d'Alger.

Il est vrai que le nombre des constructions qui ont été objet d'un projet de réhabilitation ou de restauration reste un peu timide par rapport à tous l'héritage patrimonial bâti qu'a amassés l'Algérie. Mais de nombreux immeubles ont retrouvé leurs qualités plus au moins initiales grâce aux travaux de réhabilitation qu'on leurs a affecté, notamment les palais et villas de la capitale à l'image du Bastion 23, dar Aziza, la Villa Mahieddine, ainsi « *la restauration de la Villa Abdellatif qui vient de s'achever grâce au talent et à la virtuosité de jeunes architectes pétris de leurs culture traditionnelle.* »⁽¹⁾

La problématique :

Le présent travail de recherche s'articule autour d'un axe principal : les techniques de réduction de la fragilité du bâti baptisé ancien. Un travail qui ne pourra aucunement voir son aboutissement si ce n'est pas par une connaissance approfondie de cette architecture, ses malaises face aux risques et aléas naturels, et les perspectives de développement envisageables du bâti en question.

(1) Rachid BOUDJEDRA, AlgérieNews, jeudi 29 mai 2008, n°41, ISSN 1112-7406.

Pour ce faire, et dans le cadre de ce travail de recherche, nous allons décortiquer pas à pas et au fur et à mesure les techniques d'interventions sur ce type de construction, à travers une étude monographique sur le thème de la recherche, et par la suite par une analyse et un diagnostic d'un exemple (objet d'étude), qui est une des villas les plus prestigieuses d'Alger : c'est la villa Abdellatif.

Le thème qu'on désire explorer trouve son origine dans la pratique architecturale, il ouvre un champ de problématiques très vaste, qui sont en relation directe avec le domaine professionnel.

En fait, la problématique que nous voulons explorer par ce travail de recherche est la suivante :

Quels sont les techniques de réhabilitation les plus adaptables à ce genre de structure en zone sismique, et comment peut-on améliorer le comportement et la durabilité de ces bâtiments historiques toute en restant dans une perspective de politique de préservation du patrimoine ?

Hypothèses :

Il est à vérifier par cette recherche, les hypothèses liées au thème et à l'objet de la recherche et qui dérivent de la problématique évoquée supra ; de fait, ces hypothèses sont les suivantes :

- Les techniques de restauration de la villa Abdellatif ne sont pas adéquates avec ce type de structure.
- Le choix des techniques de restauration appliquées au niveau de la villa s'adapte parfaitement avec ce type de structure.
- Les techniques sont bonnes, or les travaux d'exécution ne le sont pas, chose qui a fait que l'opération de restauration n'atteint pas les objectifs fixés au préalable.

Objectifs de la recherche :

Notre recherche est supportée par la situation actuelle en Algérie, en rapport avec la sauvegarde du patrimoine bâti. Sur terrain et même dans le domaine de la recherche scientifique, il y a un besoin immense pour les techniques, procédés et moyens de restauration, pour ainsi dire que on est y toujours passé de côté et qu'on est toujours resté dans ces aspects les plus narratifs et descriptifs. Ainsi et pour sortir du commun, nous voulons atteindre les objectifs suivants :

- Capitaliser un savoir dans le domaine de la restauration des édifices historiques en maçonnerie.
- Evaluer et faire une analyse objective de la restauration déjà effectuée de la villa Abdellatif et faire ressortir les pathologies qui lui touchent pour un choix ultérieur des techniques de réhabilitation les plus judicieuses.
- Définir la méthode d'intervention la plus appropriée qui respecte la valeur architecturale et patrimoniale en adéquation avec les matériaux qui constituent le bâti.
- Procurer par la suite des moyens de renforcement qui s'adapte le mieux avec ce type structure de manière à garantir sa conservation dans des meilleures conditions.

Méthode de recherche :

Pour mieux investir dans la problématique posée et arriver aux objectifs soulignés préalablement, on compte aborder ce sujet de recherche on s'appuyant sur deux approches complémentaires :

Une approche théorique ou exploratoire, passant en revue la littérature sur le thème à travers le traitement des documents, des données, des publications, thèses et mémoires et qui nous permettra d'acquérir des connaissances sur le thème en question. Cette partie portera sur la documentation disponible à l'EPAU, dont on pourra avoir accès facilement, et d'autre.

L'autre approche est d'ordre pratique ou empirique, c'est une investigation sur terrain à travers des diagnostics et visites orientées sur site, des entretiens (selon la disponibilité) avec les différents acteurs ayant contribué à la restauration de notre cas d'étude.

Structure du mémoire :

En ce qui concerne la structuration de ce mémoire, nous avons opté pour :

- Une introduction générale dont nous allons présenter la situation actuelle sur le sujet et l'intention de recherche.
- une première partie théorique comprenant trois chapitres, dont nous mettons l'accent sur les données théoriques en relation avec le thème et objet de la recherche d'une manière générale :

- *Chapitre 01* : dans ce chapitre nous présentons des définitions et des notions de base sur le thème général notamment sur les aléas sismiques, le renforcement des structures en maçonnerie et la réhabilitation du patrimoine bâti, de même une référence sur le cadre législatif du thème en question.
- *Chapitre 02* : développement et connaissances sur le thème de la recherche comme étant un processus et technique de consolidation du vieux bâti.
- *Chapitre 03* : il portera un approfondissement théorique sur les typologies structurelles de la période d'édification de l'objet d'étude (la période ottomane), mettant l'accent sur les structures en maçonnerie, sujet de notre recherche.

La deuxième partie est plutôt pratique, elle est consacrée à notre cas d'étude à travers lequel nous examinons nos hypothèses, cette tranche est constituée de trois chapitres :

- *Chapitre 01* : une présentation monographique de notre cas d'étude (la villa Abdellatif).
 - *Chapitre 02* : c'est dans cette partie du travail que nous allons parler sur l'analyse qu'on avait fait de la restauration de notre cas d'étude.
 - *Chapitre 03* : synthèse de l'analyse de la restauration.
- Enfin, une conclusion générale dont nous allons explorer les résultats obtenus et les recommandations à proposer sur le sujet.

Première partie :
données théoriques de la
recherche

Chapitre 01 :
*Approche conceptuelle de la
recherche*

Introduction :

Constituer une base de données, empiler un savoir et une meilleure connaissance du sujet en question, ne peut en aucun cas se soustraire à une maîtrise virtuose des concepts de base qui lui y affecté. Au vrai, un concept constitue l'idée de la chose auquel plusieurs termes peuvent être attachés.

Il s'agit dans ce chapitre de mieux cerner les concepts, les définitions et différentes notions qualifiant le thème traité, entre autre le patrimoine, la vulnérabilité et modes d'intervention sur le vieux bâti. De même, le cadre législatif de la préservation et de la conservation de ce patrimoine, que ce soit à l'échelle nationale qu'à une échelle internationale.

1. Notions et concepts de base à propos l'intervention sur le bâti ancien :

1.1. Le patrimoine :

On désigne par le mot patrimoine l'ensemble des biens hérités et qui constituent un témoin du vécu, des pratiques et du génie d'une communauté ou d'une société donnée.

Le patrimoine au sens large du terme et le culturel bien précisément est défini dans un article de la *Convention du patrimoine mondial*⁽¹⁾ comme suit :

« Aux fins de la présente Convention sont considérés comme " patrimoine culturel " :

- les monuments : œuvres architecturales, de sculpture ou de peinture monumentales, éléments ou structures de caractère archéologique, inscriptions, grottes et groupes d'éléments, qui ont une valeur universelle exceptionnelle du point de vue de l'histoire, de l'art ou de la science,

- les ensembles : groupes de constructions isolées ou réunies, qui, en raison de leur architecture, de leur unité, ou de leur intégration dans le paysage, ont une valeur universelle exceptionnelle du point de vue de l'histoire, de l'art ou de la science,

- les sites : œuvres de l'homme ou œuvres conjuguées de l'homme et de la nature, ainsi que les zones y compris les sites archéologiques qui ont une valeur universelle exceptionnelle du point de vue historique, esthétique, ethnologique ou anthropologique. »

(1) Orientations devant guider la mise en œuvre de la Convention du patrimoine mondial, organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture, comité intergouvernemental pour la protection du patrimoine mondial, culturel et naturel, WHC.05/2, 2 février 2005.

1.2. Le risque :

Il est défini dans le dictionnaire *Larousse* comme étant « *Danger, inconvéniént plus ou moins probable auquel on est exposé.* »

Dans le domaine de la construction, « *le risque est l'ampleur des pertes attendues (vulnérabilité) suite au déclenchement probable d'un phénomène dangereux (aléa).* »⁽¹⁾

Autrement défini, le risque est la probabilité de déclenchement d'une catastrophe due à un phénomène naturel (séisme, avalanche, inondation, etc.), qui constitue un danger grave pour l'homme et ses biens.

1.3. La vulnérabilité :

« *D'après l'étymologie, la vulnérabilité est le fait d'être sensible aux blessures, aux attaques ou d'éprouver des difficultés pour recouvrer une santé mise en péril.* »⁽²⁾

Dans son sens le plus général, la vulnérabilité exprime la capacité d'une personne ou d'un bien à résister face à un risque donné, dans le langage courant elle est donc utilisée pour désigner un état de fragilité, une propension à subir des dommages.

Dans le domaine de la construction, elle exprime le niveau de détérioration ou perte d'un objet architectural, soumis à un phénomène donné. Ce niveau est exprimé en un pourcentage allant de 0 (aucune perte) à 1 (destruction).

1.4. Le risque sismique :

" Un séisme ou tremblement de terre se traduit en surface par des vibrations du sol. Il provient de la fracturation des roches en profondeur ; celle-ci est due à l'accumulation d'une grande énergie qui se libère, créant des failles, au moment où le seuil de rupture mécanique des roches est atteint. Les dégâts observés en surface sont fonction de l'amplitude, la fréquence et la durée des vibrations. "⁽¹⁾

(1) plan d'action pour la gestion du risque en milieu urbain du grand tetouan

(2) Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales. Jean-Claude THOURET et Robert D'ERCOLE.

Ainsi, on appelle tremblement de terre ou séisme toute ou série de secousses plus ou moins violentes du sol. Il est provoqué par la libération d'une grande quantité d'énergie accumulée depuis des années dans une région donnée. Cette énergie libérée se propage sous forme d'ondes sismiques qui provoquent des vibrations à la surface de la terre.

Pour estimer l'ampleur de la sismicité dans une région donnée, l'évaluation de l'aléa sismique s'impose. L'aléa sismique correspond à la probabilité d'occurrence d'un événement sismique avec un niveau d'accélération donnée pour une période de retour.

1.5. La réhabilitation :

La réhabilitation désigne au sens large le fait de réaménager un local, un bâtiment ou un lieu. C'est un processus d'intervention sur le bâti ancien, pour améliorer les conditions de vie des habitants sans porter atteinte aux valeurs patrimoniales de l'édifice. Elle a principalement pour but de restaurer la structure de l'ouvrage lorsqu'elle est déficiente (cassures, fissures longitudinales, corrosion).

Elle consiste à rétablir, dans son état ou dans sa condition, un bâti détérioré afin qu'il puisse à nouveau remplir sa fonction tout en gardant l'aspect extérieur du bâtiment, en améliorant le confort intérieur et en économisant l'énergie. Elle consiste aussi en la transformation d'un bâtiment ancien avec un programme nouveau dépasse souvent une simple transformation de son image d'état initial. Ceci se justifie par le fait celui de répondre à des besoins et exigences nouvelles de l'époque.

1.6. La Restauration :

"Une opération de réfection sans modification de l'aménagement, de la forme, ou du style, corrigeant la détérioration physique."⁽¹⁾

C'est l'ensemble des dispositions et des actions portant essentiellement sur la remise en état et la requalification du cadre bâti physique, spatial et des composantes esthétiques et décoratives du bien architectural ; sans modifications majeures de leurs caractères urbanistiques et architecturaux qui leur est propre.

(1) Connaissance du bâti ancien, Réalisé en 2006/2007 par Matthieu Beth.

2. Règlement et texte législatif de la conservation du patrimoine bâti :

À travers le monde, les mouvements de l'industrialisation et de l'urbanisation massive ont subi de nombreuses critiques ; les conséquences étant, plusieurs pays se sont répandus à la prise de conscience des valeurs humaines qu'il fallait conserver, notamment les vestiges architecturaux, artistiques ou, tout simplement matériels que nous ont laissés nos prédécesseurs.

"En 1964, et dans le but de réglementer ou de provoquer les interventions de sauvegarde, des experts venus de nombreux pays ont signé, la charte internationale de Venise, énonçant les principes de base de la conservation. Puis ce fut à Amsterdam à Nairobi que l'on a continué l'œuvre entreprise, en ajoutant d'autres postulats, dans une volonté accrue non seulement de transmettre le patrimoine bâti, mais encore d'en élargir le concept. On voulait désormais assurer la conservation de tous les aspects du patrimoine."⁽¹⁾

Ce mouvement touche l'Algérie plus particulièrement à partir de la période postcoloniale. Les prémices d'une jurisprudence pour la préservation et le classement du patrimoine immobilier algérien remontent à l'an 1967, le premier dispositif juridique étant l'Ordonnance 67-281 du 20 décembre 1967 relative aux fouilles et à la Protection des Sites et Monuments Historiques et Naturels.

D'après le ministère de la culture (Le schéma directeur des zones archéologiques et historiques, février 2007), l'Algérie indépendante a connu quatre grandes phases historiques qui marquent l'agissement de l'état Algérien pour la conservation de son patrimoine archéologique et historique :

PHASE 1962 – 1967 (reconduction de la législation française) : les dispositions de la loi française en matière de Monuments et Sites historiques et naturels, de fouilles, de découpage territorial archéologique, y compris en matière de publicité, d'affichage et d'enseignes, ont été reconduites. « La loi n° 62.157 du 31 Décembre 1962 ».

PHASE 1967 -1998 (la première loi algérienne sur les monuments et sites) : la législation française est repensée sous la forme d'une loi algérienne : c'est L' « Ordonnance 67-281 du 20 décembre 1967 relative aux fouilles et à la protection des sites et monuments historiques et naturels ».

(1)CHARTRE DE CONSERVATION DU PATRIMOINE QUÉBÉCOIS, Déclaration de Deschambault
Élaborée par le Conseil des monuments et sites du Québec, comité francophone d'ICOMOS Canada, avril 1982

Cette ordonnance a été reprise dans tous les textes fondamentaux du pays comme une référence en matière de protection des Monuments et Sites, jusqu'en 1998.

PHASE 1998 - 2002 (la loi sur le patrimoine culturel de la nation) : c'est la promulgation de loi 98/04 relative à la protection du patrimoine culturel. Elle a opéré un véritable cadastrage du patrimoine culturel, allant au-delà des notions de sites et monuments, en intégrant la dimension vivante, le caractère habité, les savoirs faire traditionnels, les métiers, l'artisanat, et en introduisant une catégorie fondamentale de notre patrimoine culturel : le centre historique, c'est-à-dire les casbahs, médinas, ksour, zéribas, mechtas et autres villages traditionnels.

PHASE 2002 – 2007 (mise en œuvre de la loi portant protection du patrimoine culturel) : La loi 98-04 exprime la volonté politique d'un accès à un autre niveau de conscience du patrimoine culturel, celui de la construction, de la restauration et de la consolidation de l'identité nationale.

Conclusion :

à travers ce premier chapitre, nous avons amassé un coffre scientifique clé pour mener notre recherche dans la bonne direction, et cela à travers une terminologie claire et précise, et une connaissance de la législation en vigueur.

Chapitre 02 :

*La réhabilitation en tant que
processus et mode d'intervention
sur le bâti ancien.*

Introduction :

« Mieux vaut revaloriser que reconstruire, mieux vaut améliorer que refaire ». Depuis près de 80 ans, la réhabilitation se voulait être une action ou processus qui vise à protéger, à entretenir ou à stabiliser les matériaux existants, la forme et l'intégrité d'un lieu patrimonial, ou d'une de ses composantes, tout en en protégeant la valeur testimoniale.

1. Présentation du thème de la recherche, réhabilitation (restauration) :

La restauration, la réhabilitation, la reconversion et la mise en valeur sont des opérations qui touchent généralement aux constructions à importance historique et/ou architecturale et qui tendent à rendre à la construction ou à l'ensemble historique concerné son état d'origine tout en favorisant l'adéquation à son utilisation.

Dans l'article 09 du conseil international des monuments et des sites (ICOMOS) sur les chartes de la conservation et de la restauration on définit la restauration comme étant « *une opération qui doit garder un caractère exceptionnel. Elle a pour but de conserver et de révéler les valeurs esthétiques et historiques du monument et se fonde sur le respect de la substance ancienne et de documents authentiques. Elle s'arrête là où commence l'hypothèse, sur le plan des reconstitutions conjecturales, tout travail de complément reconnu indispensable pour raisons esthétiques ou techniques relève de la composition architecturale et portera la marque de notre temps. La restauration sera toujours précédée et accompagnée d'une étude archéologique et historique du monument.* »

Ces opérations sont de nature variées, elles dépendent de l'état de conservation dans lequel se trouve l'édifice. En ce qui concerne la réhabilitation par exemple, on passe de la réhabilitation légère (qui touche, généralement tout ce qui est décoratif et esthétique) jusqu'aux interventions de réhabilitation lourdes, qui atteignent les structures horizontales, verticales, les toitures et même les fondations.

2. Objectifs d'une opération de réhabilitation :

Les opérations d'intervention sur le bâti ancien passent par différentes phases et par des multitudes de travaux commençant par les travaux préliminaires qui visent tout d'abord la sensibilisation envers l'édifice, un travail basé essentiellement sur l'observation et l'analyse. Ceci permettra une meilleure identification et lecture de l'édifice dans ses moindres détails et aidera à en dégager les différents désordres, les diagnostiquer pour pouvoir intervenir par la suite et apporter les solutions les plus judicieuses aux différentes pathologies rencontrées.

Par conséquent, le premier but de toute opération d'intervention est de remédier les pathologies liées à la stabilité de l'édifice en sauvegardant sa structure, et ensuite s'orienter vers les travaux de finition et d'embellissement. En fait, toutes ces opérations visent l'amélioration générale et la mise en conformité avec les normes en vigueur de l'ouvrage concerné.

Dans les travaux de réhabilitation structurelle des bâtiments, il convient de spécifier clairement l'objectif technique visé par l'intervention proposée. Trois approches sont possibles :

- La restauration de la capacité portante initiale de l'élément à réhabiliter. Il s'agit, de fait, de ce que nous interprétons habituellement comme étant la réparation de l'élément endommagé.
- L'augmentation de la capacité portante de l'élément sur lequel nous intervenons, qui équivaut généralement au renfort de l'élément endommagé.
- Le remplacement fonctionnel de l'élément par un nouvel élément assumant entièrement la capacité portante requise, sans retirer nécessairement l'élément à réhabiliter.

3. Principes généraux et étapes d'une opération de réhabilitation :

3.1. Les degrés d'une opération de réhabilitation :

Une opération de réhabilitation et selon la gravité des dégâts observés, peut connaître quatre degrés d'intervention aussi importante l'une que l'autre. Ces niveaux sont classés selon le rapport Nora (N. Simon, E. Berrand, Paris 1995.) sur l'amélioration de l'habitat ancien comme suit :

La réhabilitation légère :

C'est une intervention qui touche aux habitations assez bien conservées en vue d'en améliorer ou de doter ces dernières de nouveaux équipements, comme l'installation d'équipements sanitaire y compris les canalisations d'électricité, la remise en état des peintures. Cette réhabilitation ne concerne que les interventions sur les parties privatives de l'habitation.

La réhabilitation moyenne :

Contrairement à la réhabilitation légère, celle-ci peut comprendre une intervention induisant de légers travaux sur les parties communes de l'habitation.

C'est une opération qui vise à doter les habitations dont la structure porteuse ne présente pas de défaillances particulières par de nouveaux équipements et/ou installations. Cette réhabilitation s'accompagne de travaux, comme la réfection des peintures et des systèmes électriques, l'installation de systèmes de climatisation et de chauffage, qui généralement n'induisent pas de grande réorganisation à l'intérieur du logement par la modification de cloisonnement.

La réhabilitation lourde :

C'est une opération qui, en plus des travaux cités précédemment, comprend une redistribution des logements par étage et/ou des pièces dans le logement ; l'intervention sur les parties communes de l'habitation est plus complète elle comporte en plus du ravalement des façades la réfection des toitures. Ce sont des travaux qui toucheront le gros œuvre induisant des reprises de maçonnerie, de charpente et parfois de plancher.

La réhabilitation exceptionnelle :

Elle est préconisée dans le cas où les désordres ou l'état de dégradation de la structure est si développé, menaçant ainsi la stabilité de l'ouvrage, alors, on rattrape les structures, voire les fondations avec renforcement éventuel.

C'est le cas notamment, d'immeubles dont les façades sont classées et nécessairement conservées avec restauration (nettoyage, réparation), alors que la structure intérieure (planchers, refends porteurs) est entièrement reconstruite

3.2. Les étapes d'un processus de réhabilitation :

Dans la pratique courante, et après une décision politique d'agir, le processus de réhabilitation se déroule en quatre phases successives :

La connaissance :

L'opération de réhabilitation ne peut se faire sans une connaissance du bâtiment, de son environnement et de ces occupants. Elle s'effectue en deux étapes à savoir :

- les préliminaires : à travers un pré-diagnostic donnant une première idée objective de l'objet de l'intervention (le bâtiment et ses usagers).
- L'étude pluridisciplinaire : découverte du bâtiment basée sur une enquête disciplinaire soignée ou seront analysés les domaines social, historique, architectural et constructif.

La réflexion du projet :

S'effectue en trois étapes après une connaissance du bâtiment et de ses usagers à savoir :

- Le diagnostic (synthèse) : individualisation des problèmes, leurs causes, basé sur la synthèse des informations recueillies afin d'évaluer les potentialités et le déficit du bâtiment.
- Réflexion et cadre de décision : confirmation des critères de l'intervention, pour la réalisation des travaux compatibles avec la réalité du bâtiment en tenant compte de ces valeurs patrimoniales.
- Le projet : rédaction du rapport sous forme de document de projet.

Les travaux :

Ils doivent être réalisée d'une manière beaucoup plus ajustée, en préservant les valeurs du bâtiment, en s'adaptant mieux aux nécessités du promoteur et à ce qui paraissait un contresens, avec un moindre coût économique, précisément parce que l'incertitude des travaux a été écartée.

La vie utile :

L'entretien par de petites opérations de nettoyage, de réparation, et une inspection périodique pour en détecter ses déficits, ses nouveaux besoins et qu'il ne recommence pas à se dégrader, après sa réhabilitation.

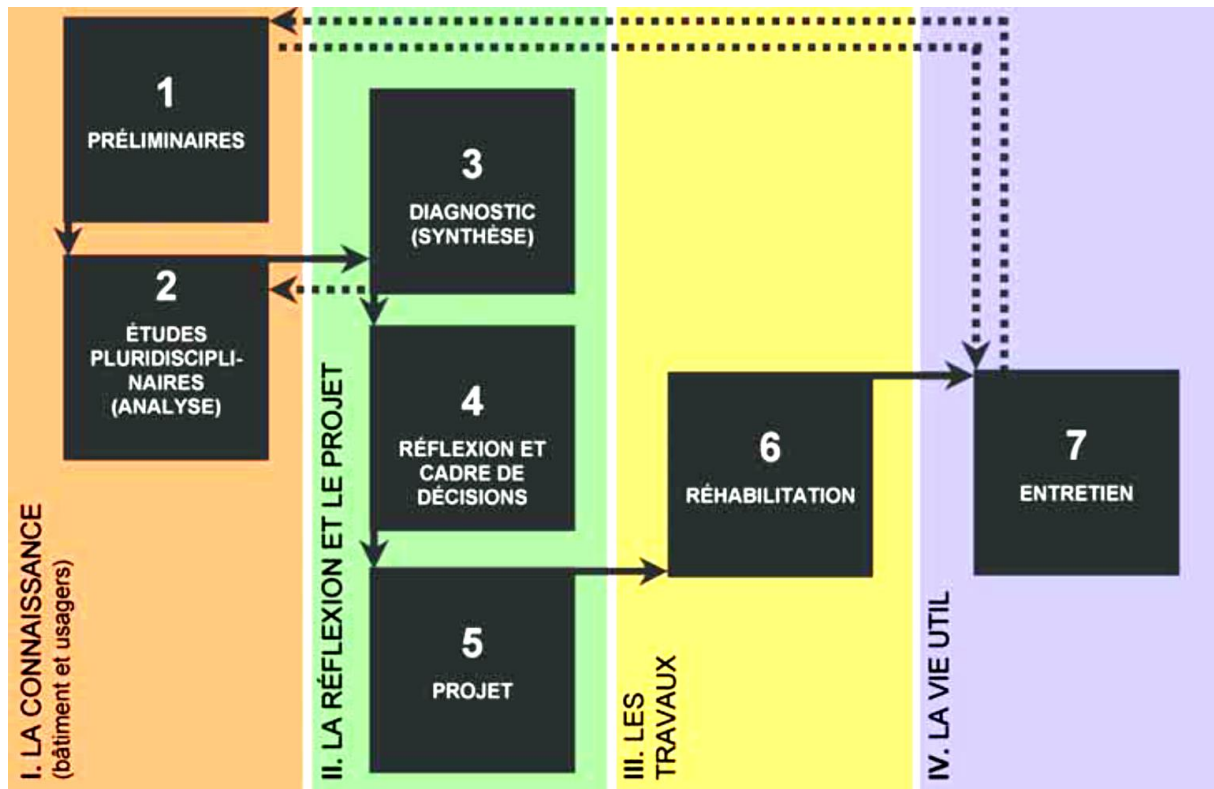


Figure 2.1 : Organigramme du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien
Source : CASANOVA Xavier (dir), Méthode RéhabiMed, 2007.

4. méthodes d'évaluation sismiques :

4.1. évaluation de la présomption de vulnérabilité :

La vulnérabilité aux séismes des constructions dépend de leurs architectures, structures, dispositifs constructifs, du site et de l'environnement bâti. En fait, une évaluation exacte de la vulnérabilité d'un ouvrage aux séismes est souvent longue, laborieuse et coûteuse, de ce fait il est préférable de faire une première étude qualitative dans le but de déterminer la nécessité de recourir à des approches plus approfondies. Cette démarche conduisant à l'évaluation d'une présomption de vulnérabilité c'est-à-dire à un pré-diagnostic.

Il s'agit ainsi d'étudier les documents disponibles, et la mesure des possibles une recherche de renseignements auprès des personnes ayant participé à la construction de l'ouvrage, un relevé des facteurs de vulnérabilité lors d'un examen visuel extérieur et intérieur sur site, et l'exploitation des grilles de relevé, portant sur : l'architecture (la configuration et le détail architectural), le système constructif, les dispositions constructives apparentes, l'état de conservation, l'interaction avec l'environnement construit, le site.

FICHE DE RELEVÉ

LOCALISATION :

CARACTERISTIQUES GENERALES

Propriétaire :

Occupant :

Nombre maximal d'occupants : Année de construction :

Destination (usage) : Surface au sol (m²) :

Nombre de niveaux : Hauteur en mètres :

Type de construction : Epaisseur des murs extérieurs :

Type de toiture : Présence d'un sous-sol : oui non

PLAN ET ELEVATIONS (croquis ou photos)

FACTEURS DE VULNERABILITE

1. Construction

1.1. Caractéristiques

Forme en plan symétrique selon deux axes - forme symétrique selon un axe - forme irrégulière - construction de grande longueur - asymétrie des parties rigides - niveau sur pilotis - niveaux en retrait - niveaux en saillie - poteaux "courts" - poteaux trop élancés - angle affaibli - absence de chaînages horizontaux et verticaux - absence d'encadrements de baies - ossature non contreventée - ossature à étage en bois avec poteaux non continus - liaisons précaires entre éléments constructifs - auvents importants - consoles non contreventées - avancée de toiture importante - toiture-terrasse plantée - acrotère haut lourd - balustrade en pierre ou béton - conduit de fumée élancé - bâtiment mitoyen sans joint vide d'au moins 4 cm - autres caractéristiques :

1.2. Etat de conservation : normal - très bon - mauvais

1.3. Evaluation sommaire de vulnérabilité :

en cas de séisme faible, dommages : modérés - importants - graves

en cas de séisme moyen, dommages : modérés - importants - graves

en cas de séisme fort, dommages : modérés - importants - graves

2. Nature du sol

Rocher sain - rocher altéré ou fracturé - graviers et sables secs et compacts - graviers et sables humides - argiles ou marnes dures - argiles et marnes molles - autres alluvions molles - sables lâches - remblais anciens - remblais récents - terrain inondable - autres sols :

3. Situation dans le site

Terrain plat - pente modérée uniforme - pente forte uniforme - proximité d'un changement de pente - bord de falaise - sommet - crête - proximité d'une limite entre roche et alluvions - plaine - vallée alluviale - plateau - proximité de murs de soutènement en amont - autres cas :

AUTRES RENSEIGNEMENTS

1. Etude approfondie nécessaire oui non

2. Observations :

3. Auteur du relevé (nom, organisme) :

4. Date du relevé :

Figure 2.2 : fiche de relevé d'une évaluation de présomption de vulnérabilité.

Source : BRGM & CETE.



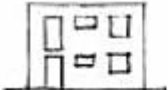
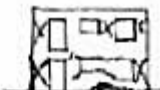
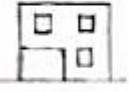



| FACTEURS DE VULNERABILITE | DOMMAGES TYPIQUES | SEISME FAIBLE | | | SEISME MOYEN | | | SEISME FORT | | |
|---|--|---------------|---------|--------|--------------|---------|--------|-------------|---------|--------|
| | | dommages | | | dommages | | | dommages | | |
| | | modérés | import. | graves | modérés | import. | graves | modérés | import. | graves |
| <p>• POUTRES ET/OU PÉLAIÉS</p>  |  | | ○ | | | ○ | | | ○ | |
| <p>2. PERCEMENTS ET OUVERTURES</p> <p>• ANCIENNES PORTES OU FENÊTRES (AIRE TOTALE > 50% DU PAVILLON PORTIFÈRE)</p>  |  | ○ | ○ | | ○ | ○ | | | ○ | |
| <p>• ANGLE AFFAIBLI</p>  |  | | ○ | ○ | | ○ | | | ○ | |
| <p>3. PORTIQUES AVEC MURS DE REMPLISSAGE</p>  |  | ○ | | | | ○ | | | ○ | |

Figure 2.3 : fiche de relevé d’une évaluation de présomption de vulnérabilité.
 Source : BRGM & CETE.

4.2. évaluation de la vulnérabilité :

4.2.1. méthode AFPS :

AFPS est une Association Française du Génie Parasismique qui s’intéresse à définir une méthode d’évaluation du Risque Sismique. Cette méthode est basée sur une évaluation qualitative de la vulnérabilité faite à l’aide d’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 et qui permet par la suite de définir le degré de présomption.

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

EVALUATION QUALITATIVE DE LA PRESOMPTION DE VULNERABILITE

Propriétaire du bâtiment :

Dénomination et adresse du bâtiment :

Année de construction :

Date du diagnostic :

Auteur du diagnostic :

| | | | | | | | | | |
|----------------------------------|---|--|--|---|---|---|---|--|--------------|
| 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 | | | | 2 Jointes 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 | | 2 Elancement en plan L/H > 4 5 | | | 3 Parties saillantes ou rentrantes 5 | | | |
| E Forme en élévation | 1 Étages 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 | | 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 MAAc 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 | | | | | | | | |

Figure 2.4 : fiche d'évaluation qualitative de la présomption de vulnérabilité.

Source : BRGM & CETE.

4.2.2. Méthode FEMA :

C'est une méthode proposée par la U.S. Fédéral Emergency Management Agency (FEMA), elle est également connue sous le nom ATC-21, est décrite dans les documents FEMA 154 et FEMA 155 révisés pour la dernière fois en 2002 (BSSC, 2002a ; BSSC, 2002b).

Cette méthode permet d'évaluer la vulnérabilité d'un édifice à l'aide d'une grille structurée d'étapes successives. Elle donne ainsi, le degré de dommage sur différentes échelles de vulnérabilité sismique pour une structure en maçonnerie ou en béton armé.

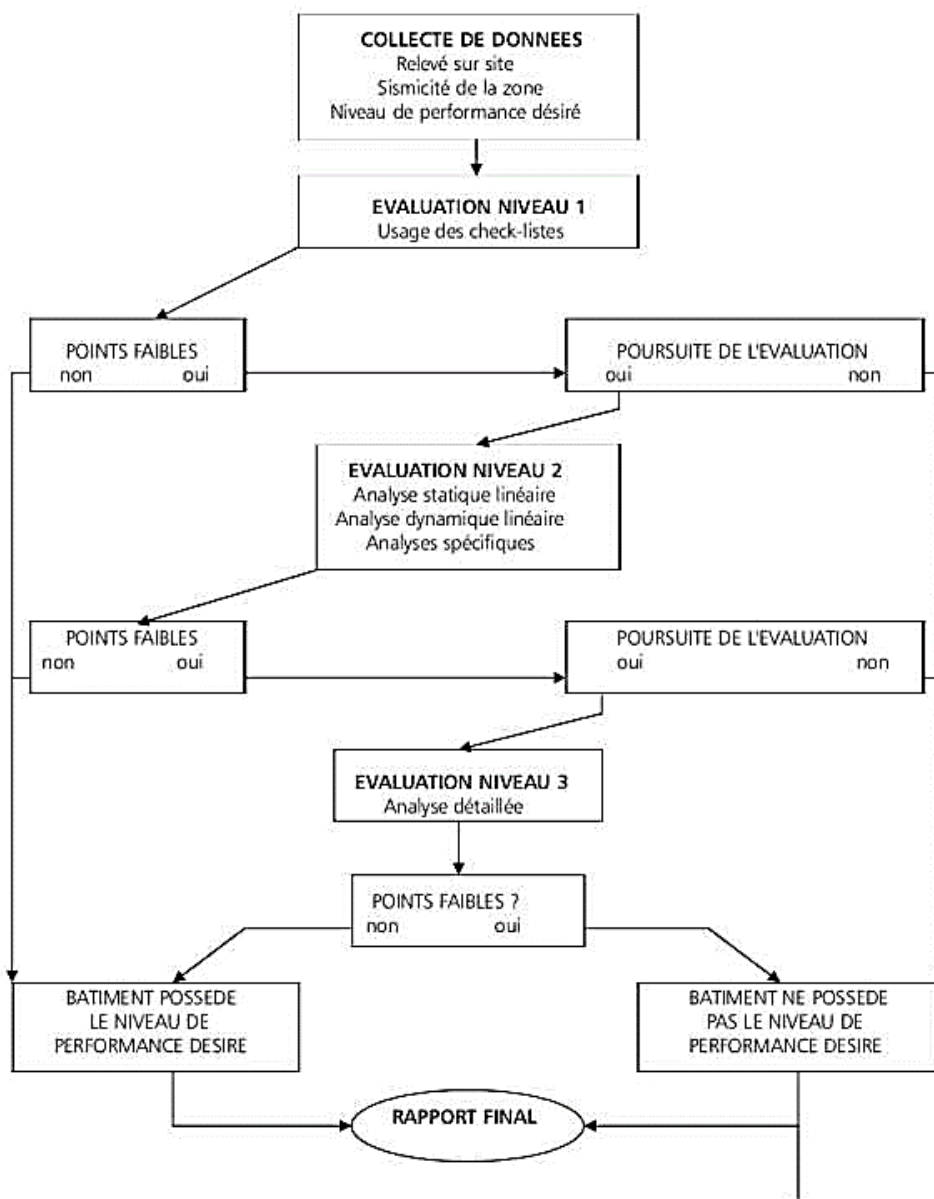


Figure 2.5 : grille d'évaluation de la vulnérabilité sismique, méthode FEMA.
Source : BRGM & CETE.










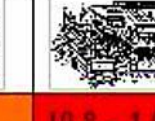
| Echelle EMS98 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------|---|---|---|--|---|
| Structure en maçonnerie |  |  |  |  |  |
| Structure en béton armé |  |  |  |  |  |
| Domage moyen | [0.0 – 0.2[| [0.2 – 0.4[| [0.4 – 0.6[| [0.6 – 0.8[| [0.8 – 1.0[|

Figure 2.6 : les dommages causés par les différentes échelles de vulnérabilité.
Source : cours ATTARIN, 2015

5. Présentation des méthodes de réhabilitation (méthode RehabiMed) :

5.1. Cadre d'apparition :

L'architecture traditionnelle méditerranéenne fait partie essentielle de l'héritage architectural et culturel de l'humanité toute entière, et du parage méditerranéen particulièrement, c'est un patrimoine vaste et divers, partagé par les différents pays méditerranéens, d'où la nécessité de partager des politiques et perspectives de la protection et de la mise en valeur de ce patrimoine en commun. C'est dans cette perspective et dans le cadre du développement mutuel entre ces pays, qui a surgit en 1998 le programme Euromed Heritage initié bien avant par La première Conférence euro-méditerranéenne des chefs d'État de 1995 et qui a été l'occasion du lancement du processus de Barcelone. Cette conférence est vu comme étant un acte audacieux prenant part des coopérations les plus courageuse, approuvée en 2005 au cours du sommet Barcelona+10 et qui avait pour objectif prioritaire la recherche de synergies sociopolitiques, économiques, culturelles et environnementales.

Divers travaux de catalogage et d'analyse des caractéristiques ainsi que des typologies de cette architecture méditerranéenne ont vu le jour, à l'instar des projets CORPUS et CORPUS Levant, il est question dans ces projets d'identifier les problèmes qu'elle présente cette architecture et de proposer les meilleures alternatives pour sa préservation.

RehabiMed, une méthode de réhabilitation qui participe de manière intense des actions développées par Euromed Heritage, elle vient en continuité à ces étapes d'étude analytique débutées par le programme Euromed Heritage afin de développer les idées essentielles surgies des nécessités et des urgences détectées par ces projets, c'est-à-dire afin de promouvoir une réhabilitation efficace et respectueuse.

Cette méthode se consacre au patrimoine le plus modeste, le plus abondant et plus présent territorialement, tel que l'architecture traditionnelle des centres historiques des villes et des villages ruraux, ou celle que l'on trouve de forme plus dispersée sur l'ensemble du territoire.

5.2. Présentation de la méthode :

De nos jours, la situation dramatique qui a connu l'environnement traditionnel du bassin méditerranéen ne cesse pas de s'aggraver, de plus en plus, face à cette intense dégradation et recul qui se traduit par une perte régulière de leur caractère social et culturel.

Un état d'alerte a été déclaré par les différentes institutions à l'image de l'UNESCO et ICOMOS, au sujet de la perte de ce patrimoine et la nécessité flagrante d'intervention, cela à travers les différentes chartes et à différentes reprises.

Le projet RehabiMed propose une série de mesures pour inciter à la réhabilitation de cette architecture à partir de la sensibilisation, l'éducation et la formation. C'est-à-dire en promouvant des programmes de formation et de spécialisation autour de la préservation de l'architecture traditionnelle, programmes destinés au monde technique ainsi qu'aux responsables politiques, qui devront déterminer les politiques de remise en valeur et de réhabilitation de ce patrimoine, et rechercher la complicité de la population, protagoniste actif et membre à part entière de ce legs commun.

Pour RehabiMed, le concept de réhabilitation recouvre un vaste spectre d'interventions ayant pour objectif la récupération et la mise à jour d'une fonction perdue ou endommagée, dans notre cas : habiter. Dans le cadre des préoccupations actuelles, réhabiliter implique l'amélioration du fait d'habiter en recherchant l'équilibre entre les aspects techniques, la préservation des valeurs patrimoniales et des critères d'équité sociale, d'efficacité économique et de préservation de l'environnement (les trois fondements de la durabilité).

5.3. Pourquoi RehabiMed :

- il s'agit d'un guide qui accorde un intérêt particulier aux phases préliminaires de diagnostic et de réflexion préalables au projet de réhabilitation lui-même, qui ambitionne dans la mesure du possible d'être « scientifique », « objectif », « précis » et qui prétend réduire l'habituelle absence de contrôle économique des travaux de réhabilitation.

- il est aussi un guide qui ne s'intéresse qu'à des interventions sur le construit qui sont réalisées avec une bonne connaissance du bâtiment et de ses circonstances, on se méfiant ainsi de la pratique du « ça s'est toujours fait comme ça » et des excès provoqués par la foi aveugle dans les nouvelles technologies appliquées sans le moindre discernement.
- il part du principe de base que « si l'on ne connaît pas, on ne peut pas réfléchir » et que, par conséquent, on ne peut pas réhabiliter. Ainsi, il propose quatre moments du processus (la connaissance, la réflexion et le projet, les travaux, la vie utile) au cours desquels se développeront les différentes étapes de travail.

5.4. Les étapes à suivre :

1. Préliminaires :

C'est une étape introductive, pour entamer le processus de réhabilitation et après que le promoteur ou le maître de l'ouvrage le décide on réunit tous les contacts nécessaires pour l'intervention sur l'ouvrage.

Cette étape tourne autour de ce que l'on a coutume d'appeler le pré-diagnostic, phase d'orientation objective du promoteur ou maître d'ouvrage.

1.1. Décision d'agir / Entrevue avec le promoteur (maître de l'ouvrage) :

Un dialogue ouvert entre l'architecte/ingénieur et le propriétaire aura lieu en vue d'identifier les besoins ainsi que les désirs de ce dernier. L'architecte/ingénieur doit, pas seulement repérer les possibilités de développement de son idée, mais aussi, il doit être capable d'orienter le propriétaire afin de rationaliser l'intervention par rapport aux aspects légaux et au coût économique, et d'identifier les besoins les plus déterminants qui peuvent, parfois, être différents des préoccupations initiales du propriétaire.

1.2. Pré-diagnostic :

Il est le point clé de cette première étape. Cette étape implique une première approche globale du bâtiment, de ses valeurs (architecturales, historiques, etc.) et de ses problèmes (qu'ils soient constructifs, d'habitabilité, etc.) grâce à une première inspection du bâtiment dont l'objectif est de découvrir le système constructif utilisé, les valeurs architecturales qui le caractérisent, les pathologies qui l'affectent, la problématique sociale qui lui est associée, etc.

Parallèlement à l'inspection, l'architecte/ingénieur doit enquêter sur le statut légal du bâtiment et de ses occupants, ainsi que les aides économiques dont on pourra bénéficier

en cas de réhabilitation. Il est aussi nécessaire de garantir la participation de tous les propriétaires et usagers du bâtiment par une série d'entrevues.

1.3. Le rapport du pré-diagnostic :

Après un pré-diagnostic, l'architecte/ingénieur peut déjà avoir une première compréhension du bâtiment et avoir détecté ses carences et ses potentiels.

Le rapport de pré-diagnostic doit réunir de manière claire et résumée les renseignements compilés, l'évaluation l'état de conservation du bâtiment et faire des recommandations. Ainsi, le propriétaire devra être informé des possibilités de réhabilitation du bâtiment et des restrictions techniques et économiques qui existent pour qu'il décide par la suite s'il désire mener à terme ses idées initiales ou s'il souhaite reformuler la commande.

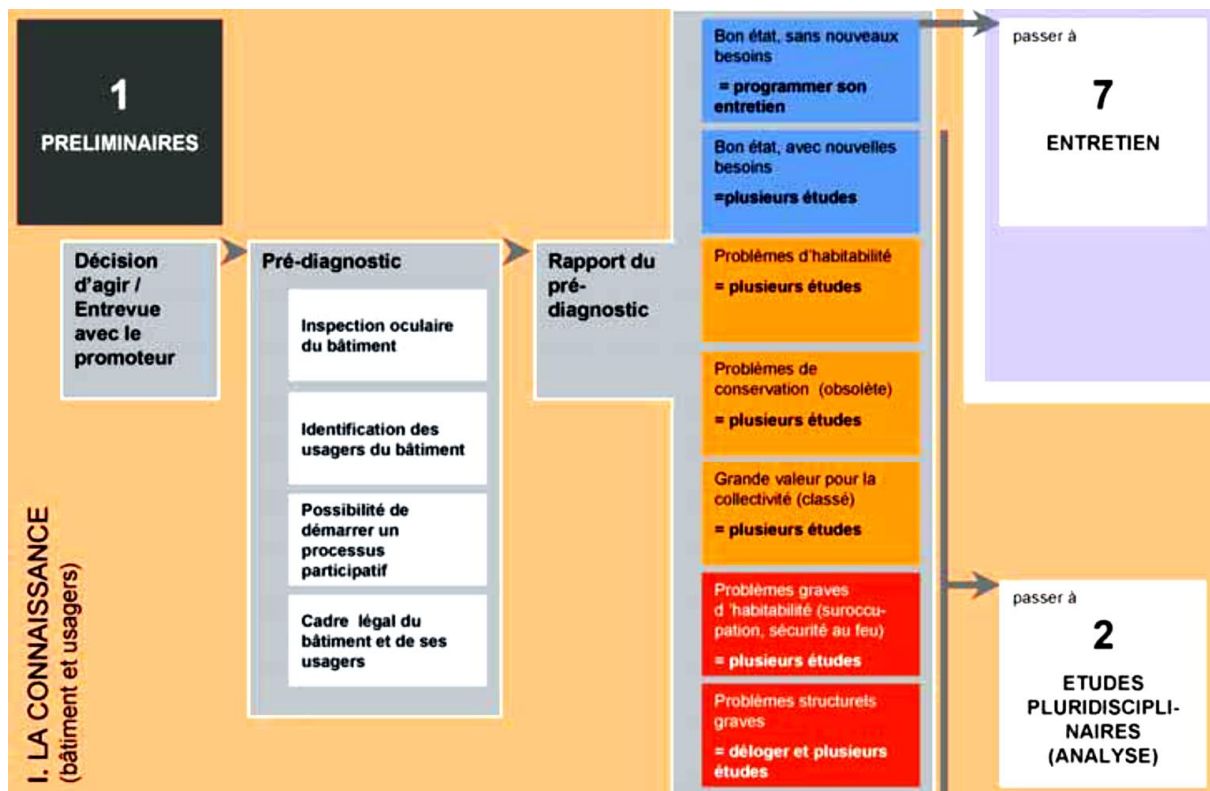


Figure 2.7 : Organigramme de l'étape 1 (Preliminaires) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.

Source : Ibid.

2. Études pluridisciplinaires (analyse) :

Elle consiste en un recueil de données et d'informations nécessaires dans tous les domaines d'investigation pour parvenir à une profonde connaissance de l'objet d'étude. C'est une étape

qui nécessite des études pluridisciplinaires appuyées de tests spécialisés, ou différents acteurs peuvent y intervenir.

2.1. Elaboration d'hypothèses provisoires :

L'étape des études pluridisciplinaires est fondamentale pour mieux connaître le bâtiment et son contexte avant d'y intervenir. De ce point de vue, et à partir des renseignements recueillis dans le rapport de pré-diagnostic, il est souhaitable de se fixer des objectifs et de faire des hypothèses provisoires et qui seront vérifiées ou non au fur et à mesure que les études développeront.

2.2. Programme d'études pluridisciplinaires :

À partir des premières hypothèses faites au préalable, on planifiera une campagne d'études abordable et cohérente en fonction des moyens disponibles. Ce point du processus est trop sensible, on doit être pleinement conscient de l'échelle de l'intervention. Ainsi, on peut envisager le travail sur un mode échelonné de telle manière que des vérifications ultérieures découleront à partir des premières.

2.2.1. Domaine social :

Selon le type de réhabilitation, les aspects socioéconomiques peuvent être cruciaux pour la possible intervention. Il s'agit de détecter, via une enquête sociologique, les unités familiales ainsi que les possibles situations problématiques (entassement, marginalisation, chômage, abandon, etc.) et leur relation avec le quartier. De même une étude anthropologique qui permet d'obtenir de précieux renseignements quant à la signification sociale de la maison, l'usage des espaces, les coutumes, etc.

2.2.2. Domaine historique :

Les études historiques nous aident à fixer des critères d'intervention à travers trois disciplines. D'un côté, d'enquêter dans les sources documentaires (archives notariales, archives familiales, photographies anciennes, anciens projets du bâtiment) pour compiler des données qui aideront à comprendre le bâtiment et ses transformations. De l'autre, la méthode archéologique appliquée sur le bâtiment lui-même qui est considéré comme étant un magnifique document historique et qui peut être soigneusement étudié comme culture matérielle. L'une autre discipline de l'histoire, étant l'histoire orale, elle joue un rôle important dans la réhabilitation de l'architecture traditionnelle. Grâce à la consultation de personnes d'un certain âge, il est possible d'obtenir des renseignements très utiles sur le bâtiment ainsi que sur les techniques de construction traditionnelles qui sont sur le point de disparaître.

2.2.3. Domaine architectural :

De comprendre le bâtiment et de réaliser un projet ajusté à la réalité ne peut en aucun cas se soustraire des études architecturales diverses. Entre autre, un bon relevé géométrique (relevé manuel avec mètre-ruban, relevé topographique ou bien relevé photogrammétrique) constitue la base de tous les travaux postérieurs, Parallèlement à ça, une bonne documentation photographique, voire vidéographique, est extrêmement nécessaire parce qu'elle permet de fixer des détails qui peuvent passer inaperçus à première vue.

La reconnaissance des valeurs architecturales du bâtiment (l'intégration dans le lieu, la configuration spatiale, une structure singulière, un type d'ornementation, etc.) et le relevé graphique des matériaux, des techniques constructives et des lésions.

Autre, une étude de base historico-artistique et constructive des techniques traditionnelles d'exécution de la décoration et des couleurs appliquées seront d'une grande valeur.

En fin, étudier les transformations architecturales du bâtiment en consultant de manière détaillée le cadre légal et urbanistique du bâtiment.

2.2.4. Domaine constructif :

Cette étape comprend la reconnaissance physico-constructive de tous les éléments du bâtiment ainsi que l'observation de ses lésions, et ce dans une perspective de globalité considérant le bâtiment comme un tout, pas un ensemble de sous-systèmes. Au cours de cette phase, L'architecte/ingénieur doit :

- avoir de larges connaissances sur les modes de construction traditionnels de la région, disposant d'une solide formation scientifico-technique de la pathologie des bâtiments traditionnels.
- adopter une approche scientifique d'identification des phénomènes de dégradation, pour ce faire, il sera assisté d'un ensemble d'experts (Chimistes, géologues, biologistes, etc.), et de tests (in situ et en laboratoire) qui lui permettront d'identifier les matériaux, leurs altérations éventuelles, l'attaque des insectes xylophages, de faire le suivi des fissures, etc.
- évaluer, surtout dans les zones sismiques, la sécurité structurelle du bâtiment afin d'éviter les accidents. Cela implique la connaissance du sous-sol (grâce à l'étude géotechnique si nécessaire), l'analyse de la cohérence structurelle de l'ensemble et de la capacité de résistance de la structure.
- La durabilité et la protection de l'environnement sont des enjeux essentiels dans la réhabilitation du bâtiment qu'on doit mettre en avant. Ainsi,

l'architecte/ingénieur doit analyser le cycle de l'eau, le cycle des résidus, les consommations énergétiques du bâtiment, et étudier le confort en hiver et en été.

- vérifier et prévoir la connectivité du bâtiment (état et position) avec les infrastructures de base (réseau d'assainissement, réseau d'eau potable, réseau d'électricité, réseau de téléphone, etc.).

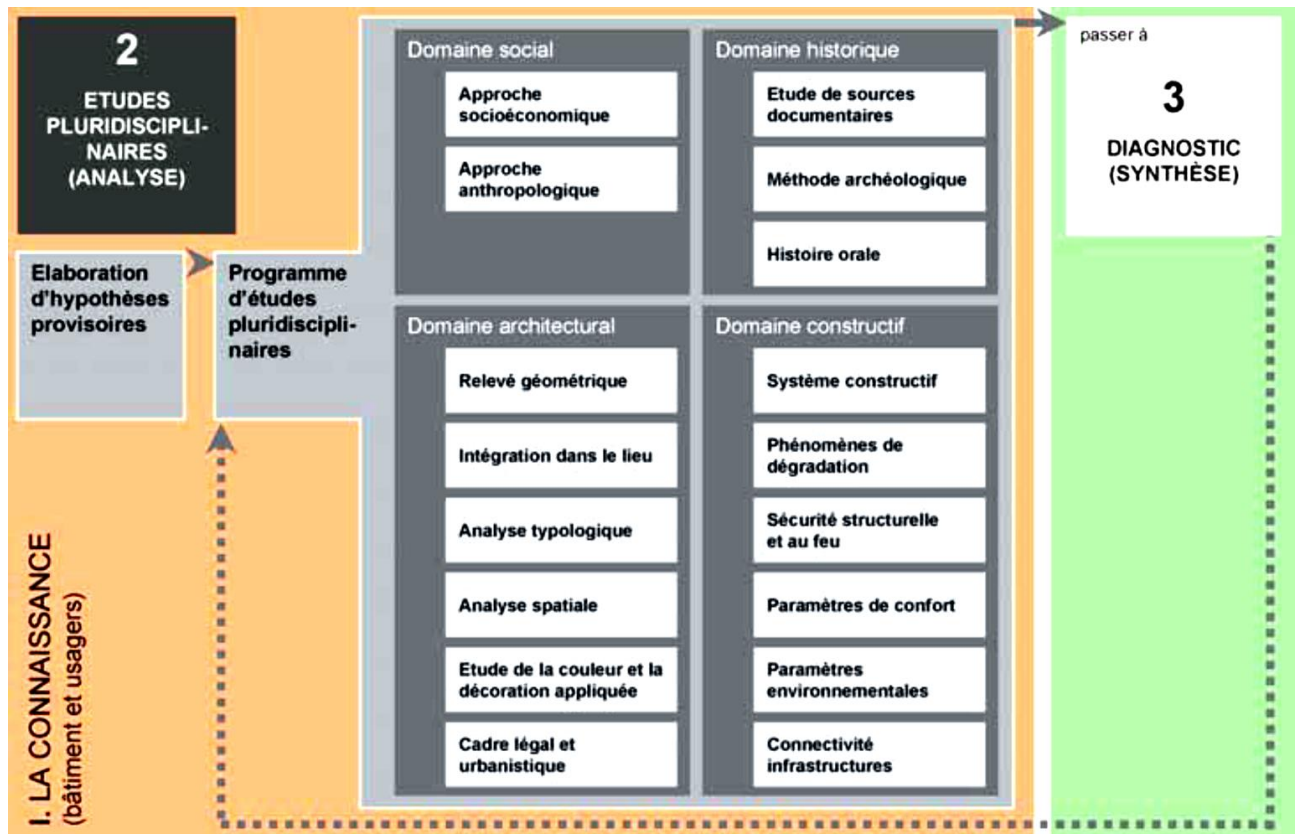


Figure 2.8 : Organigramme de l'étape 2 (Études pluridisciplinaires) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien. Source : Ibid.

3. Diagnostic (synthèse) :

Cette étape implique un travail de synthèse et une réflexion critique fondée sur les études pluridisciplinaires ayant été réalisées au cours de l'étape antérieure.

3.1. Évaluation critique des études :

Il s'agit d'ordonner et de fixer l'information, en la fixant graphiquement sur un relevé géométrique du bâtiment. Ainsi, on pourra créer trois types de cartes :

- une carte de valeurs sur laquelle on notera les valeurs spatiales, de couleur, historiques, artistiques de chaque partie ou de l'ensemble du bâtiment.
- une carte des déficits sur laquelle on notera la problématique sociale, les prestations du bâtiment ainsi que les lésions et les dégradations.

- une carte des usages précédents et/ou existants sur laquelle on montrera comment a été utilisé et comment est encore utilisé le bâtiment avant l'intervention.

3.2. Confirmation de l'hypothèse

D'avoir une vision globale du bâtiment est assurée par l'évaluation critique menée auparavant, il doit être possible ainsi de vérifier les hypothèses envisagées au début des études pluridisciplinaires au travers des observations et des tests (étape 2).

Toutefois, il y a toujours possibilité que les hypothèses initiales ne seront pas confirmées et que de nouvelles conditions verront le jour, chose qui nous renvoie à la phase d'études pour les vérifier.

3.3. Rédaction d'un rapport d'expertise :

Il est nécessaire à la fin de cette étape de mettre par écrit, dans un rapport diagnostic, le degré de connaissance du bâtiment qui a été atteint, détaillant la composition du bâtiment, décrivant et justifiant ses valeurs, détaillant les déficits et leurs causes, et faisant des recommandations.

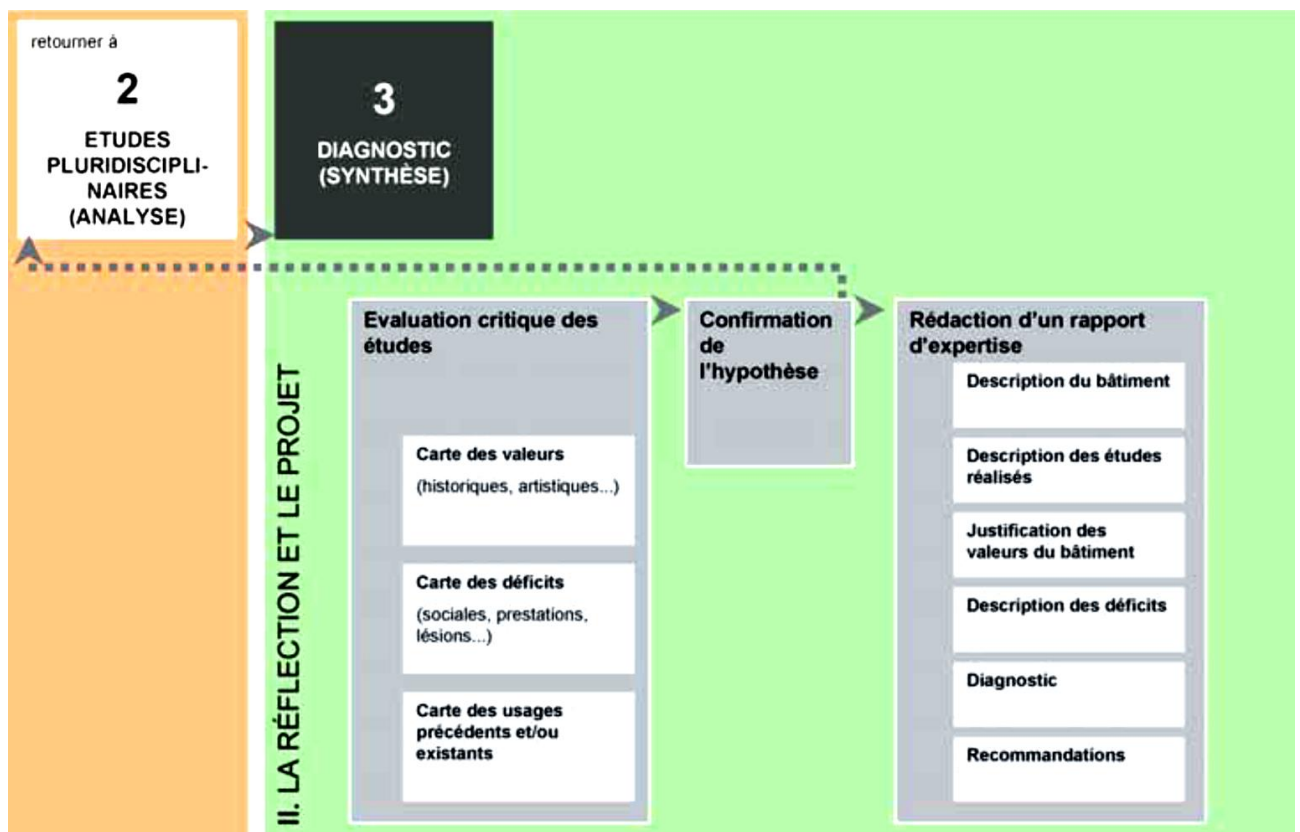


Figure 2.9 : Organigramme de l'étape 3 (Diagnostic) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien
 Source : Ibid.

4. Réflexion et cadre de décisions :

C'est dans cette phase et après une connaissance parfaite du bâtiment et de ces usagers qu'on reprend les idées du maître de l'ouvrage et qu'on analyse leur faisabilité.

4.1. Faisabilité :

Avant de commencer l'étude de faisabilité, il s'agit d'entamer à nouveau avec le propriétaire un dialogue sur ses nécessités futures et sur ses possibilités économiques au regard du potentiel du bâtiment. Ensuite on partira de trois études partielles :

- la carte de transformabilité : il s'agit de croiser l'information des cartes des valeurs, des déficits et des usages de l'étape antérieure pour montrer les parties du bâtiment à toucher par changements ou à conserver pour préserver sa valeur.
- Le programme des nouveaux usages : proposé par le maître de l'ouvrage et rationalisé (superficies, relations entre usages, etc.) par l'architecte/ingénieur.
- L'évaluation des conditions réglementaires liées aux paramètres urbanistiques et de catalogage des biens d'intérêt culturel.

4.2. Confirmation des critères :

Au cours de cette étape, l'architecte/ingénieur devra fixer les critères qui seront appliqués au projet (additions, éliminations, priorité donnée aux aspects d'habitabilité, réintégration des parties perdues, réversibilité des interventions à risques, consolidation des parties en ruine, etc.). Dès le début du processus, on ne devra écarter aucune solution extrême : ni la conservation, ni la restauration. Le premier cadre général à prendre en compte étant celui établi par La Charte du Patrimoine bâti vernaculaire de 1999.

4.3. Cadre de décisions

Après avoir confirmé les critères appliqués au projet, on visera la convenance du type d'intervention à choisir ; c'est-à-dire que l'on envisagera l'équilibre entre l'amélioration des conditions de vie des habitants, la sécurité de la structure, la sauvegarde des valeurs patrimoniales et les ressources économiques disponibles.

Et, finalement, on pourra choisir le type de travail de réhabilitation (depuis la programmation d'un simple entretien jusqu'à la réhabilitation intégrale, en passant par la réalisation d'interventions partielles).

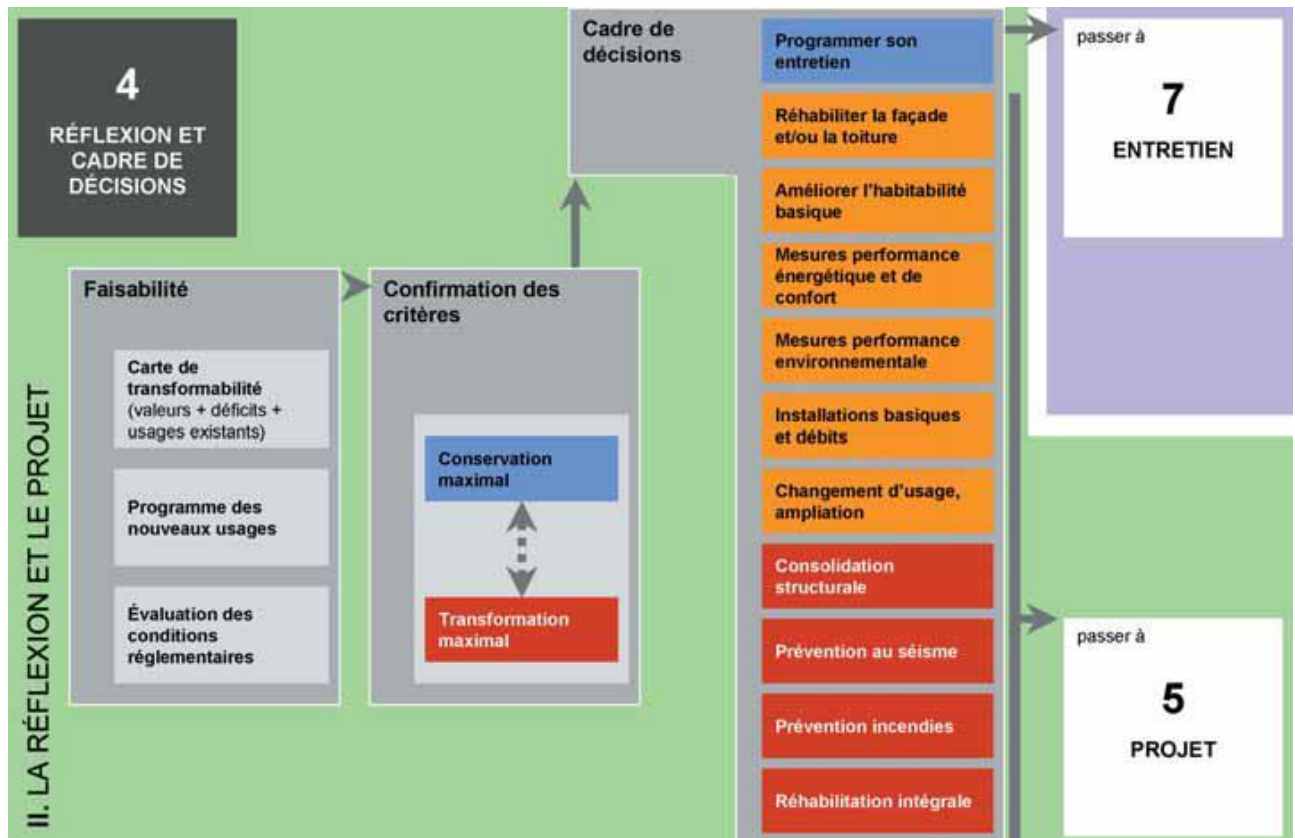


Figure 2.10 : Organigramme de l'étape 4 (Réflexion et cadre de décisions) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien

Source : Ibid.

5. Le projet :

Une fois la décision d'intervention sur le bâtiment est prise, l'étape qui suit sera consacré aux travaux de mise en œuvre du projet de réhabilitation.

5.1. Avant-projet :

L'avant-projet est une étape de profond dialogue avec le maître de l'ouvrage. Il s'agit de chercher parmi les diverses possibilités du projet et des réformes proposées, les meilleures qui seront en parfaite adéquation avec le bâtiment existant, cette étape est normalement close par un accord conscient du promoteur en ce qui concerne l'intervention que développera le projet.

5.2. Le projet :

L'étape projet présente un niveau suffisant des détails de l'intervention pour pouvoir effectuer les démarches administratives, embaucher les entreprises de construction et matérialiser l'intervention dans le respect des coûts considérés. Par conséquent, il comprendra la documentation suivante : définition géométrique de la proposition avec cotes (étages, sections et élévations), plans de structure, plans des finitions, plans des

installations, cahier technique, mesures, devis, cahier des charges et mesures d'hygiène et de sécurité.

Afin d'exécuter les travaux dans des meilleures conditions, le projet interprète les critères d'intervention et applique une série de paramètres techniques, entre autre,

- Le choix des techniques de réhabilitation, et avant d'adopter le moderne, passe d'abord par examen des techniques traditionnelles et leur degré de récupération et de réutilisation.
- Il est impératif d'étudier l'impact de chacune des techniques appliquées, leur compatibilité avec le bâtiment existant ainsi que la visibilité finale de l'intervention et d'essayer de rendre compatibles la construction traditionnelle et les techniques modernes adoptées.
- pour faire intégrer les installations modernes dans le bâtiment et dès la commande de l'installation on devra prendre des mesures pour qu'elle puisse être intégrée sans dénaturer les façades ni les intérieurs.
- les paramètres de durabilité doivent être incorporés, et d'une manière raisonnables, à l'échelle de l'intervention dans le projet.
- Il est à garantir dans le projet la maintenabilité des solutions constructives, c'est-à-dire l'accessibilité à tout élément pour son entretien postérieur de manière facile et sécurisé. il doit être aussi ouvert aux modifications qui pourraient se justifier du fait des découvertes de dernière minute au cours des travaux.

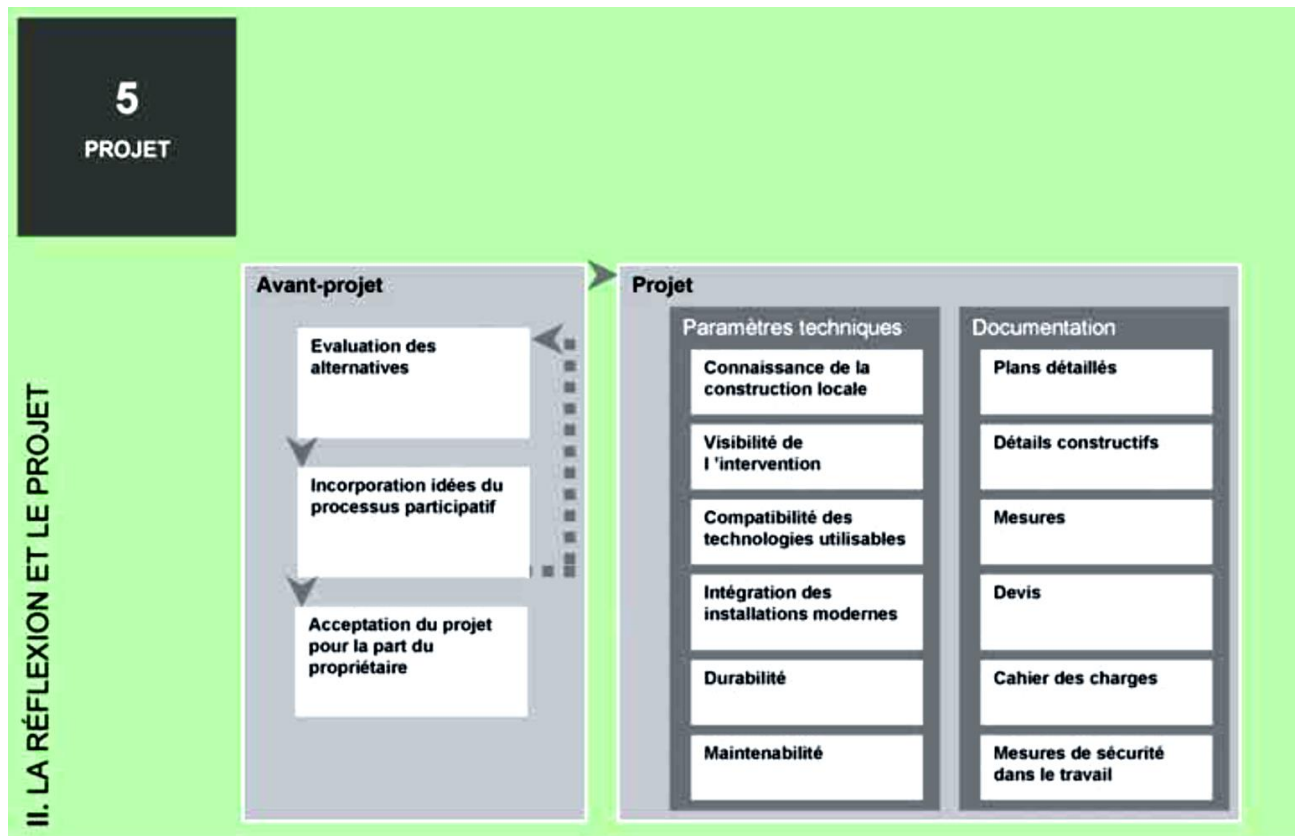


Figure 2.11 : Organigramme de l'étape 5 (Projet) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.
Source : Ibid.

6. Réhabilitation :

6.1. Contrat de construction

Le type de contrat garantira la qualité du travail et le professionnalisme du constructeur. Pour garantir une réhabilitation dans les normes, on devra choisir un type d'entreprise de construction spécialisée qui connaît et maîtrise les deux techniques, traditionnelles et modernes. Dans des conditions défavorables, on devra surveiller la manière de réaliser le contrat, de telle manière que l'on puisse contrôler les matériaux et les techniques.

6.2. Démarches du permis de construire

Dans la programmation de la réhabilitation, les délais d'attente qui sont nécessaires pour obtenir les permis de construire de la part des autorités compétentes peuvent être plus importants notamment lorsqu'il s'agit d'un bâtiment classé. L'hypothèse selon laquelle le rapport serait défavorable et que l'on doive revenir à la phase de projet n'est pas à exclure.

6.3. Exécution des travaux :

La direction des travaux d'un bâtiment traditionnel exige en premier une certaine flexibilité dans le temps. Souvent, et au fur et à mesure des travaux, certains imprévus apparaissent, par conséquent il est difficile d'appliquer uniquement ce qui est indiqué dans le projet.

6.3.1. Suivi des travaux :

Dans la phase de suivi des travaux, la révision continue du projet et la réinterprétation du bâtiment à la lumière des nouvelles découvertes s'imposent, de même que de nombreux aspects qui sont à prendre en compte et notamment le contrôle économique, le contrôle de l'efficacité des solutions de renfort et la coordination de la sécurité des travaux. Une fois parvenu à la fin, le suivi sera doté d'un rapport des travaux effectivement exécutés.

6.3.2. Organisation des travaux :

Il existe un ensemble d'aspects relatifs à l'organisation des travaux qui doivent être pris en compte :

- La programmation des travaux.
- L'étude de l'accessibilité au chantier et la planification de l'entrée des différents métiers.
- Opter pour le travail à l'intérieur avec de petites machines (faibles hauteurs, passages étroits, etc.).
- Prévoir la protection de certains éléments du bâtiment et des mesures pour une gestion correcte des résidus des travaux.
- Réhabiliter contre les intempéries ou contre les travaux de réhabilitation eux-mêmes.
- Eviter l'accumulation d'opérateurs.
- Marquer les éléments qui devront être démontés parce qu'ils seront réutilisés.
- Prendre les mesures de sécurité nécessaires pour éviter les accidents qui pourraient être dus aux déséquilibres partiels du bâtiment ou à l'apparition de matériaux ou de produits dangereux pour la santé.

6.4. Livraison des travaux :

Il est important de profiter de cette étape pour corriger certains aspects et analyser la gestion, la construction et l'adéquation du projet à l'usage prévu, il faut signaler que cette étape de rétro-alimentation (feed-back) doit servir aussi pour améliorer la phase de projet de commandes postérieures.

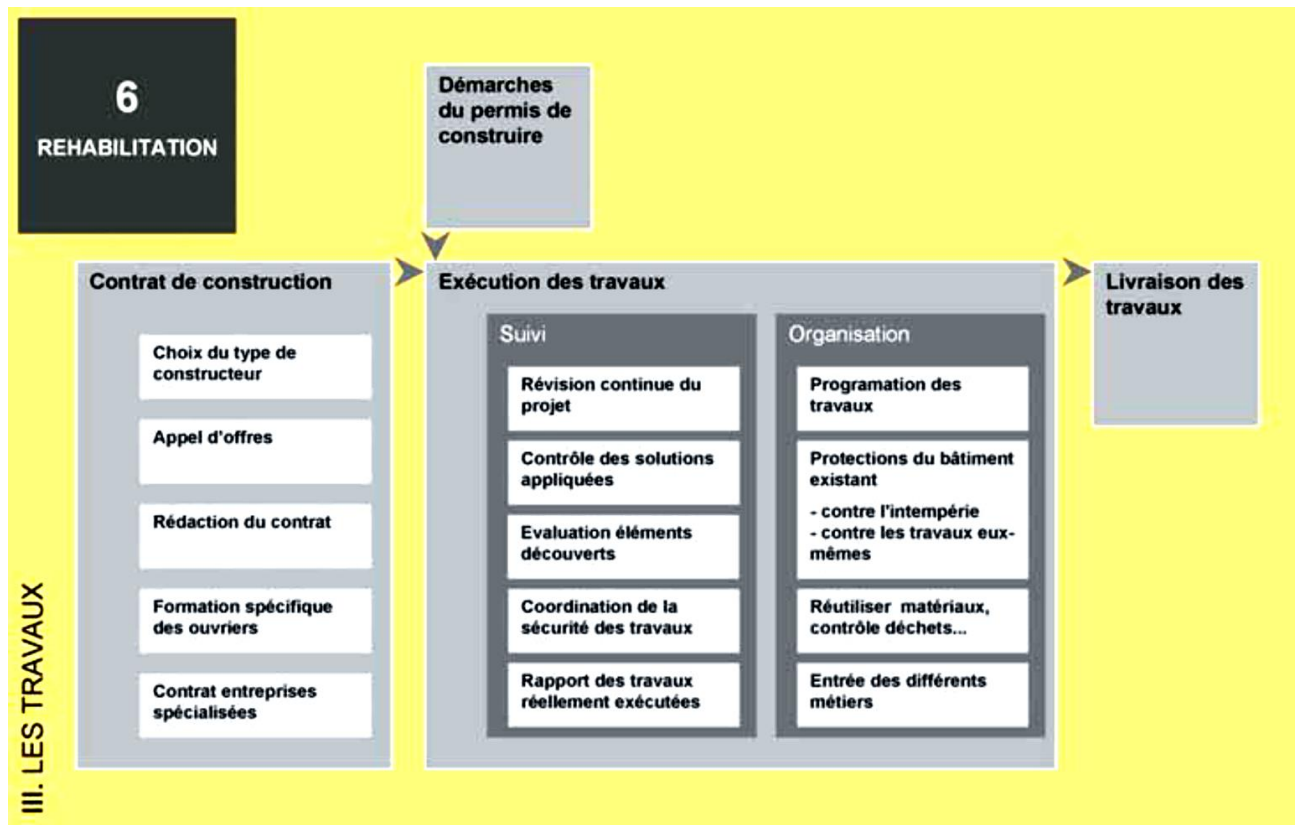


Figure 2.12 : Organigramme de l'étape 6 (Réhabilitation) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.

Source : Ibid.

7. Entretien :

L'architecture traditionnelle est bien vulnérable, à partir du jour même de la fin de sa réhabilitation le bâtiment recommence à vieillir surtout si on n'assure pas l'entretien de ce dernier et qu'on accentue l'abandon de cette architecture.

Par définition, l'entretien d'un bâtiment est un ensemble de travaux périodiques qui sont réalisés et qui ont pour objectif de le conserver pendant sa période de vie utile dans des conditions adéquates pour couvrir les besoins prévus.

7.1. Diffusion des valeurs du bâtiment au sein de la collectivité :

Une fois terminés les travaux de réhabilitation, ce doit être une priorité de travailler pour que la collectivité reconnaisse ses valeurs et participe à sa réhabilitation. Il est important de promouvoir une certaine activité de sensibilisation qui montre la valeur du travail fait (une petite cérémonie pour présenter le développement des travaux, la publication d'une série de photos de l'avant et de l'après de la réhabilitation, la publication d'un reportage sur les travaux dans la presse locale, etc.).

7.2. Choix du modèle d'entretien :

Habituellement, on associe l'entretien à l'idée de réparation des éléments endommagés, c'est ce que nous appelons l'entretien correctif ; mais ce qui est proposé dans la méthode RehabiMed, c'est de penser en termes d'entretien planifié et préventif.

La planification implique la préparation d'un calendrier des opérations d'entretien, et la prévention signifie la réalisation des opérations d'entretien avant que l'élément constructif ne s'abîme.

7.3. Carte d'identité :

RehabiMed et pour systématiser cette manière de réaliser l'entretien, propose de doter le bâtiment d'une « Carte d'identité » ; il s'agit d'un document qui recueillera toute l'information qui existe sur le bâtiment et qui, en même temps, disposera d'un calendrier programmant les opérations d'entretien.

7.4. Travaux d'entretien en fonction du calendrier :

L'entretien est essentiel mais il doit être effectué dans la mesure des capacités et des potentialités de ceux qui en sont chargés et en toute sécurité pour eux.

L'architecte/ingénieur se convertira, à l'instar du médecin de famille, en « technicien de famille » qui aura le bâtiment parmi ses « clients », avec son histoire clinique, afin d'obtenir une durabilité à long terme de ce qui est, maintenant, une opération de réhabilitation complète.

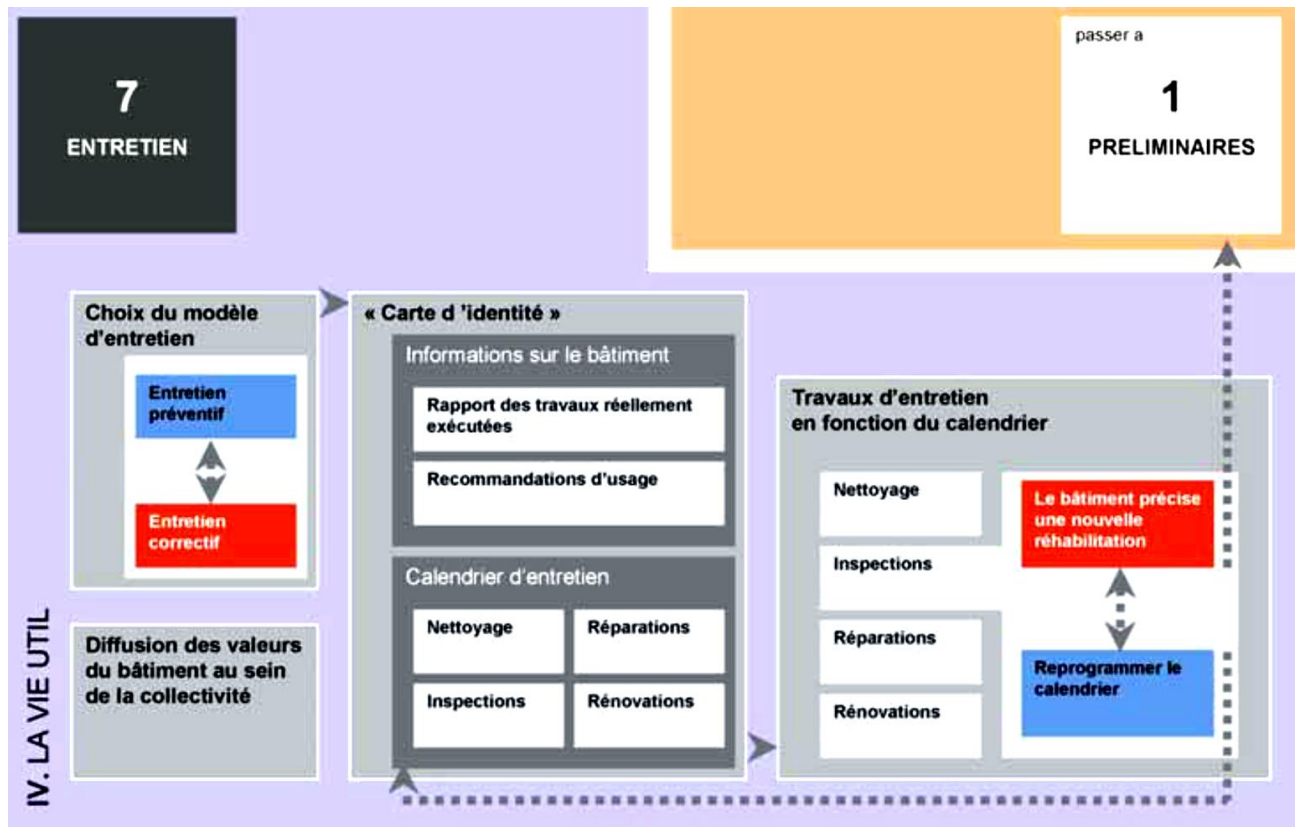


Figure 2.13 : Organigramme de l'étape 7 (Entretien) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.
Source : Ibid

Chapitre 03 :
*Structures du patrimoine
architectural*

1. Présentation et identification des structures et typologies structurelles de la période ottomane :

Dans cette partie nous présentons les différentes typologies structurelles et éléments architecturaux des constructions du patrimoine relatifs à la période ottomane en Algérie, l'ensemble de ces typologies et composantes structurelles peuvent être réparties comme suit :

- Les structures verticales : murs porteurs et arcatures.
- Les structures horizontales : les fondations, les planchers et les couvertures.
- Les éléments architectoniques : les encorbellements...

Durant cette période, plusieurs matériaux ont été utilisés, nous citons la brique de terre cuite, la chaux, la pierre (équarries ou moellons), la terre, la terre glaise, le sable, le marbre, le tuf, le bois, les clous. Les graviers sont utilisés dans leurs états d'origine, parfois ils sont mélangés pour constituer des mortiers (sable, terre et la chaux), ou des enduits (la chaux et le plâtre).

1.1. Structure verticale :

1.1.1. Les murs porteurs :

La structure verticale des constructions de la période ottomane sont des structures porteuses qui se composent généralement de murs épais en maçonnerie érigés avec les matériaux abondamment disponibles sur le site. La brique de terre cuite et la pierre équarrie, ou moellon, constituent les matériaux les plus utilisés, cependant elles peuvent être aussi construites en pierre. Ces structures sont hourdées avec des mortiers de chaux à prise lente, elles sont généralement appareillées, elles peuvent ne pas être homogènes.

Les murs sont d'épaisseur variable, le plus épais, donc le plus chargé, se trouve au plus bas de la structure, d'une épaisseur variable entre 40 à 80 cm au rez-de-chaussée et entre 30 à 60 cm aux étages. Ces épaisseurs ainsi que leur poids augmentent leurs inerties et permettent de remarquables qualités d'isolation acoustique et thermique.

Ces murs en maçonnerie peuvent aussi comporter des structures secondaires en bois comme les linteaux au-dessus des ouvertures, fenêtres et portes, qui souvent, sont encadrées d'un chambranle en pierre.



Figure 3.1 : mur hourdé en appareillage de pierre, casbah de Dellys.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

1.1.2. Le support arcatures :

C'est des structures verticales flexibles représentées par un système d'arcatures composées de plusieurs éléments, parmi elles les colonnes et les arcades décoratives, ouvertes ou simulées, portant les coursives des galeries.

Il a été relevé deux types d'arcs, avec la particularité dans les formes : L'arc en ogive qui est un élément de contreventement de la structure flexible entre le portique et les murs des appartements et raccorde la galerie et le mur porteur pour la soutenir à ce dernier, et l'arc brisé outrepassé qui lui, compose la façade de la galerie.

Ces structures en maçonnerie mouvementées par ces arcatures, les plates-bandes et les linteaux sont associées à des planchers constitués de solives en bois.

La souplesse de ce système et sa flexibilité permettent de franchir les écartements variables entre les colonnes et de s'adapter aux parcelles qui souvent, ne sont pas de géométrie régulière.



Figure 3.2 : arc brisé outrepassé.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)



Figure 3.3 : arc en ogive de contreventement
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

1.2. Structure horizontale :

Elles sont définies par les fondations, les planchers et les couvertures

1.2.1. Les fondations :

C'est une maçonnerie de pierre relativement plus grosse que celle des murs évoqués supra. En fait, elle peut être réalisée en grosses pierres, de pierres plates, galets ou moellon brut ou équarris qui atteint les 40 cm de côté et sert d'assise au mur. Les fondations de la maison sont bâties au même niveau sur les terrains d'allure horizontale, sur un terrain en pente, les semelles de fondations sont horizontales et en gradins, ce changement de niveau est renforcé par un mur porteur d'une hauteur allant jusqu'à 1,00 m.

La profondeur du mur de fondation peut aller de 0,30 m au minimum à 1.20 m au maximum, il est constitué d'une couche drainante de cailloux concassés qui servent de base aux premiers appareillages.

Ces fondations sont remplies aussi dans des tranchées, se prolongeant à peine à une hauteur d'un mètre du bon sol.

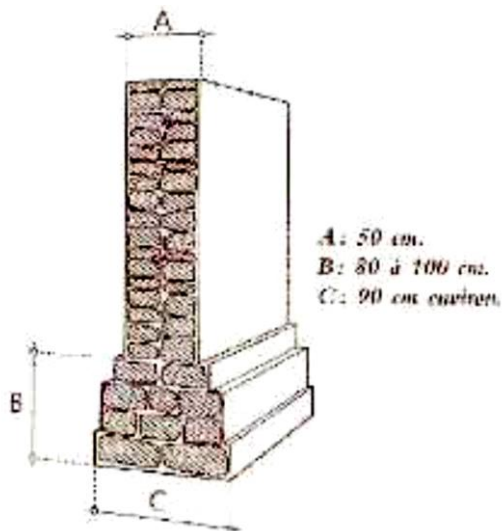


Figure 3.4 : Fondation en pierre ordinaire d'un bâtiment sur cave
Source : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

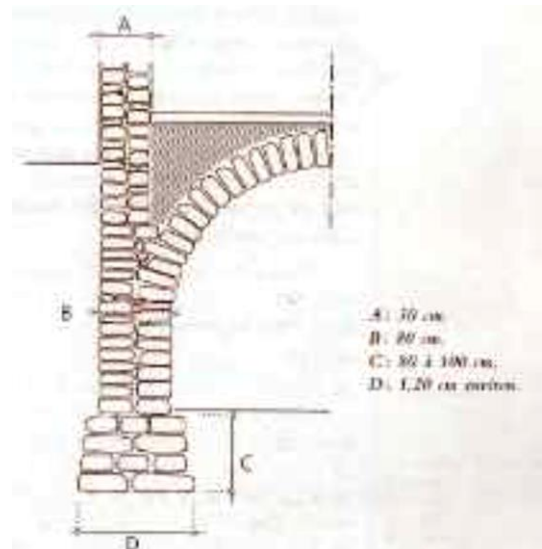


Figure 3.5 : Fondation en pierre ordinaire d'un bâtiment sans cave
Source : Ibid.

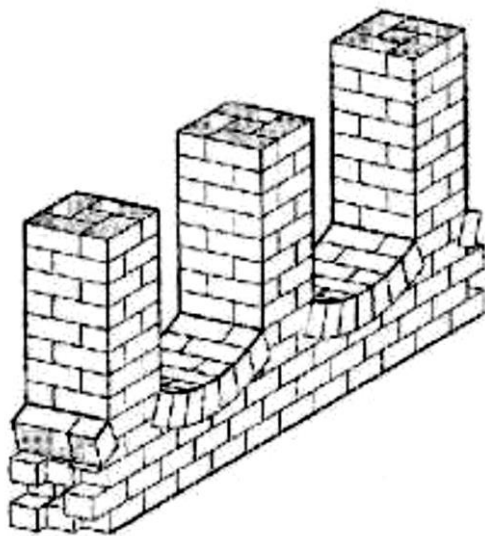


Figure 3.6 : fondation en voute renverser
Source : Ibid.

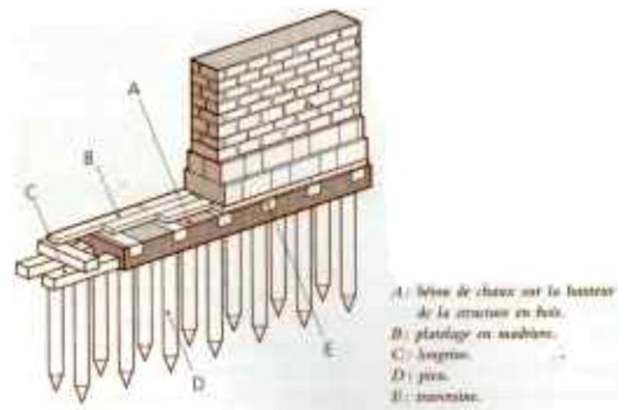


Figure 3.7 : Fondation sur pieux en bois
Source : Ibid.

1.2.2. Les franchissements horizontaux :

En gros, Il en existe deux types, le premier à ossature en bois (les planchers), l'autre en maçonnerie (coupole et voute).

1.2.2.1. Les planchers :

Les planchers sont composés de solivages en bois. Rarement, ces planchers peuvent être bâtis sur des voûtements en maçonnerie.

Lorsque ces derniers sont à ossature en bois, ils sont portés de mur à mur par des poutres qui forment l'ossature primaire du plancher, elles constituent ainsi une portée principale dans le sens de la largeur. L'ossature secondaire porte de poutre à poutre, cette portée secondaire est franchie par un solivage, un voligeage ou un branchage.

Ainsi, nous pouvons en distinguer deux types : les planchers réalisés et portés par des solives en thuya non équarris sur lesquels sont disposés des voliges de bois ou des branchages de végétaux avec de légère irrégularité, et ceux réalisés par des solives en bois équarrées portent seulement des voliges de bois.

Ces différents planchers sont constitués d'importantes charges de terre coulées sous forme de chape en terre.

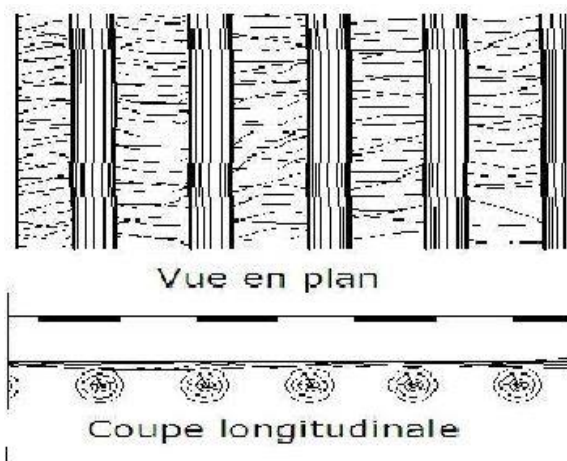


Figure 3.8 : plancher sur rondins de thuya, branchage.

Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)



Figure 3.9 : plancher sur solives équarrées et voligeages.

Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

1.2.2.2. Les voûtes :

Nous avons affaire à deux types de voûte :

- La voûte en berceau : ces voutes supportent les planchers des vestibules et certains espaces en sous-sol.

Elles sont construites entre deux murs avec un appareil à rang longitudinal. Dans les palais, la naissance de la voûte est marquée par un bandeau saillant qui peut être en briques de terre cuites ou en pierre (matériaux plus dure), qui peut être différente de celles appareillées dans le mur. De ce fait, les voûtes sont totalement solidaires des structures verticales en maçonnerie qui les portent.

Les voûtes de dimensions réduites, allant de 1 à 2 m, sont constituées par un simple blocage de demi brique posée avec des joints s réduits et de la chaux.

- La voûte d'arête : ce modèle recouvre certaines sqifa, les volées d'escaliers ainsi que les plafonds dans les sous-sols.

Les voutes d'arête sont construites avec un appareil à rang parallèle aux génératrices, sinon à appareil en arêtes de poissons, il en résulte deux voûtes en berceau à directrices identiques (même forme, même corde et même flèche)

Les voûtes sont montées sans coffrage et l'oblicité des joints alliée à la viscosité du liant (argile et de la chaux) permettent de maintenir le claveau en place pour terminer un des arcs élémentaires dont la juxtaposition va former la voûte.

1.2.2.3. Les coupoles :

Les coupoles recouvrent certains espaces et palier d'escalier surtout dans les palais. Celles des galeries sont portées en partie par ses murs et par deux arcs doubleaux qui s'accrochent aux colonnes et aux murs de la galerie. Les coupoles des q'bous ont la même configuration que celles de la galerie avec des dimensions plus importantes et des hauteurs plus élevées.



Figure 3.10 : voûte en berceau recouvrant un escalier.

Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)



Figure 3.11 : voûte d'arête recouvrant un escalier.

Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

La structure en brique de terre cuite est maçonnée avec des joints minces. L'épaisseur des coupoles est le plus souvent d'une brique. Les très petites coupoles de la portée d'environ 2 m peuvent avoir l'épaisseur d'une demi-brique de 12 à 14 cm.

L'épaisseur des murs porteurs varie de 0,30 à 0,50 m et la structure même de la coupole en brique de terre cuite permet de franchir des portées de 5 m. Les briques de terre cuite sont posées suivant la forme circulaire au mortier (chaux, chaux et éclats de brique et terre) servant aussi de remplissage des vides laissés entre les briques.

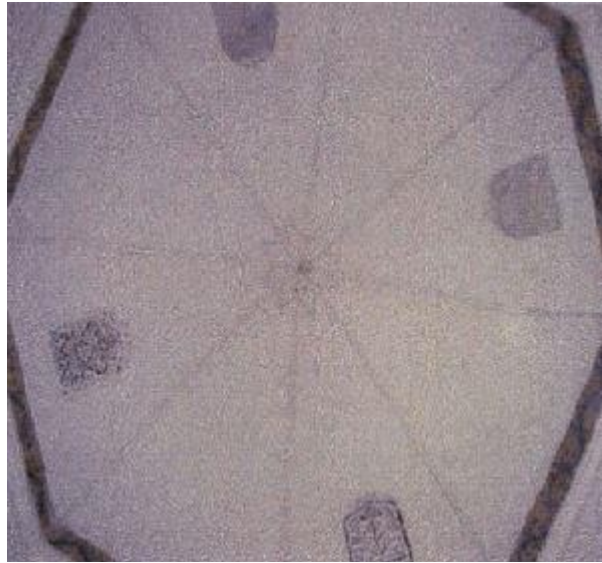


Figure 3.12 : coupole recouvrant une chambre princière.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

1.2.3. Les couvertures :

1.2.3.1. Charpente traditionnelle à structure en bois :

C'est une charpente simple à versants (un ou deux), de portée limitée (de 4 à 5 m), elle est composée d'une poutre principale de grande section (tronc naturel ou équarri) constituant la panne faîtière ancrée dans les murs refends maçonnés de façon à donner la forme triangulaire et la pente à la charpente. Les poutres secondaires, en bois massif, sous forme de sciages de moyennes ou fortes sections, sont posées en simple appui sur les murs porteurs et assemblées par embrèvement sur la poutre principale et portant les voliges.



Figure 3.13 : une charpente simple portant de la tuile canal.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

1.2.3.2. Platelages et tuiles :

Le platelage est constitué de planche de bois dur, formant le niveau de pose des tuiles canal qui est la plus répandue. Les tuiles de courant sont bâties au mortier de chaux sur le platelage ainsi que quelques tuiles de couverts par rangée, qui permet d'obtenir une étanchéité à l'air et à l'eau. Leur épaisseur moyenne étant de 2 cm.



Figure 3.14 : la tuile canal.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

1.2.3.3. Couverture plancher terrasse à structure en bois :

La conception de ces toitures terrasses accessibles est fortement liée à leurs utilisations. Les planchers de ces dernières ont la même composition structurelle en bois que les planchers des étages inférieurs. La nature de l'exploitation de ces terrasses impose des critères tant sur le choix des matériaux que sur le choix de leur épaisseur.

Le plancher terrasse est rempli avec une couche de terre constituant le mortier de coulage fait à base de terre battue mélangée parfois à du sable ainsi que des mortiers de terre coulée. En plus de la pose d'une couche d'étanchéité en surface, constituée d'un mortier étanche réalisé à partir de chaux, de sable, de briques de terre cuites concassées, parfois d'huiles et de cendres d'épaisseur allant de 1 à 2 cm, finit par l'application d'un lait de chaux et rarement un revêtement de briques posées, donnant des épaisseurs qui varient de 50 cm jusqu'à 1,00 m. Cet ensemble assure également une bonne isolation acoustique et thermique ainsi qu'une bonne rigidité.



Figure 3.15 : toiture terrasse accessible.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

1.2.4. Les revêtements :

1.2.4.1. Les revêtements de finition (les enduits) :

Les enduits et selon le support d'application, peuvent être classés en deux types distincts, les enduits extérieur ou enduit de façades, qui sont destinés à protéger le parement contre les eaux de pluies et les enduits intérieurs.

Ces enduits sont préparés traditionnellement sur chantier, ils sont composés d'un mélange fait à base de sable lui donnant son aspect et sa couleur, d'eau de gâchage et de liant traditionnel, la chaux, des adjuvants (poudre de charbon de bois et d'huile) forment ainsi le mortier d'enduit ou crépi. Des enduits au

mortier à base de terre et de chaux et d'adjuvants naturels sont aussi utilisés avec un rajout de sable variable.

Les revêtements courants des façades sont réalisés en une épaisseur de 30 à 35. Ce choix est lié à la nature du support pour une cohésion optimale. Ces enduits sont appliqués manuellement, en deux à trois couches de mortier, donnant ainsi l'aspect du parement qui peut être lissé ou taloché. La porosité graduelle de ces couches permet une certaine perméabilité à l'air.

Les enduits intérieurs sont appliqués généralement en deux couches. La première est effectuée à la chaux aérienne mélangée à de la terre argileuse, ou à base de chaux aérienne mélangée à du sable, le deuxième, effectuée avec un mélange beaucoup plus riche en chaux aérienne pour les arêtes et les soubassements sinon effectuée à la chaux aérienne qui confère à l'espace un aspect plus agréable. Ce dernier est aussi apprécié pour ses propriétés de régulation hygrométrique et assainissant.



Figure 3.16 : enduit sur murs en maçonnerie (sable, chaux, eaux de gâchage).

Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)



Figure 3.17 : enduit à base de terre argilo-sableuse et chaux.

Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

1.2.4.2. Les revêtements aux sols :

Les revêtements au sol diffèrent selon le type de demeure, modeste ou noble.

La plupart des patios sont dallés de marbre dans les palais et grandes

demeures, en carreaux en céramique de grandes dimensions (20 cm) dans les maisons modestes.

Le revêtement du sol du rez-de-chaussée est en carreaux de marbre de forme hexagonale, octogonale ou carrée, analogue à celles qui pavent le patio, mais de dimensions plus réduites (15 cm de côté). Le revêtement des sols des pièces et des galeries de l'étage est en carreaux de céramique de dimension 20 à 22 cm de côté. Les revêtements des espaces de service sont en tomettes de terre cuite de formes octogonale et triangulaire.



Figure 3.18 : revêtement de la galerie d'une demeure en céramique en forme de tomettes.

Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

Conclusion :

Le patrimoine bâti relatif à la période ottomane est si riche et varié, il présente une diversité tant aux formes et à l'esthétique qu'aux typologies structurelles. Cette richesse se définit par l'utilisation des techniques constructives associées à l'utilisation de matériaux locaux et adaptés à ces structures elle-même et à l'environnement, chose qui a fait de ce patrimoine un support technique et un conducteur pratique du savoir-faire ancestral.

2. Pathologies des éléments de l'architecture traditionnelle : L'architecture traditionnelle est extrêmement vulnérable. La tradition avait assumé la coutume de l'entretenir et de la conserver en suivant le rythme des saisons de l'année (le badigeonnage durant les fêtes de printemps, la vérification des tuiles après un fort coup de vent, etc...). Hélas tous ces coutumes ne se suffissent plus face aux dégradations développées qui a connu la majorité de ces constructions, de plus en plus, on fait appel à des opérations d'ampleur, qui ne se limitent pas à des actions superficielles et qui sollicitent une connaissance approfondie des différentes pathologies, leurs causes et comment peut-on remédier.

Ceci est dit, et avant toute opération intervention sur l'architecture traditionnelle, il est indispensable d'effectuer une investigation sur l'ensemble du bâti et de comprendre la nature, l'ampleur et l'origine des désordres et problèmes, dans leur globalité. Il s'agit d'évaluer la stabilité générale du bâtiment, celle de chacun des ensembles de sa structure, l'état de conservation des ouvrages secondaires, ainsi que les localisations et les effets de l'humidité. Ce diagnostic va s'établir généralement sur :

- Les structures porteuses : Ouvrages de fondation, murs porteurs et leurs enduits.
- Les ouvrages portés : les voûtes, les planchers, les charpentes et les escaliers.
- Les parties du second-œuvre solidaires des structures porteuses et portées telles que conduits de fumée et de ventilation et revêtements des sols.
- Les menuiseries extérieures et intérieures afin de recenser celles qui peuvent être conservées en l'état ou réparées, celles utilisables comme fermetures provisoires. Et les percements dans les murs dont il faut assurer la fermeture.

2.1.Désordre liés à l'eau :

Dans le bâti ancien, l'eau provoque davantage les désordres les plus courants. L'eau peut s'infiltrer dans l'ouvrage par une fuite dans la toiture ou remonter par capillarité depuis la

fondation. En fait, il y a plusieurs types d'eaux : les eaux pluviales, l'eau de ruissellement, l'eau d'infiltration, les remontées capillaires et les éclaboussures.

Les murs maçonnés anciens sont caractérisés par une considérable perméabilité à l'eau, la vapeur de l'eau peut les traverser et celle-ci peut être stockée dans les mortiers réduisant ainsi leurs résistances. De même les bois maintenus humides par une fuite d'eau pourrissent ou sont attaqués par des champignons.

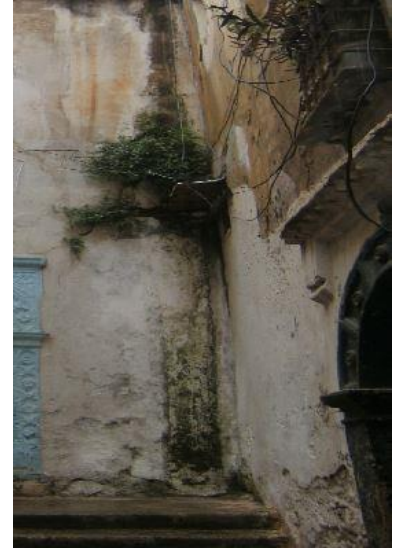


Figure 3.19 : cloquage d'enduit par accumulation d'humidité.

Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

2.2. Fissures superficielles :

Par définition, la fissure est une fente visible affectant la surface d'une maçonnerie. Par convention la fissure fait entre 0,2 et 2 mm de large (au-dessous c'est du faïençage, au-dessus c'est une lézarde). Le souci du à une fissure est généralement d'ordre esthétique, celle-ci est considéré grave dans le cas où elle porte atteinte à l'imperméabilité des parois.

2.2.1. Le faïençage :

Les enduits et bétons se craquellent superficiellement lorsque de fins réseaux de micro fissures emplissent la surface recouverte. Ces micro fissures sont de largeur inférieure à 0,2 mm, disposées en mail régulières fermées, de quelques cm de cotés. Le faïençage traduit un retrait superficiel trop important, remonter de lier, couche trop épaisse, séchage trop rapide.

2.2.2. Fissure de surface localisée :

C'est des fissures qui se réalisent volontairement lorsque le dégrossissage d'un mur présentant de fortes variations se fait en une seule passe de finition, chose qui induit des différences d'épaisseur dans la masse du mortier, et donc des différences de retrait au séchage.

Pour les réparer il est assez rapide de piquer et de reprendre l'enduit (dégrossie, corps d'enduit enduit de finition) Il est aussi possible de poser une trame avant de faire une reprise avec un enduit.

2.3.Fissures structurelles :

2.3.1. Désordres des fondations :

Les désordres des fondations sont fortement liés aux tassements et aux mouvements des sols. Le tassement est un mouvement d'enfoncement du sol, dû à l'assèchement d'un sol argileux ou à des affouillements en profondeur. Lorsque ce mouvement n'est pas uniforme (tassement différentiel) il perturbe l'équilibre traditionnel du bâtiment et provoque la dislocation des maçonneries, manifesté par de longues lézardes. Ces désordres, et en fonction des types des structures, se manifestent sous forme de fissures qui apparaissent dans les superstructures :

- Structure fragile : les fissures se font principalement à 45° depuis les angles des ouvertures ou des linteaux.
- Structure rigide : les déformations se font par blocs. Les désordres se manifestent au niveau des ouvertures des joints.
- Structure en maçonnerie : dans ce cas les fissures se font en escalier.

Le tassement différentiel est un désordre grave du bâtiment, en général irrémédiable, il vient souvent, dans les zones de montagne, de la différence de pression du sol en différents points des fondations. Ainsi il peut être provoqué par :

- Sol porteur hétérogène et /ou de niveau variable : lorsque le niveau du sol de fondation est variable ou la résistance et la perméabilité de celui-ci sont distinctes cela induit, dès la construction, des tassements différentiels ultérieurs qui pourront être amplifiés pendant les périodes humides ou sèches (présence d'argile).
- Modification irrégulière de la descente des charges : Elle résulte par exemple d'une surélévation partielle ou de l'ouverture à rez-de-chaussée d'un large portail à proximité d'un angle mitoyen.
- Modification localisée de la teneur en eau du sol support : Cette modification peut avoir pour origine une fuite dans un réseau enterré (adduction d'eau, assainissement), le

traitement défectueux d'une chute d'eau pluviale, ou un traitement de sol périphérique qui rabat vers la maison le ruissellement des eaux de pluie.

Suite à cette modification, certains sols superficiels varient en volume en fonction des conditions météorologiques : retrait en période de sécheresse, gonflement au retour des pluies.

- Dégradation d'une partie de la fondation ou de la base de mur : les nitrates que les eaux phréatiques et de ruissellement transportent dans les remontées capillaires peuvent fragiliser les maçonneries.

2.3.2. Désordres des murs porteurs :

Les causes de la pathologie des maçonneries sont nombreuses, elles sont liées essentiellement à la nature des matériaux et sa mise en œuvre, à l'environnement extérieur dans lequel se trouvent, à des défauts de résistance mécanique et de résistance à l'humidité.

- Murs en fruit et en contre-fruit : les murs traditionnels sont rarement verticaux, soit qu'ils aient construits ainsi, soit que des déformations de l'ensemble de la structure «fondation + murs + planchers» les aient écartés de la verticale. Lorsque le pied de mur est avancé par rapport à l'aplomb de sommet, il y a fruit ; dans le cas inverse il y a contre-fruit.
- Défauts de résistance : Les murs porteurs descendent l'ensemble de leur poids propre et de leurs surcharges sur les fondations linéaires et continues puis sur le sol support. S'il y'a augmentation de charges inégalement réparties sur le sol support, dont la capacité portante peut elle aussi varier suivant sa teneur en eau, des affaissements locaux provoquent des modifications de l'équilibre interne initial. Les maçonneries pleines sont peu concernées par les effondrements sous l'action de sollicitations verticales. En revanche le flambement d'ouvrages très élancés et les défauts de chaînage affectent ce type de maçonnerie.



Figure 3.20 : fissure dans un mur en maçonnerie.

Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

Les maçonneries creuses sont affectées par les contraintes excessives, une mise en œuvre défectueuse ou un défaut spécifique du matériau.

- Défauts de mise en œuvre : la bonne transmission des charges d'un lit de blocs creux au lit inférieur nécessite que les joints permettent un contact aussi uniforme que possible. Des effondrements ont été enregistrés dus au bourrage insuffisant des joints, à un défaut de superposition des cloisons verticales ou à la pose inappropriée des éléments : mauvais harpage des joints, discontinuité des chainages.

2.3.3. Désordre des planchers :

Comme ils sont portés par les murs, l'équilibre des planchers est en forte relation avec celui de ces murs, ils sont directement concernés par les tassements et autres déformations de l'ensemble fondations + murs. Le plancher reste horizontal tant que les appuis sont sur deux murs à l'identique (secs ou mouillés) ; lorsque les appuis sont d'un côté sur un mur sec et de l'autre sur un mur mouillé, le plancher se trouve alors en pente, du mur sec vers le mouillé.

Le plancher lui-même est plus ou moins contaminé par l'humidité du mur au niveau

de ses appuis, dont le pourrissement peut provoquer la rupture. Elle entraîne un manque de résistance de celui-ci, les poutres prennent de la flèche et les appuis des poutres peuvent se déchausser.

Le poids des planchers est transmis au mur par les appuis, où les charges sont verticales aussi longtemps que les ossatures primaires, arcs et poutres ne sont pas déformées.

2.3.3.1. Planchers sur voûtes :

Par rapport au poids propre du plancher sur voûte, qui peut atteindre $2t/m^2$, les surcharges d'utilisation réparties sont marginales (10% du poids propre). Les appuis continus sur les murs latéraux de ce plancher lourd renforcent l'impression qu'il est



Figure 3.21 : fléchissement du bois d'un plancher du probablement à une sollicitation excessive.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

indestructible. Néanmoins des désordres peuvent apparaître sous certaines conditions entre autre :

- Modifications tardives créant des surcharges concentrées comme celle transmises par les appuis d'un plancher rajouté.
- Tassement des murs porteurs de la voute, il est induits par l'humidification des maçonneries perméables.
- Faiblesse des supports de la voute par manque de tirants transversaux ou contreforts pour contenir la poussée exercée sur les murs.
- Remontées capillaires : L'humidification d'une voûte à saturation peut apporter une surcharge de 20 % (à comparer aux 10 % de surcharge d'utilisation).

2.3.3.2. Déformations des arcs porteurs des planchers sur arcs :

2.3.3.2.1. Relation descentes de charges/ formes des arcs :

Tous les arcs transmettent une poussée horizontale à leurs murs porteurs. Cette poussée est augmentée par des déformations de l'arc qui résultent soit de la surcharge du plancher provoquant un tassement de l'arc, soit du tassement d'un de ses appuis affaibli par les effets de l'humidité. Les poussées horizontales sont directement proportionnelles au poids des planchers, mais surtout, suivant les formes des arcs, les composantes horizontales de la descente des charges sont plus ou moins importantes et s'appliquent différemment sur les murs porteurs des planchers.

2.3.3.2.2. déformations géométriques et fissures des planchers :

Tous les désordres des arcs porteurs provoquent des déformations dans le plancher lui-même. La portée des arcs ayant été allongée par le basculement des murs, l'effort de traction résultant provoque une rupture, qui se manifeste par des fissures localisées dans les joints des claveaux, des affaissements sur le sol du plancher, ainsi que des fissures de retrait. Ce désordre est préoccupant lorsqu'il est important et évolutif.

2.3.3.2.3. risques d'écroulement :

D'autres désordres ont pour origine des modifications tardives des appuis des arcs, réalisées pour dégager le volume utile dans toute sa largeur et sur une

hauteur plus grande. Ainsi, on a parfois diminué la hauteur des retombées d'appui en coupant un peu naïvement la partie basse des arcs, dont l'arc appareille lui-même ; c'est prendre le risque d'un désordre grave qui va jusqu'à l'écroulement.

2.4. Désordres des revêtements :

2.4.1. désordres liés à l'usage :

Soumis à une usure qui résulte de l'utilisation normale des pièces de la bâtisse, les divers revêtements sont usagés en fonction de leur résistance propre et de leur plus ou moins longue période d'utilisation. En revanche, des dallages millénaires ont bien résisté à un usage intense.

Des désordres des revêtements sont aussi provoqués par des usages inattendus.



Figure 3.22 : détérioration de l'enduit par vieillissement.

Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

2.4.2. Désordres liées aux déformations des planchers

Au-delà de l'usure du revêtement lui-même, on observe que les désordres des sols sont le plus souvent induits par des déformations de leur support : les sols bien conservés les plus anciens ont été posés sur l'aire rigide d'un terre-plein ou d'une voute, tandis que les désordres les plus importants sont provoqués par des déformations des planchers porteurs. Dans certains cas, l'observation du sol d'une pièce située à l'étage donne à lire les flèches des poutres et des solives, exprimées par des fissures ; et des déformations dont la disposition reflète l'organisation du plancher.

3. Renforcement et consolidation des structures en maçonnerie :

3.1. Interventions sur les murs et les piliers :

Le choix des techniques de réparation ou de renforcement à appliquer sur les murs est piliers est conditionné par les caractéristiques générales de ces structures. Les matériaux et les appareillages des murs en pierre et en terre, sont très sensibles et peu résistants aux tensions de traction et de cisaillement, outre, le caractère de forte perméabilité à l'eau de la terre et des mortiers employés demeure le point noir de ces structures.

Il en ressort quelques règles générales d'intervention sur ces éléments. En premier, et afin d'éviter éventuellement les efforts de traction ou de cisaillement, il faut prendre soin de distribuer de manière homogène les sollicitations introduites dans le mur.

De même, il peut être utile de chercher à absorber les efforts dans le plan transversal du mur, en créant ainsi une résistance capable de le rendre plus robuste et de contenir les poussées. Pour terminer il y a lieu de réduire les efforts de compression.

Dans ce qui suit, nous allons dénoter les techniques d'intervention qui s'appliquent le plus souvent à ces éléments :

3.1.1. Remplacement physique de la partie endommagée :

L'objectif de cette technique est de restaurer la capacité portante initiale de l'élément endommagé, il nécessite ainsi l'élimination préalable de la cause du problème. Il s'agit de remplacer le matériau de la partie fissurée, bombée ou menacée par la dégradation et de reconstruire avec le même matériau (dans les murs ou les piliers en pierre ou en brique) ou d'autres (on pourra employer la brique à la place des murs en terre) dont la résistance et la déformabilité seront similaires, tout en garantissant le contact de cette partie remplacée avec l'ouvrage, pour assurer une correcte transmission des charges.

3.1.2. Reprise de fissures :

Il s'agit de rattraper la continuité perdue du mur endommagé, et d'assurer la transmission et la distribution homogène des tensions dans la partie lésée. La technique consiste à insérer entre les lèvres d'une fissure passive d'un mur des éléments plus résistants et plus rigides en guise de sutures, tels que des agrafes métalliques, des morceaux de brique, etc.

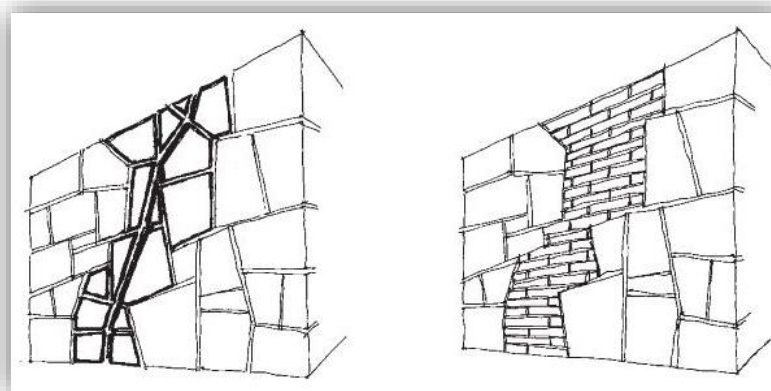


Figure 3.23 : rattrapage des fissures dans un mur.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

3.1.3. Injections

C'est un système applicable à des murs en maçonnerie appareillée ou en brique, il consiste à introduire un liquide (généralement à base de composants époxydiques) sous pression pour colmater entièrement le vide entre les lèvres de la fissure. Par son durcissement et son adhérence au support, le liquide restitue à l'élément endommagé sa continuité d'origine.

3.1.4. Rejointoiements

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

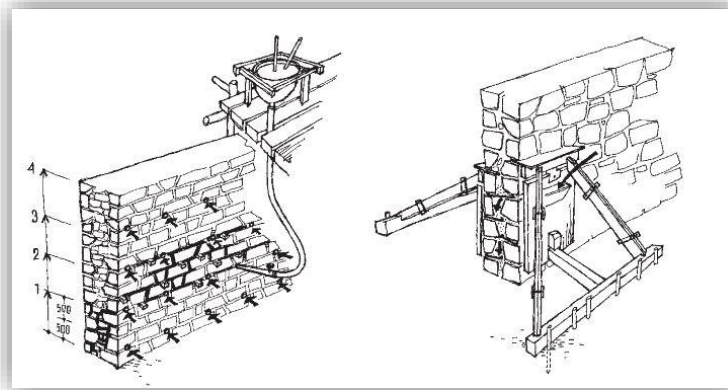


Figure 3.24 : rejointoiement par mortier des fissures dans un mur.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

3.1.5. Enduit de renfort à base de mortier ou de béton armé :

Cette technique consiste à augmenter la section du mur endommagé ou sous-dimensionné en incorporant aux parements des épaisseurs de mortier ou de béton, après la pose de treillis métalliques, solidarisés entre eux dans le mur, augmentant ainsi la rigidité de ces murs.

Cette solution s'adapte à des structures de murs complètes, à des murs entiers ou à des pans précis, chose qui la rend appropriée pour renforcer des bâtiments abîmés par les mouvements sismiques.

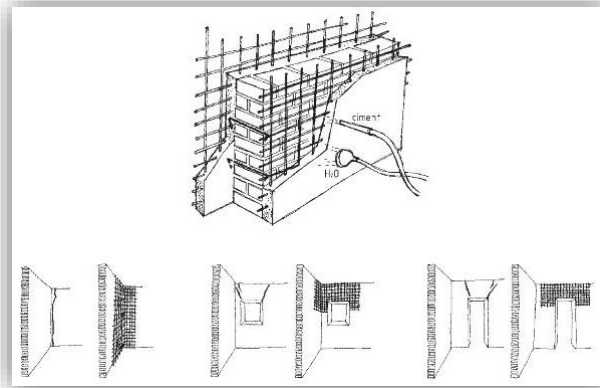


Figure 3.25 : augmentation de la section du mur par des enduits de renfort.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

3.1.6. Pose de tirants :

Cette technique vise à freiner par traction (exercé par des tirants) l'effondrement et la déformation progressive des murs transversalement à leur plan. Elle consiste à disposer des éléments linéaires (tirants) constitués d'un câble d'acier et fixés à deux murs opposés par des pièces d'ancrage.

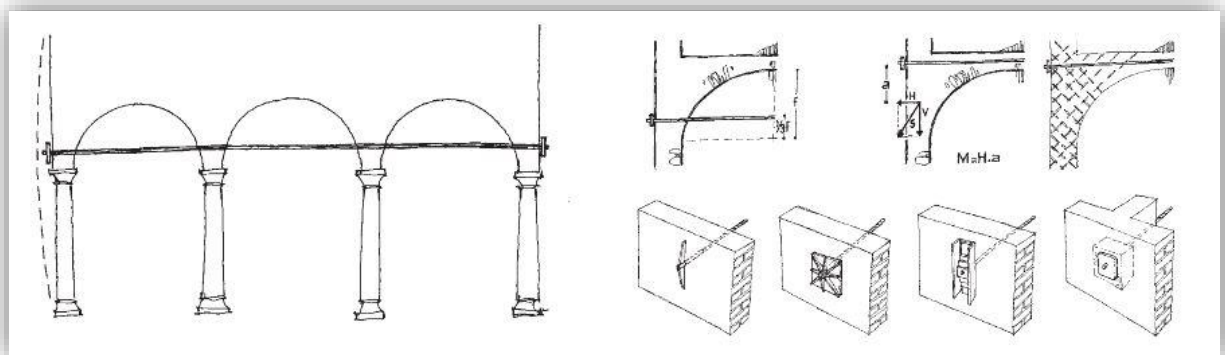


Figure 3.26 : renforcement par pose de tirants.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

3.1.7. Contreforts :

Les contreforts ont la même utilité que les tirants, ils sont utilisés pour absorber les poussées des voûtes, des arcs ou de tout autre élément qui introduirait des sollicitations inclinées dans les murs et les transmettre au terrain à travers leur section. Généralement ils sont appliqués lorsque le bâtiment ne dispose pas d'éléments suffisamment rigides, capables d'absorber les tensions ponctuelles créées aux points d'ancrage des tirants.

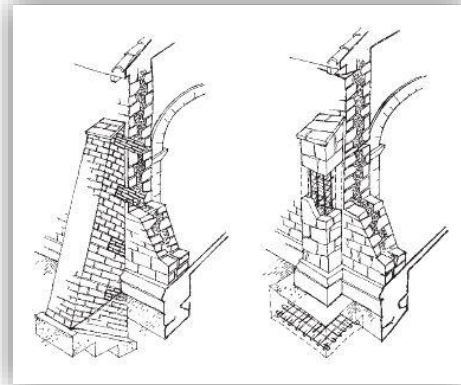


Figure 3.27 : renforcement par pose de contreforts.

Source : ACHAB Samia Ep
CHERNAI (juin 2012)

3.1.8. Chaînage :

C'est la disposition de ceintures ou de courroies en fer ou en acier sur le pourtour de murs structurants fermés pour les rendre plus robustes et augmenter leur résistance. 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 adhèrera à l'élément renforcé.

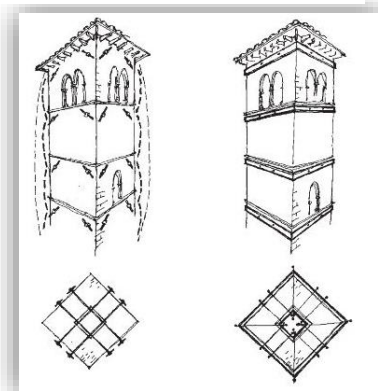


Figure 3.28 : renforcement par chaînage.

Source : ACHAB Samia Ep
CHERNAI (juin 2012)

3.1.9. Taxidermies avec des barres d'acier :

C'est un système de renfort intégral qui consiste à mettre en œuvre des armatures en acier à l'intérieur des murs en pierre ou en brique. C'est une structure secondaire de barres atteignant parfois quelques mètres de longueur 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.

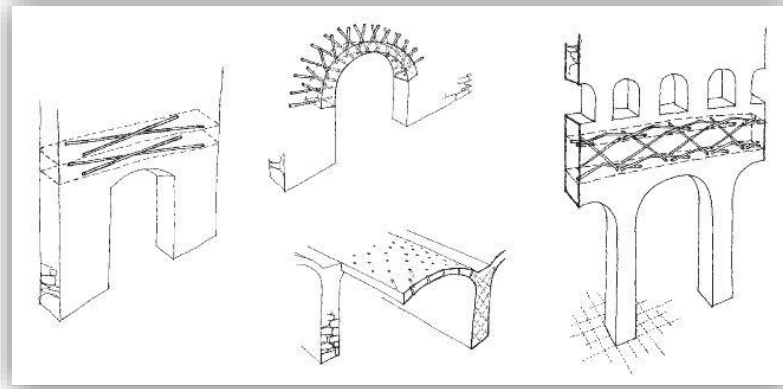


Figure 3.29 : renforcement par taxidermies avec des barres d'acier.

Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

3.2. Interventions sur les planchers et les couvertures :

Avant toute intervention sur ces éléments résistants, il est impératif de passer par un diagnostic des causes des dysfonctionnements. Le choix des formes et méthodes d'intervention nécessite une connaissance des conditions d'utilisation futures et de l'utilité de conservation, en plus de ces éléments eux même, les autres éléments de grande valeur artisanale et picturale sur lesquels l'action vue peut avoir une influence.

Les formes et les méthodes d'intervention les plus usuelles sur ces éléments sont les suivantes :

3.2.1. Remplacement fonctionnel des appuis sur les poutres et poutrelles :

Les appuis des poutres et des poutrelles en bois, notamment ceux du côté des murs extérieurs d'un bâtiment, sont souvent exposés à des conditions spéciales d'humidité et d'obscurité, ils sont ainsi très vulnérables et peu résistants aux effets nuisibles des champignons et des termites. La solution à ces dommages étant le remplacement fonctionnel ou le renfort de ces appuis endommagés par la décomposition du bois, à l'aide de l'un des nombreux procédés existants que l'on choisira en fonction de plusieurs paramètres : problème concernant quelques poutrelles désolidarisées ou une ligne d'appuis contigus, caractéristiques du mur sur lequel elles reposent, techniques disponibles et apparence formelle de la solution retenue.

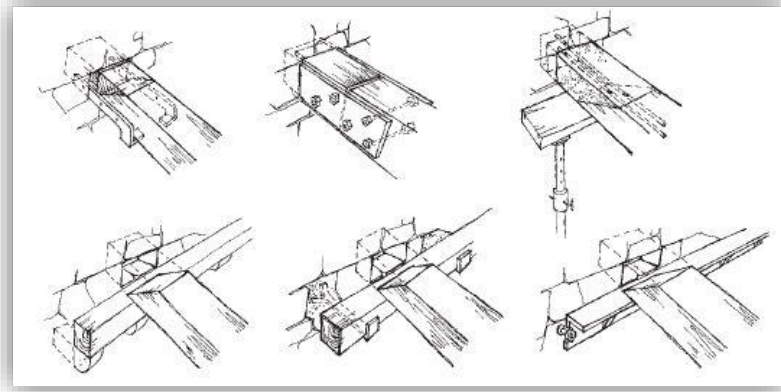


Figure 3.30 : renforcement des poutres et poutrelles.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

3.2.2. Suppléments de résistance pour les poutres et les poutrelles :

Il s'agit de renforcer la poutre ou les poutrelles jugées insuffisamment dimensionnées ou déformées excessivement par effet du fluage en rajoutant de nouveaux éléments en bois ou constitués de profilés en acier, et qui vont collaborer à l'absorption des efforts jouant sur ces éléments.

La position de ses matériaux de renfort par rapport à l'élément à renforcer étant latérale, si les poutres en bois à renforcer supportent des pans entiers de planchers de poutrelles ; il suffit alors de fixer deux éléments avec des goujons traversant la poutre, inférieure quand la hauteur libre au sol admet une réduction, et supérieure lorsqu'il s'agit de conserver l'apparence du plancher d'origine.

3.2.3. Montants intermédiaires :

Il s'agit d'utiliser des poutres en bois ou en acier, disposées en travers de la poutre à renforcer et divisant sa portée en deux ou en trois pour réduire les tensions de flexion introduites par les surcharges et les déformations dues au fluage du bois. Pour assurer l'efficacité de cette technique, il faut monter des murs perpendiculairement aux murs porteurs dont la résistance a faibli ou, à défaut, des piliers spécifiques avec une bonne assise sur le terrain pour pouvoir lui transférer les charges correctement.

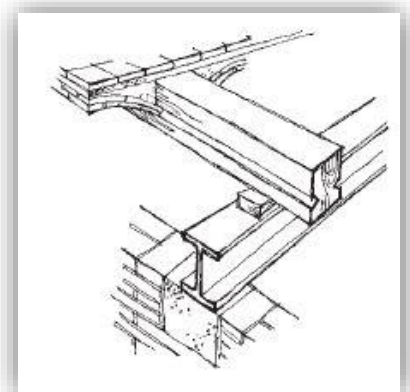


Figure 3.31 : pose de montants intermédiaires.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

3.2.4. Pose additionnelle de dalles en béton armé :

Cette technique est très répandue actuellement. Le principe réside dans la transformation des poutrelles d'origine en poutres mixtes, bois et béton, et offre la possibilité de distribuer les tensions de la flexion de manière coplanaire dans toutes les directions du plan du plancher en augmentant la rigidité globale de la construction, et en améliorant ainsi sa résistance au séisme. Par ailleurs, le béton ajouté améliore aussi l'isolation acoustique du plancher.

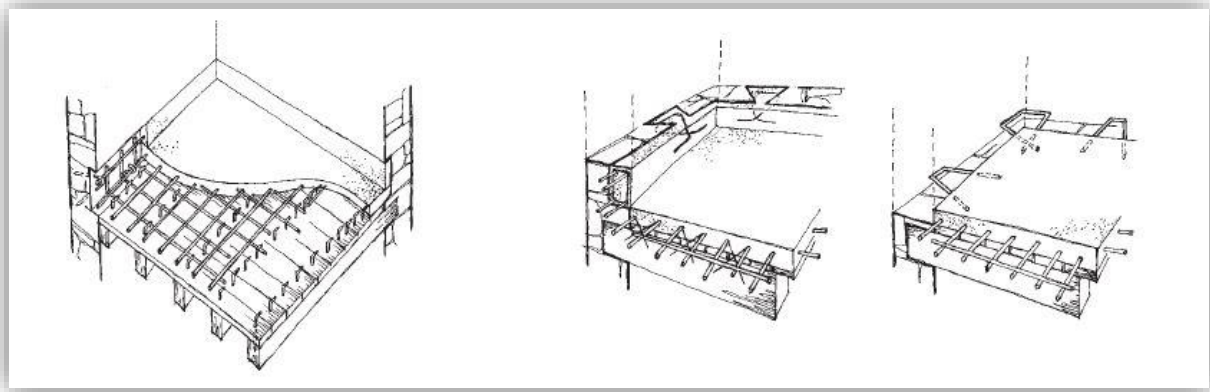


Figure 3.32 : pose additionnelle de dalles en béton armé.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

3.2.5. Interventions spécifiques sur les arcs, les voûtes et les coupoles :

Certaines solutions applicables au renfort des planchers intéressent aussi les arcs, les voûtes et les coupoles. Ainsi les tirants métalliques interviennent-ils très souvent pour étayer les

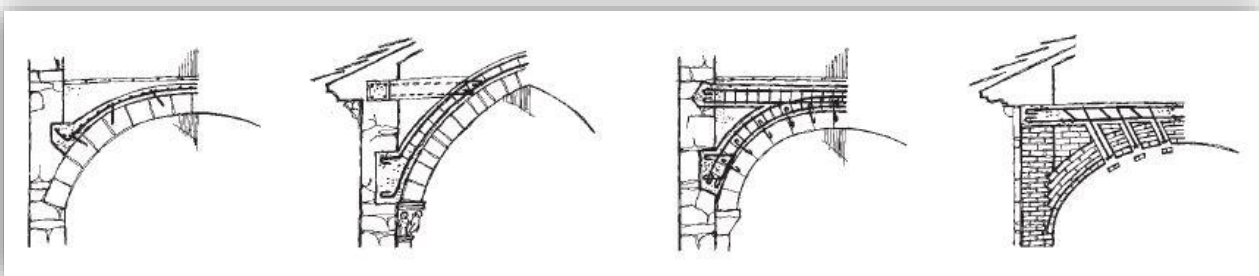


Figure 3.33 : renforcement des arcs, les voûtes et coupoles.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

arcs et les voûtes ; on les placera sur les parties tractées de l'extrados. Les arcs peuvent élargir leur chant résistant au moyen de barres d'acier introduites, en guise de taxidermie, à partir de l'intrados. Sur certaines voûtes surbaissées, les chaînages périphériques en acier ou en béton armé absorbent les poussées créées au niveau du soubassement. Quant aux dalles en

béton armé, elles peuvent renforcer les voûtes et les coupoles en les connectant sur l'extrados. Il convient néanmoins de s'interroger dans chaque cas sur l'intérêt de ces solutions, comparées à d'autres qui préservent la méthode constructive d'origine, et d'exiger comme condition sine qua non la réversibilité de l'intervention.

3.3. Interventions dans les fondations :

La décision quant au type d'intervention à entreprendre quand un bâtiment fait l'objet de problèmes découlant de mouvements du terrain requiert une connaissance du type ainsi que des caractéristiques des fondations du bâtiment, une phase de suivi de l'activité des lésions, et une autre d'information sur les caractéristiques géotechniques du terrain jusqu'à une profondeur suffisante. Ce n'est qu'après avoir obtenu l'ensemble de ces données et après cette phase d'analyse que doit être envisagé le type d'intervention à entreprendre. Ce sera précisément la nécessité ou non d'entreprendre telle ou telle action qui fera des conditions de charge de la partie solide des fondations originales ou d'amélioration du terrain l'une des décisions les plus importantes à prendre dans cette phase initiale.

Lorsque les fondations du bâtiment sont de type superficiel, ce qui constitue le cas le plus fréquent, le système le plus habituel de reprise est celui qui consiste à placer en-dessous un support un peu plus large compacté à la partie solide des fondations préexistantes. Il faut définir dans chaque cas, en fonction des caractéristiques du terrain, la fondation à renforcer, la profondeur et la largeur du nouveau support, ainsi que la longueur des tranchées d'excavation effectuées sous les fondations préexistantes.

Actuellement, il est de plus en plus fréquent d'utiliser des micro-pieux disposés certains verticalement et d'autres inclinés, qui englobent un plus grand volume de terrain afin d'absorber les efforts à la base des fondations, utilisant celles-ci comme un ensemble général.

Par contre, les systèmes fondés sur l'augmentation de la largeur de la base des fondations sont plus rares, à cause, en particulier, de la difficulté d'absorber les efforts de cisaillement au niveau des interfaces entre les nouvelles et les anciennes fondations. De la même manière, les systèmes qui utilisent des pieux conventionnels, du fait de l'énorme outillage que cela requiert, ou ceux qui visent à l'amélioration des terrains par injection de produits chimiques, valables seulement dans certains types de terrains d'une perméabilité adéquate, sont aussi inhabituels.

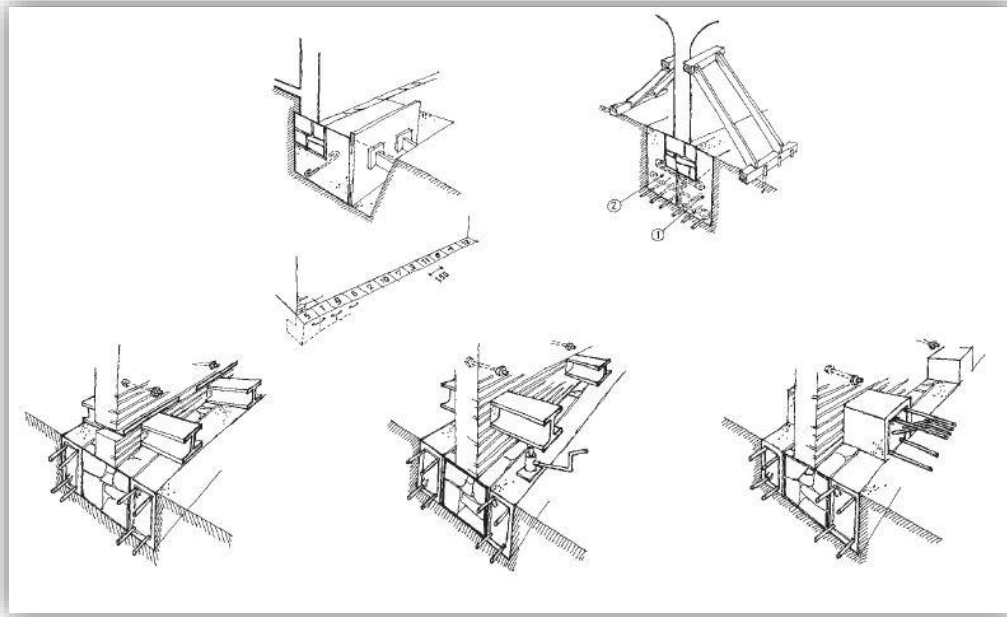


Figure 3.34 : différent type d'intervention sur les fondations.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

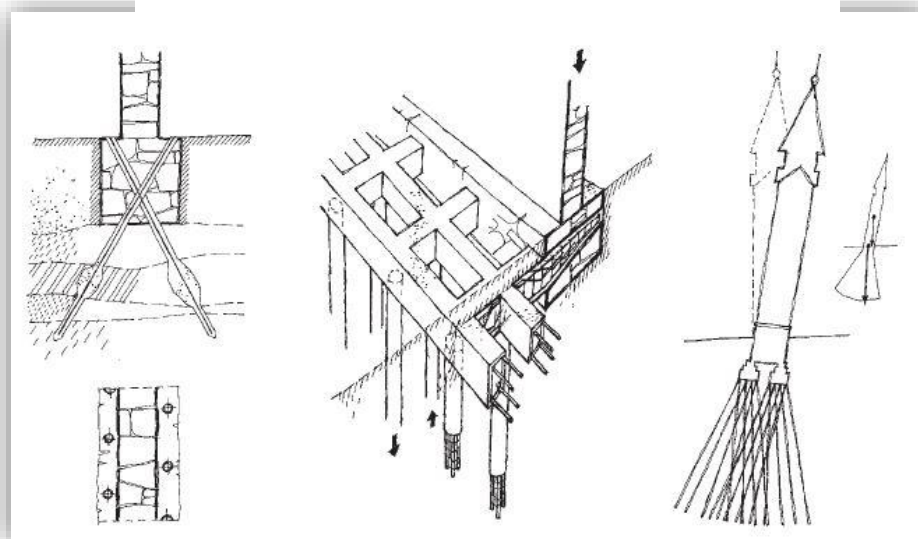


Figure 3.35 : différent type d'intervention sur les fondations.
Source : ACHAB Samia Ep CHERNAI (juin 2012)

Deuxième partie :

Cas d'étude : monographie,
analyse et interprétation.

Chapitre 01 :
*Vulnérabilité, aléa et risque
sismique en Algérie.*

Introduction :

Les tremblements de terre comptent parmi les catastrophes naturelles les plus nuisibles à l'échelle du globe. L'Algérie est frappée régulièrement par des séismes parfois importants mais souvent modérés à faibles. Les séismes modérés à fort génèrent bien souvent des catastrophes difficiles à surmonter car notre pays, à l'instar de beaucoup d'autres, reste encore mal préparé pour affronter de tels cataclysmes.

Ces menaces sismiques peuvent être meurtriers et engendrer des dégâts considérables, à l'image de ceux survenus en 1716 à Alger (20 000 morts), en 1790 à Oran (3000 morts) et plus récemment, notre pays a énormément souffert des conséquences dommageables de 3 très destructeurs séismes dont celui d'El Asnam en 1980 de magnitude 7.2, celui de Tipaza en 1989 de magnitude 6.2 et le séisme de Boumerdes du 21 Mai 2003, qui a occasionné des dégâts sur la population et l'économie du pays.

1. Qu'est-ce qu'un séisme ?

Un séisme correspond à une série de vibrations (ondes) plus ou moins fortes du sol engendrées par une rupture brutale des roches constituant la croûte terrestre ou océanique.

Cette fracturation est engendrée par l'activité des failles, activité initiée par les mouvements de convection de la lithosphère. En fonction de la profondeur du foyer à l'origine de la rupture et de l'intensité de cette dernière traduite sous forme d'énergie libérée (magnitude), les ondes sismiques se propagent dans le sol et peuvent être ressenties à sa surface. A profondeur équivalente, plus la magnitude est élevée, plus les effets du séisme en surface (intensité



Figure 4.1 : schéma sismotectonique de la méditerranée.

Source : Guide de bonnes pratiques : Recueil des expériences mises en œuvre dans les Pyrénées pour la prévention du risque sismique.

macrosismique) seront violents. Un séisme est décrit par une secousse principale, laquelle peut être précédée par des chocs précurseurs, ou éventuellement suivie de répliques.

2. Caractéristiques d'un séisme :

Un séisme est caractérisé par :

- 2.1. **Son foyer (ou hypocentre) :** C'est l'endroit de la faille où s'initie la rupture et d'où partent les premières ondes sismiques.
- 2.2. **Son épicentre :** point situé à la surface terrestre à la verticale du foyer.
- 2.3. **Sa magnitude :** elle traduit l'énergie libérée par le séisme et se calcule à partir des différents types d'ondes sismiques enregistrées par les instruments. L'échelle de magnitude la plus connue est celle de Richter.
- 2.4. **Son intensité :** qui caractérise la sévérité de la secousse au sol en fonction des effets et dommages du séisme en un lieu donné. Ce n'est pas une mesure par des instruments, mais une appréciation de la manière dont le séisme est perçu en surface (effets sur les personnes, les biens, les dommages aux bâtiments, etc...).
- 2.5. **La fréquence et la durée :** du mouvement oscillatoire du sol soumis à un séisme : ces 2 paramètres ont une incidence fondamentale sur les effets en surface.
- 2.6. **La faille activée :** est le plan de rupture qui divise un volume rocheux en deux compartiments, le long duquel les deux compartiments glissent l'un par rapport à l'autre.

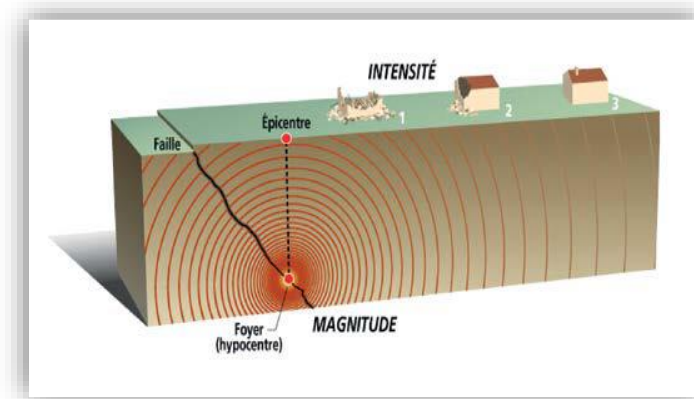


Figure 4.2 : Caractéristiques d'un séisme –

Source : MEDDE

3. Vulnérabilité et risque sismique des bâtiments :

Tous les bâtiments situés dans des zones de sismicité importante sont sujets à des risques divers en cas d'un séisme. La connaissance de ces risques est primordiale à l'heure d'établir un plan d'urgence. C'est pourquoi la vulnérabilité sismique des bâtiments existants joue un rôle important puisque c'est à partir de cette étude que des mesures et un plan d'urgence pourraient être établis. Une étude de la vulnérabilité sismique des bâtiments doit permettre l'évaluation de la vulnérabilité essentielle de la résistance des bâtiments mais aussi doit permettre d'estimer l'impact qu'aurait la dégradation de tel ou tel bâtiment si celui-ci fait partie des bâtiments dits « stratégiques ».

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

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

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

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

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

4. Effets d'un séisme sur un bâtiment : Comportement des constructions en maçonnerie :

Les essais de déformation de maquettes sur table vibrante des constructions en maçonnerie traditionnelles n'étant pas conçues et réalisées en respectant les règles de construction parasismique montrent sa vulnérabilité face aux poussés horizontales que provoque un séisme. En fait et lorsqu'un mur de maçonnerie est soumis aux poussées horizontales violentes d'un séisme, les lits de mortier n'arrivent pas à assurer une cohésion satisfaisante entre les blocs qui se disloquent, même pour des déformations modérées du mur. Par ailleurs, ces blocs de maçonnerie eux-mêmes, contrairement au béton armé, n'acceptent pratiquement pas de déformation sans rompre, soit de ces blocs très rigides, soit plus fréquemment du mortier de liaison qui constitue le lieu de ruptures fragiles. Au-delà d'un certain niveau de dislocation, le processus de ruine du bâtiment commence sous forme de rupture par dislocation et chute des blocs.



Figure 4.3 : maquette de maçonnerie sur table vibrante.

Source : revue M-TECH patrimoine.

Le comportement d'un édifice lors de secousses sismiques dépend non seulement de la stabilité d'éléments individuels structurels ou non mais aussi de la mobilisation globale de toute sa structure : planchers, toitures et murs qui fonctionnent alors comme un ensemble pour résister à ces sollicitations horizontales et à la torsion engendrée par le séisme.

En effet les phénomènes de rupture observés le plus couramment résultent :

- d'effondrement d'éléments non structurels (parapet ou garde-corps en toiture...)
- d'effondrements de murs en maçonnerie, soumis à des forces hors plan, du fait de l'absence de liaisons plancher/murs et murs entre eux et de rigidité des planchers ou toitures.

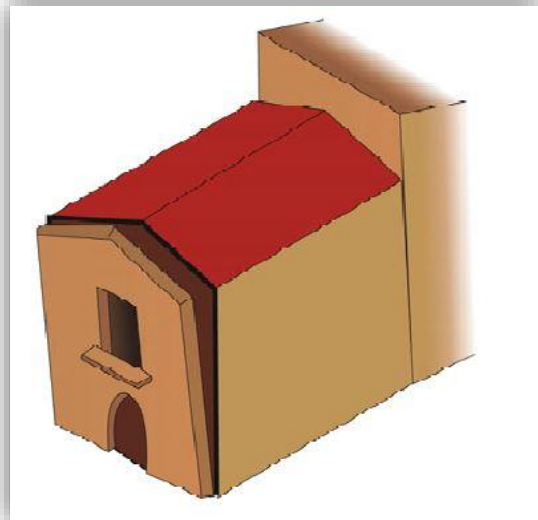


Figure 4.4 : Désolidarisation du pignon

Source : MTech Patrimonium.

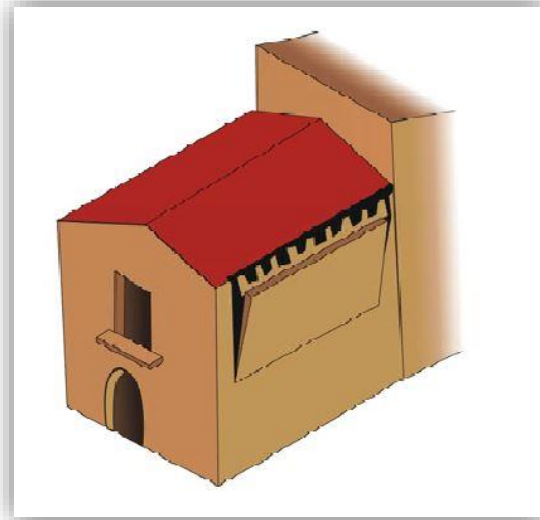


Figure 4.5 : Rupture hors plan du mur due à la poussée de la toiture.

Source : MTech Patrimonium.

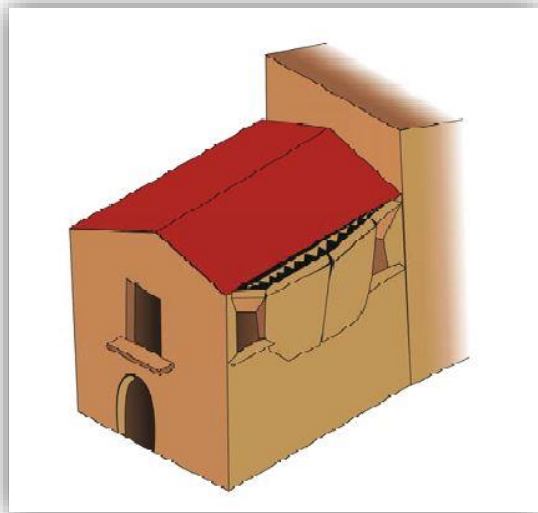


Figure 4.6 : Rupture hors plan du mur entre 2 ouvertures due à la poussée de la toiture.

Source : MTech Patrimonium.

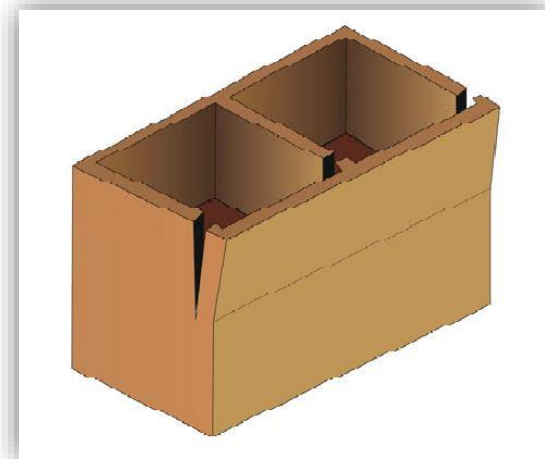


Figure 4.7 : Déversement du mur extérieur avec désolidarisation des maçonneries.

Source : MTech Patrimonium.

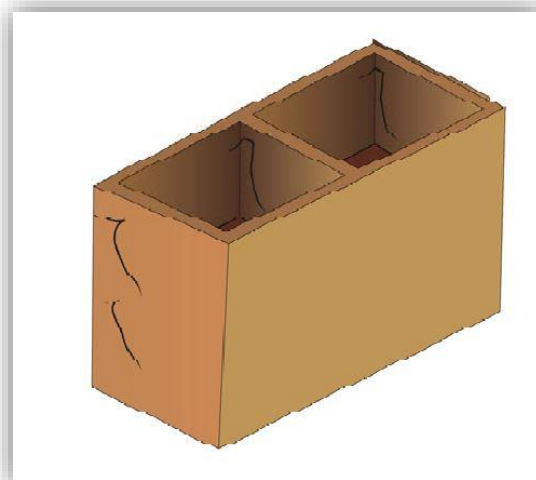


Figure 4.8 : Fissuration due à la flexion et au cisaillement dans les maçonneries parallèles à l'action sismique.

Source : MTech Patrimonium.

5. Situation sismique en Algérie :

5.1. Activité sismique en Algérie du nord : L'activité sismique en Algérie se concentre essentiellement dans la région Nord du pays quoique de façon très épisodique, quelques micro secousses sont enregistrées dans la partie saharienne. Dans la région Nord, la région tellienne est la plus active. Le zonage effectué indique que les régions d'El Asnam, Oran et Alger sont les régions les plus menacées puisque dans ces zones, les séismes les plus importants se sont produits. L'activité sismique en Algérie est continue puisqu'elle se produit tout le long de l'année.

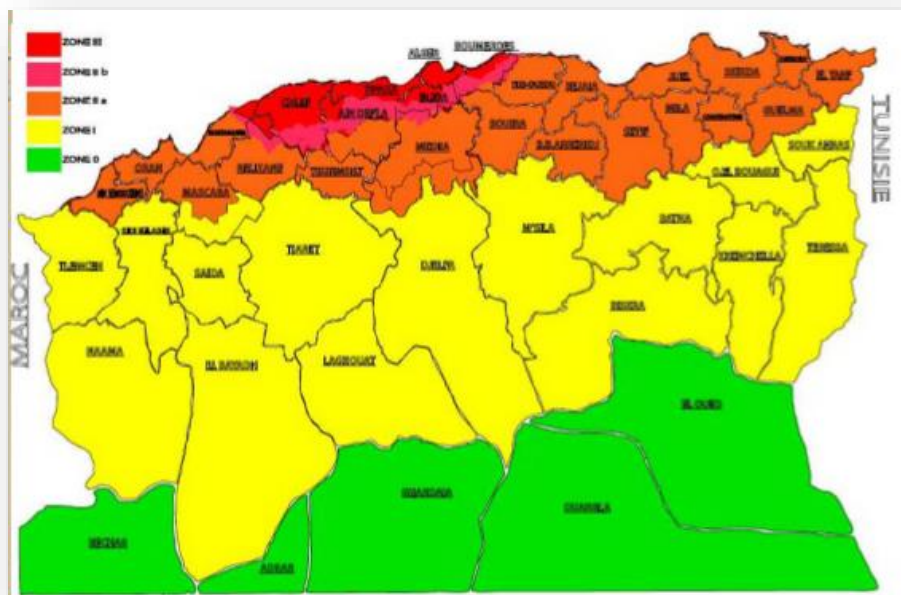


Figure 4.9 : classification des zones sismiques.

Source : RPOA 2008.

Il faut aussi noter que chaque mois, il se produit environ une cinquantaine de micro secousses en général non ressenties par la population. Tous les deux mois environ se produit un séisme de magnitude supérieur à 3.5. On remarque également que l'activité sismique est plus intense dans la région Est du pays que dans les régions Centre ou Ouest.

Ces séismes qui se produisent en Algérie du Nord sont causés par l'affrontement des plaques tectoniques Africaine et Eurasiatique.

5.2. Caractéristiques de la sismicité en Algérie :

Au cours de ces deux dernières décennies, plusieurs séismes importants (séisme d'El Asnam, de Constantine, de Tipaza, de Mascara, de Ain Benian ; de Ain Temouchent, de Beni Ourtilane, Boumerdes-Alger) se sont produit.

L'étude de ces séismes récents a permis de préciser considérablement les caractéristiques des séismes qui se produisent en Algérie. C'est ainsi, que nous pouvons affirmer que les séismes qui se produisent en Algérie sont en général faibles à modérés atteignant parfois la magnitude 6.0. Dans de rares cas, ils peuvent être violents comme ce fut le cas à El Asnam ; ce séisme est d'ailleurs considéré comme le plus important qu'est connu la Méditerranée Occidentale.

Les séismes algériens sont d'autre part superficiels ne dépassant pas en profondeur les 15 km, ce qui les rendent plus perceptibles par la population et donc plus dangereux. Leur faible profondeur témoigne également de l'absence de zone de subduction.

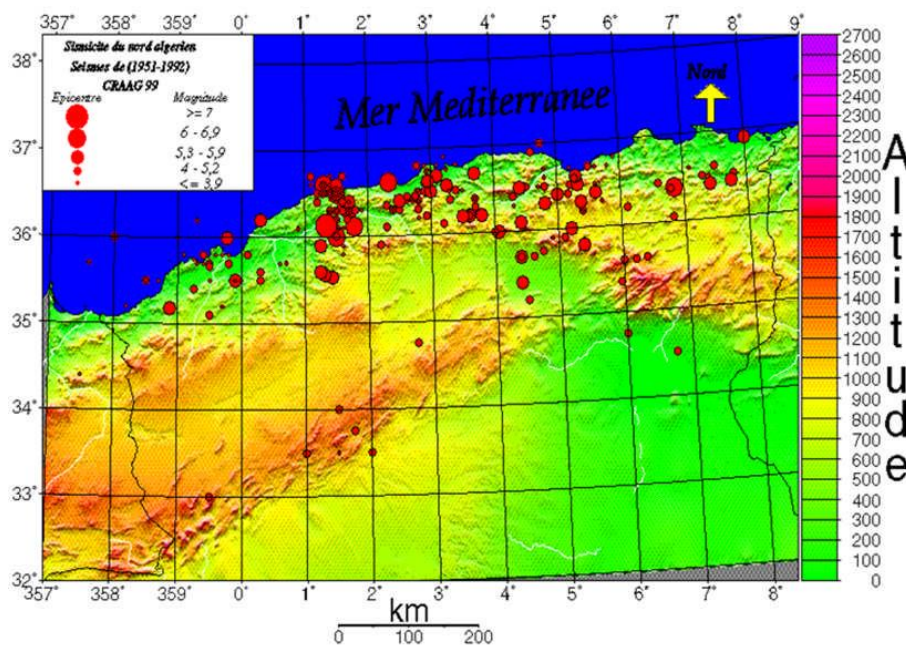


Figure 4.10 : carte de la sismicité en Algérie.

Source : Atelier International de Formation sur les Risques Majeurs et les Catastrophes Naturelles : les séismes en Algérie du nord.

5.3. Aléa sismique :

Pour estimer l'ampleur de la sismicité dans une région donnée, l'évaluation de l'aléa sismique s'impose. L'aléa correspond à la probabilité d'occurrence d'un événement sismique avec un niveau d'accélération donnée pour une période de retour.

Pour une période de 475 ans, on s'aperçoit que le niveau d'accélération le plus important se situe dans la région de Chleff où des niveaux d'accélération de 0.5 g peuvent se produire.

Dans la région algéroise suite à l'occurrence du séisme de Boumerdes des niveaux de 0.25g sont à envisager. Si la région tellienne correspond ainsi à la région où l'aléa reste le plus élevé, plus nous nous éloignons de la région côtière et plus les niveaux d'accélération probables sont plus faibles.

Conclusion :

L'Algérie, et plus particulièrement le nord algérien est situé dans une zone sismique plus ou moins active, et comme plusieurs pays dans le monde, a payé de lourdes conséquences lors des séismes ayant frappé certaines villes dans les années précédentes.

Chapitre 02 :

*Cas d'étude, analyse et
diagnostic.*

1. Choix du cas d'étude et du thème de recherche :

Le choix de la réhabilitation structurelle comme thème de recherche n'est pas dû au hasard, il est le résultat d'une réflexion approfondie et d'observations ciblées de la situation actuelle du métier, notamment dans notre pays, qui souffre d'une méconnaissance ressentie sur terrain dans la pratique de la réhabilitation et des techniques d'intervention sur le vieux bâti.

Le choix de ce cas d'étude n'est pas aléatoire, mais bien pour des raisons diverses : En premier, l'importance du bâtiment d'un point de vue architectural et historique, la villa en question a été classé monument historique, elle a fait l'objet d'étude de plusieurs thèmes de recherche que ce soient magister, doctorat ou autres, et qui peuvent contribuer à l'orientation de cette recherche. En seconde lieu, c'est un choix imposé du fait que, et comme nous l'avons déjà signalé, cette villa



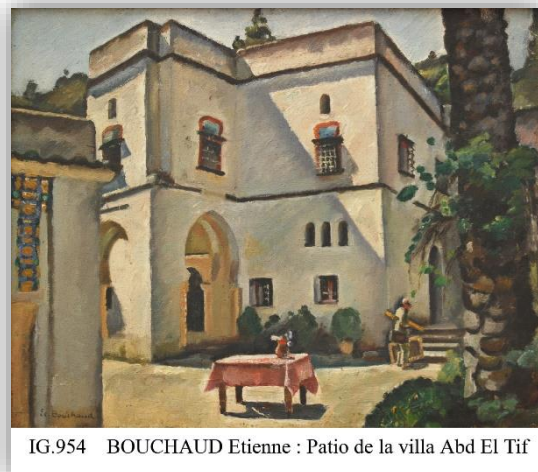
Figure 5.1 : maquette générale de l'ensemble de la demeure.

Source : l'auteur.

demeure parmi l'une des rares de son genre qu'ont eu cette chance d'être réhabilitées et l'un des palais témoins du savoir-faire et des techniques de construction de la période ottomane. Finalement, La situation du bâtiment ici sur Alger à une distance de notre école relativement courte, donc question de proximité, est un facteur favorable, d'où nous pouvons y aller à tout moment et ne nous trouverons pas de difficultés de s'y rendre pour diagnostiquer et vérifier les acquises théoriques évoquées dans la partie qui précède.

2. Présentation historique de l'ouvrage :

La présente recherche est avant tout un travail de monographie dont l'objectif est de connaître l'édifice dans ses aspects formels, spatiaux, fonctionnels et constructifs, et de prendre conscience de sa valeur et son importance. Pour une connaissance meilleure d'un bâtiment n'importe, il est inévitable de faire une place à l'histoire et aux différentes strates de son édification.



IG.954 BOUCHAUD Etienne : Patio de la villa Abd El Tif

Figure 5.2 : tableau de peinture de la villa.

Source : Google image.

Dans un article publié sur Algérie presse service, on décrit à la perfection, la villa et son évolution à travers le temps : « *Dar Abdellatif, demeure de style arabo-mauresque, est située sur les hauteurs de Mohamed-Belouizdad, dans l'ancien Fahs du Hamma (domaine de campagne) qui entourait la ville d'el Djazaïr durant l'ère ottomane aux côtés de ceux de la partie basse de Bouzaréah et du centre (Sidi M'hamed, Bir-Mourad-Raïs jusqu'à Draria).*

Abritant actuellement l'Agence algérienne du rayonnement culturel (AARC), la construction de la villa Abdellatif remonte au 17ème siècle.

La résidence comprenait, à sa construction, une demeure principale, une cour-jardin limitée par une Douéra et un portique. Des années plus tard, on y ajouta le "riyad" avec son bassin, puis d'autres dépendances aux 18ème et 19ème siècles. Pour ce qui est de l'architecture de la villa, celle-ci ressemble beaucoup à celle de la Casbah avec ses "patios" et "s'qifas" (atrium), mais se distingue par ses fenêtres donnant sur l'extérieur.



Figure 5.3 : vue générale de la villa.

Source : Google image.

La demeure tient son nom de ses propriétaires la famille Abdellatif, selon l'unique acte établi en

1795. Plusieurs dignitaires turcs l'occupèrent à l'instar de Mohamed Agha et Hadj Mohamed Khodja. En 1831 l'armée française la réquisitionne pour en faire un centre de santé allant même jusqu'à dénaturer son aspect architectural. En 1834, devant l'opposition de la famille Abdellatif, le domaine est rendu à ses propriétaires qui jouirent de leur demeure jusqu'à 1846. Celle-ci fut reprise par la suite par les autorités françaises. De 1907 à 1962, la demeure est devenue la "villa des artistes". Elle accueillait les étudiants boursiers dans le domaine de l'art, toutes spécialités confondues, (dessin, sculpture, art plastique...). Après l'indépendance, la villa devient bien de l'Etat et mise sous la tutelle du ministère de la Culture. Abandonnée à son sort, la villa s'est vite détériorée après qu'elle fut habitée par plusieurs familles jusqu'à 2003.

A la suite du séisme du 21 mai 2003, une décision a été prise pour restaurer la villa qui a subi plusieurs dommages dont la destruction du portique. L'opération de restauration a été lancée en 2006. »⁽¹⁾

(1)Dar Abdellatif : la seule demeure Fahs restaurée, Algérie Presse Service Publié dans Algérie Presse Service le 27 - 07 - 2011

3. Situation et délimitation de l'ouvrage :

La demeure se situe sur les hauteurs de Mohamed-Belouizdad, dans l'ancien Fahs du Hamma (domaine de campagne) qui entourait la ville d'el Djazaïr durant l'ère ottomane aux côtés de ceux de la partie basse de Bouzaréah et du centre (Sidi M'hamed, Bir-Mourad-Raïs).

Située au bois des arcades, juste au-dessus du jardin d'essai et à proximité du musée des beaux-arts et l'institut Pasteur. Voisine de Riadh El Feth.



Figure 5.4 : situation de la villa par rapport à Alger la capitale.

Source : Google earth traité par l'auteur.

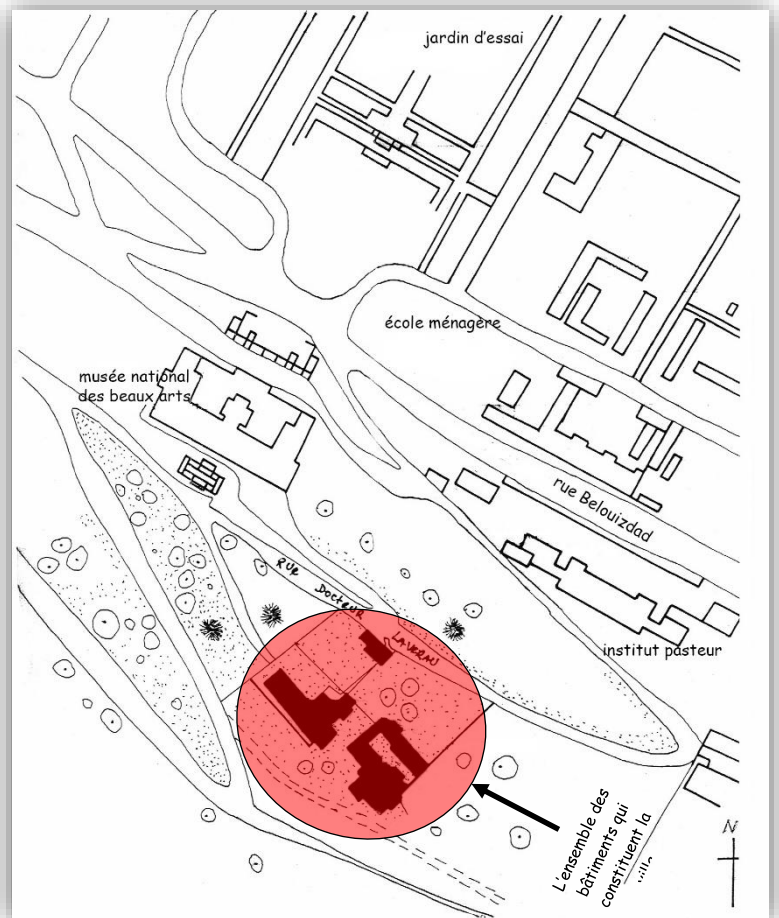


Figure 5.6 : plan de masse de la demeure et ses bâtiments constitutifs.

Source : l'auteur.



Figure 5.5 : situation de la villa par rapport à son environnement immédiat.

Source : Google Earth.

4. Présentation formelle et fonctionnelle :

La villa est principalement composée, en plus du jardin, de quatre blocs dont la villa principale, un bâtiment abritant cinq ateliers, un petit pavillon ou le Riad et trois appartements. Dans ce qui suit nous allons intéresser juste au bâtiment de la villa principale qui a fait objet de réhabilitation.

Le bâtiment principal de la villa abd el tif a été conçu sur les mêmes principes des habitations de la casbah, il se développe sur trois niveaux et deux entre sols :

Le premier niveau, ou niveau des communs, donne sur une cour rectangulaire fermée. L'accès à la villa et à cette cour se fait par un porche d'entrée A, il est porté par deux gros piliers et 12 colonnes en tuf torsadées supportant à leurs tour des arcs brisés outrepassés. Ce porche

d'entrée vouté d'arête donne sur un vestibule (la sqifa) B doté de quatre portes donnant accès aux différentes pièces de services C, ces pièces qui constituent la villa sont voutées en berceau.

Au fond du vestibule, un escalier D à succession de voutes d'arête permet l'accès d'abord au premier entre sol situé à un niveau intermédiaire entre les deux niveaux du bâtiment, cet espace qui devait être un bain (hammam) subdivisé en trois sous espaces E et F et G dont les planchers sont à voute d'arête et à coupole.

Le 2ème niveau, ou niveau de résidence, est organisé autour du patio au-dessus des voutes des communs. Des chambres H au nombre de trois, longues et étroites

s'organisent autour d'une galerie I à trois arcades portées par des colonnes en tuf, ces pièces sont éclairées par des ouvertures qui donnent directement sur le patio.

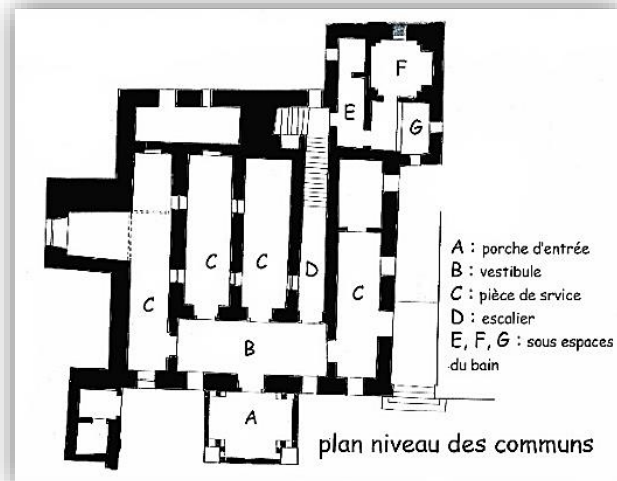


Figure 5.7 : plan niveau des communs.

Source : restitué par l'auteur.

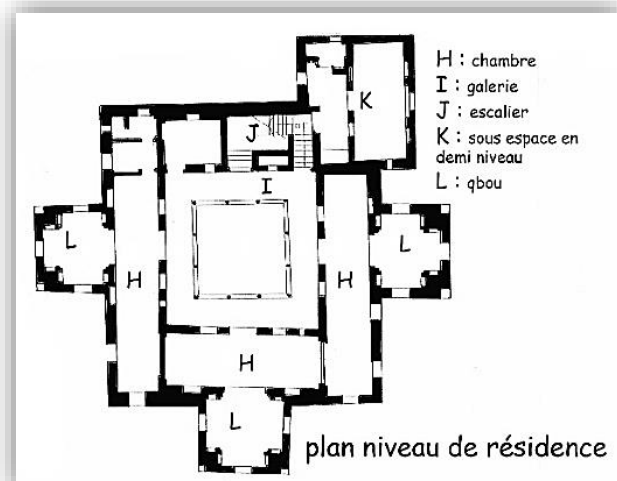


Figure 5.8 : plan deuxième niveau (niveau de résidence).

Source : restitué par l'auteur.

Le deuxième demi-niveau est accessible par une volée d'escalier J, il se compose de trois sous espaces K surmontent le hammam et constituant un appartement dont le plancher est en rondins.

Deux autres petits appartements M, N subdivisés en sous espaces et qui se situent au troisième niveau, ce niveau est accessible par un escalier L qui débouche sur une terrasse accessible recouvrant les pièces de l'étage d'en dessous.

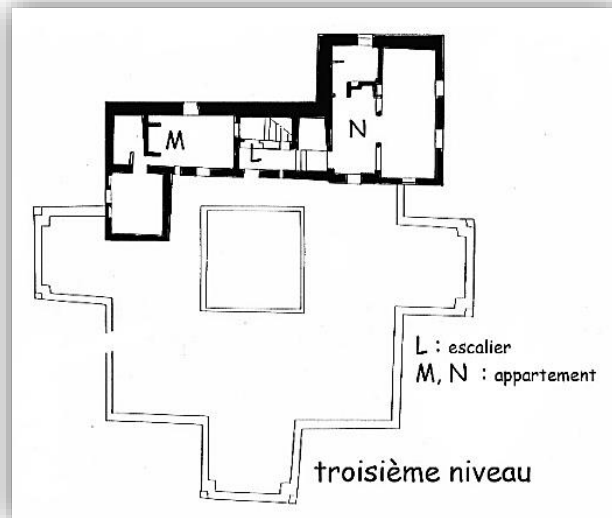


Figure 5.9 : plan du troisième niveau.
Source : restitué par l'auteur.

5. Données géométriques de l'ouvrage :

En plan, la villa est composé par juxtaposition et imbrication de formes géométriques basiques dont un carré principal constituant le cœur du bâtiment adossé de ces côté droit, gauche et d'avant de trois autre rectangles identiques (les sqifas) formant ainsi une géométrie symétrique, un autre volume de forme rectangulaire vient s'imbriquer sur l'angle droit d'en haut du carré de base brisant cette symétrie et favorisant ainsi l'irrégularité de la forme en plan.

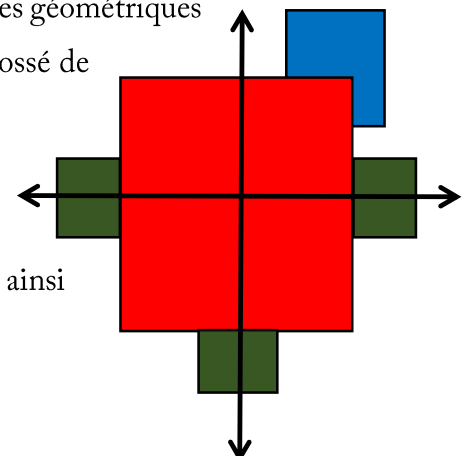
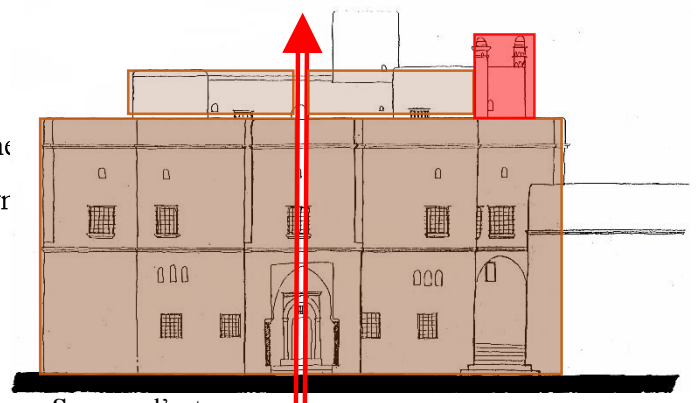


Figure 5.10 : schéma de la géométrie en plan de la villa.
Source : l'auteur.

- Longueur total -.-.-.-.-.L = 24.15 m.
- Largeur total -.-.-.-.-.B = 22.50 m.
- Hauteur totale -.-.-.-.-.HT = 16.90 m.
- Hauteur de l'acrotère -.-.-.-.Ha = 1.70 m.
- Hauteur d'étage -.-.-.-.-.Hé = 5.00 m.
- Hauteur du RDC -.-.-. HRDC = 5.30 m.

En élévation, les façades sont aussi pratiquement hamмам sur l'angle droit d'en haut favorise l'asymétrie en façade.



Source : l'auteur.

6. Description structurelle et des matériaux de construction de l'ouvrage :

6.1. **Fondations** : les soubassements utilisés sont traditionnels, formés avec des semelles continues en maçonnerie, rigides qui assurent l'équilibre même de l'ouvrage, peu profonds avec une épaisseur de 80 à 120 cm, et de même largeur ou sensiblement supérieurs à ceux du mur.

6.2. **Murs** : les murs de la bâtisse sont entièrement en maçonnerie constituant ainsi un système structural de murs porteurs en pierre, un type de structure peu adapté aux spécificités de la zone en question.



Figure 5.12 : vue sur la maçonnerie des murs de la villa avant réhabilitation.

Source : Louhal Noureddine.

6.3. **Ouvertures** : Les portes sont de grands et hauts vantaux de bois rectangulaires, lourds et finement travaillés, elles sont à panneaux sculptés et les fenêtres sont toutes de forme carrée, entourées d'un cadre en carreaux de faïence, elles sont grillées de barreaux qui se coupent à angle droit.



Figure 5.13 : vue sur des ouvertures après réhabilitation de la villa.

Source : l'auteur.



Figure 5.14 : vue sur fenêtre après réhabilitation de la villa.

Source : l'auteur.

6.4. **Enduits et revêtements** : les enduits sont à base de chaux et de sable, on trouve ainsi des revêtements de sol et de murs qui sont à base de marbre et de la faïence.



Figure 5.15 : vue sur un revêtement de sol après réhabilitation de la villa.
Source : l'auteur.



Figure 5.16 : vue sur un revêtement d'escalier après réhabilitation de la villa.
Source : l'auteur.

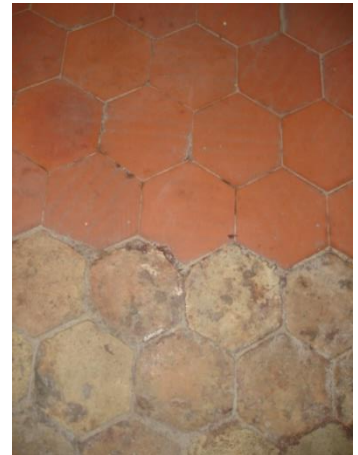


Figure 5.19 : vue sur un revêtement de sol après réhabilitation de la villa.
Source : l'auteur.



Figure 5.17 : vue sur l'enduit et les faïences des arcades extérieures après réhabilitation de la villa.
Source : l'auteur.



Figure 5.18 : vue sur un revêtement de sol après réhabilitation de la villa.
Source : l'auteur.

6.5. **Plancher** : les couvertures des différents niveaux de la villa sont des planchers en bois, certains espaces sont couverts par des coupoles à voutes d'arête ou en berceau.



Figure 5.20 : vue les rondins d'un plancher de la villa.
Source : l'auteur.



Figure 5.21 : vue d'extérieur sur un plancher de la villa.
Source : l'auteur.



Figure 5.22 : vue de la toiture terrasse et des coupoles qui couvrent les planchers de la villa.
Source : l'auteur.

6.6. **Escalier** : les escaliers dans la ville sont à voutes d'arrêtes revêtus de marbre, ils conduisent au patio, à l'étage, hammam et à la grande terrasse accessible.



Figure 5.23 : vue sur escalier.
Source : l'auteur.



Figure 5.24 : vue sur un escalier vouté.
Source : l'auteur.

7. Qualification et catégorisation de l'édifice :

C'est un indice qui dépend de plusieurs paramètres qui diffèrent selon les stratégies utilisées et les classements considérés, dans notre cas cet indice peut toucher trois paramètres essentiels qui sont la valeur historique, le type d'usage et la catégorisation sismique.

7.1. **La valeur historique** : la villa est un édifice à grande valeur patrimoniale classé monument historique et patrimoine international, cette catégorisation est justifiée par de plusieurs facteurs cités à plusieurs reprises dans ce travail entre autre sa situation privilégiée, sa richesse historique et son architecture prestigieuse.

7.2. **Le type d'usage** : abritant actuellement l'Agence algérienne du rayonnement culturel (AARC), cette demeure ouvre ces portes à un public large qui festoie des activités culturelles par des évènements à l'échelle nationale voire même internationale.

Selon la catégorisation française de l'agence qualité construction (qui figure dans renforcer le bâti existant en zone sismique publiée en 2011) la villa est classée en catégorie d'importance III, un bâtiment à risque élevés pour les personnes.

7.3. **La catégorisation sismique** : Selon la classification du règlement parasismique Algérien (RPA, 2003), le bâtiment en question est classé dans **GROUPE 1A**, il est classé parmi les ouvrages d'importances vitales.

8. réhabilitation de la villa :

8.1. Travaux effectués :

A la suite du séisme du 21 mai 2003, une décision a été prise pour réhabiliter la villa qui a subi plusieurs dommages dont la destruction du portique. L'opération de réhabilitation a été lancée en 2006, cette restauration, qui a duré 24 mois, a touché la demeure principale, sa douéra, son ryadh, ses portiques, libérant l'ensemble des constructions anarchiques initiées par les divers squatters. En fait elle a connu trois phases initiales :

- La première phase a consisté en la suppression des constructions rajoutées par l'occupation coloniale et tout ce qui a porté préjudice à la villa.
- La deuxième phase a été celle des travaux de confortement (poutres, murs de soutènement, fissures...).
- La troisième phase a porté sur l'aspect esthétique de la villa (marbre, revêtement du sol, etc.).

Ceux-ci s'inscrivent dans le cadre d'un plan de sauvegarde et de préservation du patrimoine historique initié par le ministère de la culture, circonscrivant toutes les demeures illustres du fahs abandonnées de la capitale dans un état de déliquescence.

Cette réhabilitation, au vu d'une étude réalisée par un bureau d'études national, porte sur l'assainissement, l'étanchéité, le revêtement des sols et des murs ainsi que sur les corps d'état secondaires, notamment la plomberie sanitaire, la menuiserie bois et aluminium, l'électricité, la peinture et la vitrerie.

Cette intervention architecturale a pris en charge la stabilisation des désordres



Figure 5.25 : vue sur un portique de la villa en cours de réhabilitation.

Source : Google image.

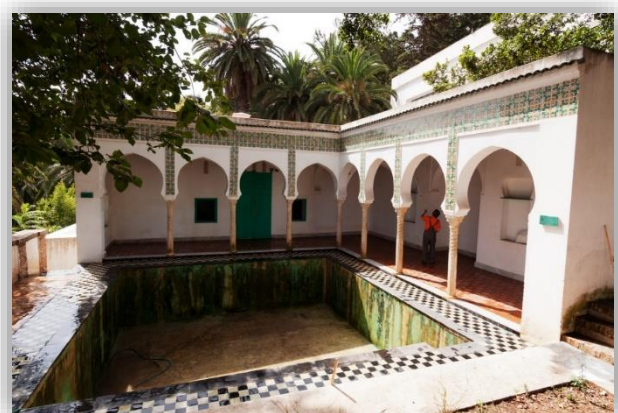


Figure 5.26 : vue sur un portique de la villa après sa réhabilitation.

Source : Google image.

statiques, la réfection des planchers, la restauration et la restitution de la faïence ainsi que le revêtement des sols, et tous les travaux de menuiserie.

De visu, la villa a retrouvé sa fraîcheur avec ses fameuses céramiques aux tons vifs, ses galeries en arcades, ses escaliers de marbre et ses colonnes en tuf. Au cours de ces multiples travaux, un système d'irrigation, supposé de l'époque ottomane, complètement enfoui sous les décombres, a été découvert par l'équipe d'architectes restaurateurs et archéologues.

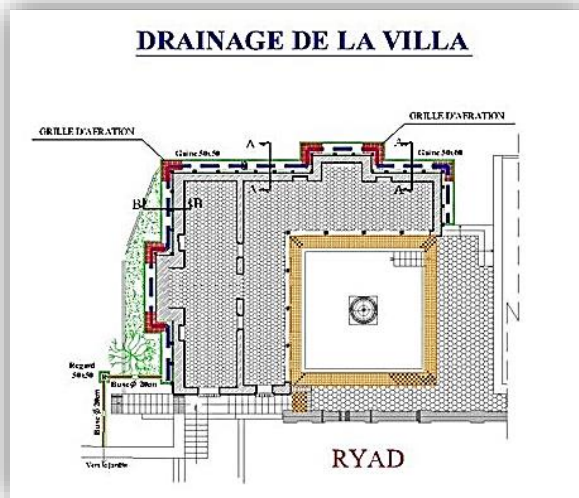


Figure 5.27 : drainage de la villa après réhabilitation.
Source : Google image.

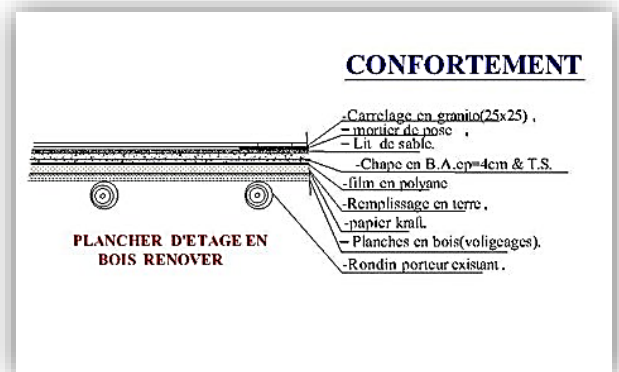


Figure 5.28 : confortement d'un plancher d'étage en bois rénové.
Source : Google image.

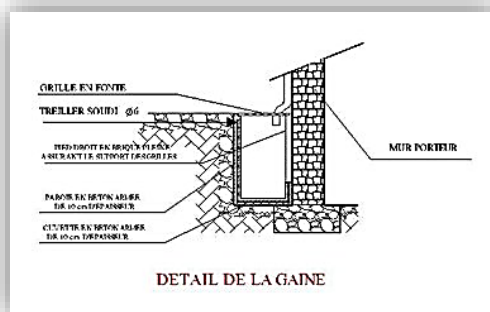


Figure 5.29 : détail d'une gaine.
Source : Google image.

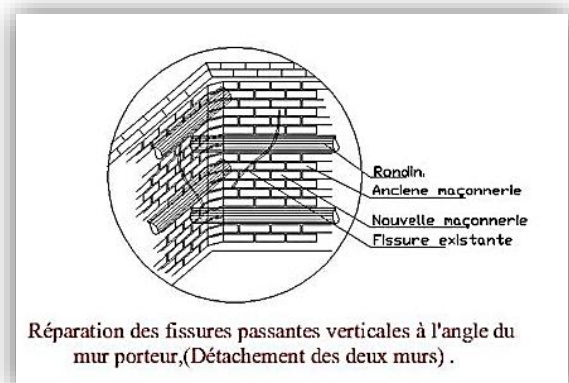


Figure 5.30 : détail confortement d'un mur de la villa.
Source : Google image.

8.2. Critères :

La villa se trouve actuellement, et après sa réhabilitation, dans un bon état, sauf quelques défauts de la mauvaise mise en œuvre, par contre et en terme de durabilité, cette villa présente des défaillances remarquables.



Figure 5.31 : fissurations superficielles dans un mur d'arcade.
Source : l'auteur.



Figure 5.32 : fissurations superficielles dans l'acrotère.
Source : l'auteur.



Figure 5.33 : fissurations superficielles dans une coupole couvrant la toiture.
Source : l'auteur.



Figure 5.34 : fissurations superficielles dans des arcatures d'ouverture.
Source : l'auteur.

Il est à souligner que en terme de confort la villa ne trouve pas ses caractéristiques d'origines d'où la nécessité de revoir les matériaux utilisés lors de la réhabilitation et bien précisément les revêtements.

9. Vulnérabilité de l'édifice vis à vis le risque sismique :

L'Algérie est un pays qui se trouve en zone de convergence de plaques tectoniques, d'après les derniers recensements il est classé parmi les pays à forte sismicité, ce pays a connu à travers l'histoire plusieurs secousses destructives qui l'ont frappées entièrement et son nord bien particulièrement.

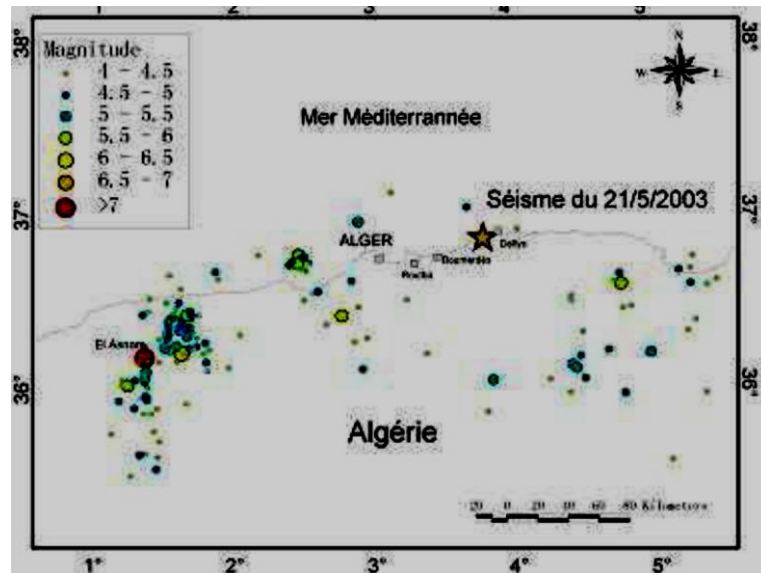


Figure 5.35 : la sismicité enregistrée en Algérie depuis 1973.
Source : RPA, 2003.

D'après la carte (**figure 5.35**) nous remarquons la concentration des secousses sismiques sur le nord algérien et surtout le nord-ouest et le centre qui englobe la capitale et ses alentours. Tenant compte de sa situation au cœur d'Alger, notre cas d'étude court un vrai risque classé majeur et qui peut provoquer de graves dommages qui peuvent finir par la défection de l'ouvrage tout entier ou de quelques parties de celui-ci, comme ça était le cas lors du dernier séisme qui a affecté Boumerdes en mai 2003.

Conclusion :

D'après cette présentation de l'édifice, son environnement et les différents risques dont il est exposé, il nous est apparu qu'une évaluation de cet édifice face aux risques sismiques s'impose. De ce fait, et dans le chapitre qui suit, nous allons aborder ce sujet avec détails et proposer par la suite, s'il est nécessaire, des recommandations de renforcement face à ce paramètre essentiel.

Chapitre 03 :
*Analyse et interprétation des
résultats obtenus et les solutions
préconisées.*

Introduction :

Dans ce chapitre nous allons appliquer une méthode d'évaluation cités dans le chapitre 02 de la première partie de ce travail, il s'agit de la méthode d'évaluation sismique AFPS qui se présente sous forme de grille d'évaluation qualitative, elle prend essentiellement référence des éléments suivants : **architecture, structure, dispositif constructif, du site et de l'environnement bâti.**

Après cette évaluation, il est à donner dans le cas échéant des recommandations et des solutions les plus judicieuses pour mieux sauvegardé ce legs patrimonial.

1. Application de la méthode AFPS :

Propriétaire du bâtiment : direction de la culture de la wilaya d'Alger.

Dénomination et adresse du bâtiment : siège de l'agence algérien du rayonnement culturel.

Année de construction : XVIIe siècle.

Date du diagnostic : 14/11/2015.

Auteur du diagnostic : BADACHE Hossem.

| | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|--|--|---|--|--|-----------|
| A Implantation du bâtiment | 1 Pente générale du terrain > 40 % 5 | | 2 Proximité d'un changement de pente D < 2H du bâtiment 15 | | Observations 5 | | | | |
| B Environnement du bâtiment | 1 Bâtiments accolés : joint = 0 ou rempli d'un matériau 25 | | 2 Jointes entre blocs adjacents < 2 cm 2 à 4 cm > 4 cm 25 10 5 | | 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 | 15 |
| D Forme en plan | 1 Irrégulière 5 | | 2 Elancement en plan L/l > 4 5 | | 3 Parties saillantes ou rentrantes 5 | | | 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 | 10 | |
| 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) | 5 | | |
| G Zones ou éléments critiques | 1 Descente de charge en baionnette 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 | 0 |
| | 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 | 0 | | |
| 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 | 15 | | | |
| Total des pénalités | | | | | | 60 | |

2. Commentaire et récapitulatif des résultats obtenus :

Les résultats de cette évaluation nous donne un coefficient K tel que : $K=60$ ($50 < K < 100$). De ces résultats il sort que cet édifice d'étude est exposé à un risque de **présomption à forte vulnérabilité**. Il est à noter que lorsque ce coefficient K dépasse les 50, et d'après les règles de cette méthode, une analyse sismique plus profonde et plus complexe par des spécialistes en génie civile du bâtiment est recommandée, et ce par toute méthode scientifiquement établie et validée par l'expérience (CETE & BRGM, 2008).

D'après les résultats de cette évaluation et du chapitre précédant nous constatons que notre cas d'étude, et malgré sa réhabilitation, présente une forte vulnérabilité vis-à-vis le risque sismique, cette vulnérabilité est justifié par plusieurs paramètres qui sont liés essentiellement à :

- l'environnement du bâtiment : la situation de l'édifice sur les hauteurs d'Alger, en Algérie du nord, une zone a forte activité sismique.
- Données géométriques et type de structure de l'ouvrage : structure en maçonnerie avec irrégularité en plan et en façade.

- Qualification et catégorisation de l'édifice : une demeure patrimoine internationale qui reçoit du public, classée une œuvre d'importance vitale par le RPA.
- Résultats de l'étude de présomption de vulnérabilité (méthode AFPS) : $K = 60$, risque de présomption à forte vulnérabilité.

Il est à signaler qu'il est difficile de réduire ce degré de vulnérabilité en intervenant indépendamment sur chaque facteur de cette méthode d'évaluation (AFPS) appliquée, surtout lorsqu'il s'agit d'un tel édifice d'une telle valeur patrimoniale, chose qui nous pousse à chercher d'autres solutions plus maniables pour faire face surtout à ce risque sismique tout en gardant le cachet historique et les caractéristiques d'origine de cette demeure.

3. Quelle stratégie à adopter :

La réduction de la vulnérabilité et la sauvegarde d'un tel édifice peut essentiellement suivre l'une ou les deux voies suivantes : la réparation ou le renforcement. D'après l'analyse de l'intervention effectuée sur l'édifice, on peut considérer les travaux déjà réalisés comme étant une réparation, qui se définit par une restitution d'un niveau de service perdu. Après réhabilitation, et suite à l'application de la méthode AFPS nous constatons que l'édifice présente encore un degré de vulnérabilité élevé, chose qui nous impose de passer de la réparation au renforcement de l'édifice. Le renforcement ou le confortement est une opération plus complexe, parce qu'elle vise l'augmentation du niveau de service perdu plutôt qu'à restituer ce niveau de service surtout vis-à-vis du séisme, et ce par voie de **réhabilitation structurelle**.

Ce procédé de confortement ou de réhabilitation structurelle a pour objectifs d'atteindre un niveau de performance (non effondrement) par une augmentation appropriée de la dissipativité et plus particulièrement de la ductilité de l'ouvrage. Généralement, cette stratégie a une incidence non négligeable sur l'architecture de l'ouvrage, elle devrait être effectuée par un architecte qui est sensé agir sans défigurer cette dernière.

Deux grandes familles sont disponibles :

- Réduire le niveau des charges sismiques auxquelles l'ouvrage pourrait être exposé : elle vise à soustraire partiellement l'ouvrage à l'action sismique plutôt que de le renforcer afin qu'il résiste à des charges plus élevées.
- Améliorer le niveau de performance de l'ouvrage : il est souvent identifié à l'augmentation de la résistance mécanique de l'ouvrage, or que ce niveau de performance peut être maintenu ou amélioré par augmentation de la ductilité de l'ouvrage.

En cas de tremblement, l'agression sismique sur le bâtiment de la villa n'est pas constituée par des forces appliquées, mais par l'énergie cinétique générée lors des déplacements imposés du sol d'assise et dont l'action se traduit par des déformations de cette construction. La solution, et pour qu'il n'y ait pas de rupture d'éléments structuraux de la bâtisse, est dans l'absorption de cette énergie cinétique présente dans la construction, soit par stockage temporaire (grâce aux déformations élastiques) ou par dissipation (lors des déformations non élastiques).

À ce stade-là, nous aurons qu'à orienter notre recherche pour la proposition d'une technique qui permettra la reprise de ces efforts horizontaux et la dissipation de cette énergie cinétique et le problème de cette vulnérabilité vis-à-vis le risque sismique ne se présente plus.

4. Solutions proposées :

D'après les recherches qu'on avait faite et une comparaison des techniques existantes dans le domaine des technologies de la construction, il s'avère que la technique qui répond le plus à nos objectifs est l'amortissement. Un dispositif d'amortisseurs peut être défini comme une caractéristique d'un système structurel, qui s'oppose au mouvement en tentant à ramener le système au repos, ces amortisseurs permettent ainsi de dissiper une quantité d'énergie élevée et d'atténuer les amplitudes des oscillations sismiques. Ils convertissent l'énergie cinétique des charges externes en énergie thermique (chaleur), généralement par des déformations inélastiques ou de frottement concentré dans ces dispositifs, protégeant de ce fait les autres éléments structuraux. En fin on peut conclure la technique de contreventement avec amortissement semble être la plus appropriée pour le confortement de la villa.

Le choix du contreventement métallique amorti comme technique pour le renforcement de la villa abd el tif est justifié déjà par les données de l'ouvrage en question lui-même et par les avantages que présente cette technique à savoir :

- Elle garantit une meilleure répartition des efforts.
- C'est une structure légère sans fondations.
- les travaux sont légers.

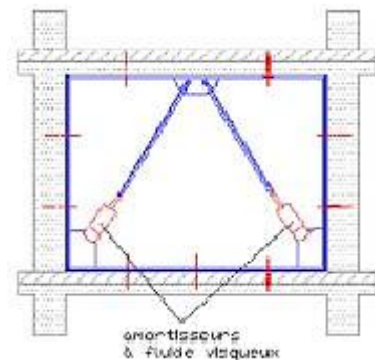


Figure 6.1 contreventement métallique amorti.

Source : cours ATTARI, N.

4.1. Dissipateurs d'énergie :

Dernièrement et suite aux catastrophes qui a connu notre planète à chaque reprise lors de sérieuses secousses sismiques qui l'ont frappées, plusieurs spécialistes du domaine se sont mouvementés pour trouver des manières d'atténuer les effets de cette menace qui touche l'homme et ses biens.

La solution étant de contreventer ces constructions vulnérables par des systèmes de contreventement qui sont de nos jours très développés. Un nouveau système a envahi ce domaine de consolidation et de renforcement du bâti, il a connu plusieurs succès à travers le monde entier, il s'agit d'un système pour la protection sismique connu sous le nom : dissipateurs d'énergie.

C'est le système de construction qui se spécialise dans le développement, la fabrication et la réalisation des épreuves de protection sismique et du matériel pour les dumpers, et qui servent pour renforcer un ouvrage neuf ou déjà existant. Le principal objectif de renforcement est de protéger les ouvrages contre les effets du séisme, mais l'invention a même trouvé une application plus large. Ce système s'utilise :

- Sur les ouvrages existants, nouveaux ou historiques pour la protection contre le séisme.
- Sur les ouvrages existants ou nouveaux squelettiques pour la protection contre les effets du séisme.
- pour la construction additionnelle des ouvrages existants.
- A part du domaine de construction des bâtiments, ce système est également utilisé pour le renforcement ou la réparation des ponts et même pour les protéger contre le séisme, le vent et les autres vibrations.
- Aussi pour résoudre les problèmes de dynamique des grands bâtiments, des ponts et des câbles électriques.

4.2. Exemple de dissipateurs d'énergie (system DC90) :

Parmi ces dissipateurs d'énergie nous trouvons celui développé par l'entreprise SYSTEM DC 90, une entreprise qui a été fondée en 2000 par son fondateur M.Zoran Petrašković, ingénieur diplômé de génie civil. L'activité principale de l'entreprise est dans l'innovation en génie sismique. Ce système est utilisée largement pour :

- la réparation, la reconstruction et la protection contre les effets du séisme à l'égard des ouvrages déjà existants et les ouvrages nouveaux.
- La réparation et la reconstruction des ouvrages endommagés par le séisme

- la construction des ouvrages d'une sécurité accrue dans les zones sismique se réalisent par un système de construction spécifique.

L'activité de l'entreprise SYSTEM DC 90 inclue aussi des travaux innovants et les travaux de recherche (les recherches, les études, les analyses), la conception, l'éducation, le transfert de technologie et de la connaissance, l'exécution démonstrative des ouvrages et les instructions, la construction des usines robotisées pour la production des amortisseurs et le laboratoire pour l'essai dynamique.



Pour ce faire l'entreprise possède son propre laboratoire pour l'essai dynamique de modèles et aussi sa propre production des éléments de construction spécifiques. Les certificats et les éprouves pour les éléments de construction sont délivrés par des institutions renommées dans ce domaine – IISSI (L'institut d'ingénierie sismique et de séismologie d'ingénierie) Skopje, Macédoine, ITM (l'Institut technique militaire) Belgrade, Serbie, IMS l'Institute, Belgrade, Serbie, La Faculté du génie civil et de la géodésie, Ljubljana, Slovénie. En coopération avec des experts éminents, les spécialistes et les ingénieurs des pays étrangers.

L'entreprise SYSTEM DC 90 avait formé un réseau, c'est le GROUPE DC 90. Les membres de ce groupe sont les représentants locaux et les agents du SYSTEM DC 90 ainsi que les consultants professionnels dans le territoire de la Serbie, le Monténégro, la Bosnie – Herzégovine, la Slovénie, le Canada, la Finlande et la Macédoine.

Il existe plusieurs types d'absorbeurs qui sont très répondeu à travers le monde. L'entreprise offre ainsi une gamme d'amortisseurs mécaniques fabriqués dans des installations d'essai "RADIUS" dans Mionica et qui se déferent selon le type d'usage :



Figure 6.2 : Damper Canada HQ Royal Type.

Source : site officiel entreprise DC 90.



Figure 6.3 : Damper Connecteur Canada Type HQM (avec S-ancre).

Source : site officiel entreprise DC 90.



Figure 6.4 : Amortisseurs (RCH120x50mm)

Source : site officiel entreprise DC 90.



Figure 6.5 : Damper Grocka type

Source : site officiel entreprise DC 90.



Figure 6.6 : Damper (RHS 260x160x7mm)

Source : site officiel entreprise DC 90.

4.3. Quelques références de projets réhabilités avec la technique de dissipateurs d'énergie (DC 90) :

- **350 Immeubles d'habitation, Mionica, Serbie :** Enquête sur l'objet endommagé par le tremblement de terre, développement de la documentation du projet, la réhabilitation des objets endommagé assistés par la technologie du système DC90, essai de vibration ambiante test de tremblement de terre artificielle.



Figure 6.7 : confortement d'un immeuble de logement par le système DC90.
Source : site officiel entreprise DC 90.

- palais de Mukhtarov (Palais de Saadet), Bakou, Azerbaïdjan : Enquête sur la géométrie et les dommages. Levés géodésiques de terrain, les essais des caractéristiques mécaniques et dynamiques de la construction de l'objet. Examen de l'état de la construction de l'objet. Réhabilitation sismique et renforcement et proposition de protection.



Figure 6.8 : confortement du palais Mukhtarov par le système DC 90.

Source : site officiel entreprise DC 90.

- **Ambassade de Finlande en Algérie** : plusieurs technologies sont mise en œuvre à la résidence de l'ambassade finlandaise qui se trouve sur Alger : des amortisseurs dans les murs pour raidissement vertical, des compensateurs de retrait pour la précontrainte horizontale dans les dalles de plancher. Après réhabilitation la résidence a été vérifiée par un test de tremblement de terre artificiel.



Figure 6.9 : confortement de la résidence de l'ambassade finlandaise à Alger.
Source : site officiel entreprise DC 90.

5. Impact de l'application de la méthode sur l'ouvrage :

L'application de cette technique de contreventement métallique amorti nécessite un calcul complet du bâtiment pour ainsi éviter les risques d'irrégularité en élévation et les désordres au niveau des nœuds, il faut aussi soigner les liaisons avec la structure existante. Une bonne mise en œuvre de cette technique peut :

- Diminuer l'énergie à laquelle le bâtiment est soumis en on dissipant une partie par les amortisseurs.
- Améliorer la régularité du bâtiment : une meilleure répartition des contreventements diminue la torsion d'ensemble.
- Augmenter la résistance d'ensemble : les nouveaux contreventements permettent à la structure de reprendre un effort horizontal plus grand.



Figure 6.10 : amortisseur (raidisseur vertical).
Source : site officiel entreprise DC 90.

Conclusion :

L'application de la technique de consolidation par amortisseurs développée par système DC 90 nécessite une analyse et une étude in situ sur le bâtiment cas d'étude avec intervention de spécialistes expérimentés dans le domaine. Ce que nous pouvons dire en tant qu'architecte c'est que l'application de ce système sur l'édifice de la villa adb el-tif peut réduire le degré de vulnérabilité de cet édifice vis à vis le risque sismique, Cette technique garantie à la fois la réduction de l'effet des vibrations sismiques sur le bâtiment et la préservation du cachet historique de l'édifice.

*Conclusion générale et
perspectives.*



Conclusion générale et perspective :

En plus des notions théoriques qu'on avait présentées dans ce modeste travail et qui concerne ce sujet du vieux bâti depuis plusieurs perspectives, nous avons traité un exemple qui demeure une référence de l'architecture ottomane en Algérie. Et malgré les difficultés rencontrées lors de ce travail de recherche, nous avons pu effectuer une étude qui concerne ce domaine très sensible, à savoir l'architecture du patrimoine bâti qui occupe une place distinguée dans l'identité nationale et même internationale, et tous ce qui concerne sa préservation surtout lorsqu'il s'agit d'une architecture classée, exemple de notre cas d'étude.

Dans un premier lieu nous avons orienté nos efforts vers le sujet de de la réhabilitation en tant que processus et mode d'intervention sur le bâti ancien et sur les modes et méthodes d'intervention et d'évaluation les plus connus. Nous avons développé aussi les concepts liés aux structures du patrimoine : différents dispositifs connus et pathologies qui touchent à ces structures et enfin les modes d'intervention et les différents remèdes de ces pathologies.

Dans une deuxième partie on s'est basé beaucoup plus sur notre cas d'étude, passant par une identification détaillée de cet édifice, puis une analyse de la vulnérabilité de celui-ci et finalement proposition du système de contreventement métallique amorti comme solution de réduction de cette vulnérabilité.

Ainsi nous avons pu soulever une technique de renforcement (réhabilitation) adaptable à ce genre de structure en zone sismique, tout en améliorant le comportement ainsi que la durabilité de ce bâtiment de référence restant toujours dans une perspective et une politique de préservation et de sauvegarde.

A la fin de cette recherche on a pu atteindre nos objectifs de capitaliser un savoir-faire sur ce domaine et de définir une méthode de réhabilitation appropriée à un type de structure bien défini, et ce en respectant la méthode de travail et en vérifiant et argumentant les hypothèses élaborés dans le chapitre introductif.

Ce modeste travail ouvre le champ vers d'autres recherches plus profondes dans l'avenir et initie à un approfondissement dans ce domaine de réhabilitation sismique du vieux bâti.

Références bibliographiques



Bibliographie :

1. Ouvrages :

1. **ABDELATIF, Mounjia.** *Dar Abdeltif, un joyau patrimonial réhabilité.* Alger : Al Bayazin, mai 2014.
2. **AGENCE NATIONALE POUR L'AMELIORATION DE L'HABITAT (ANAH).** *Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point .* paris : Edition du Moniteur, 1989.
3. **ASSOCIATION FRANÇAISE DU GENIE PARASISMIQUE .** *guide de la conception parasismique des batiments .* paris : eyrolles, 2004.
4. **BETH, Matthieu.** *Connaissance du bâti ancien.* 2006/2007.
5. **BRENDA. pietro.** *batiment en maçonnerie, analyse des déséquilibres statiques et technique de consolidation .* rome : centro analisi sociale progetti s.r.l, 1993.
6. **BRGM, CETE &.** *Comparaison de méthodes qualitatives d'évaluation de la vulnérabilité des constructions aux séismes.* 2008.
7. **COIGNET, jean COIGNET et Laurent.** *la maison ancienne.* paris : édition EYROLLERS.
8. **D. Amir-Mazehri, P. Bisch, A. Capra, M. Chenaf, V. Davidovici, P. Delmotte, N. Taillefer.** *guide technique, renforcement parasismique des batiments.* paris : CSTB, 2010.
9. **PANOFSKY, E.** *Architecture gothique et pensée Scholastique.* paris : édition Minuit.
10. **VERITAS, BUREAU.** *la technique du bâtiment existant.* s.l. : édition le moniteur.
11. **YELLES Chaouche. A, SEMMANE. F.** *les séismes en algerie du nord.* Algérie : CRAAG.

2. mémoires :

12. **ACHAB Samia EP CHERNAI.** *Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (Habitat) de la période ottomane,* Mémoire de Magister, faculté du génie de la construction, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Juin 2012.
13. **AIT HAMOUDA Ibrahim.** *la conservation du patrimoine bâti en algerie, cas de la réhabilitation d'immeubles, urbains du bâti ancien a oran,* Mémoire magister, Faculté d'Architecture et de Génie-civil Département d'Architecture. Année universitaire 2012-2013.
14. **HASSAS Naima Ep KHALEF.** *Etude du patrimoine architectural de la période ottomane : entre valeurs et confort,* Mémoire de magister, faculté de génie de la construction, département d'architecture, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Juin 2012.

3. Lois, décrets, chartes et textes réglementaires:

15. **César Díaz Gómez.** *séminaire rehabimed rehabilitation et action sociale, Diagnostique et traitement des pathologies structurelles du bâtiments.* Université Politècnica de Catalunya
16. *La villa Abdeltif prend un bain de jouvence.* **APS.** algérie : liberté , 11 - 08 - 2005.
17. **Le Conseil Des Monuments Et Sites Du Quebec, Comite Francophone D'ICOMOS.** *charte de conservation du patrimoine québécois.* canada : s.n., avril 1982.
18. Loi n°94-35 du 24 Février 1994 relative au *Code de la Protection du Patrimoine Archéologique, Historique et des Arts Traditionnels*, **JORT** n°17 du 1er mars 1994.
19. Loi n°98-04 du 15 juin 1998 relative à *la Protection du Patrimoine culturel.*
20. *Manuel de sensibilisation à la restauration de la maçonnerie.* Ministère de la Culture et de la Communication, Direction de l'Architecture et du Patrimoine, Mission Ingénierie et Références Techniques. Paris : 2011**MATTHIEU Beth.** *Connaissance du bâti ancien.* le GABION formation OPRP, 2006/2007.
21. Méthode RehabiMed pour la réhabilitation de l'architecture traditionnelle méditerranéenne. RehabiMed : Aout 2005.
22. **Patricia BALANDIER.** *le seisme et les constructions en beton arme et en maconnerie : principes de mise en œuvre.* Document d'information à l'usage du constructeur - VOLUME 4 direction régionale de l'environnement. Paris.
23. **Patricia BALANDIER** pour **DDE de la Martinique-SECQUIP, CONSTRUCTIONS DE MACONNERIE.**
24. *Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme PDAU,* 2015.
25. *Règlement Parasismique Algérien « RPA », Centre nationale de recherche appliquée en génie-parasismique,* 2003, 101P.
26. *Revue maitre d'œuvre, Guide pratique : La maçonnerie de pierre.* Service de l'urbanisme en collaboration avec le Service des communications. Québec : 1989.
27. **S. SOUKANE, M. DAHLI.** *La Réhabilitation du patrimoine colonial 19ème 20ème dans le contexte du développement durable,* Université de Tizi-Ouzou, Département d'architecture, Algérie.
28. *Villa Abdeltif, le temps retrouvé.* **Attouche, Kheïra.** algérie : le temps d'algerie, 07 - 04 - 2009.

Webographie :

33. l'agence algérienne pour le rayonnement culturel
 - www.aarcalgerie.org
34. site de l'entreprise SISTEM dc 90
 - www.dc90.co.rs
34. Agence Qualité Construction.
 - www.qualiteconstruction.com
35. METech Patrimonium, Bruxelles,
 - www.mtech-pat.com

Table des figures



Première partie :

Chapitre 02 :

- Figure 2.1 :** Organigramme du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien P 15
- Figure 2.2 :** fiche de relevé d'une évaluation de présomption de vulnérabilité. P 16
- Figure 2.3 :** fiche de relevé d'une évaluation de présomption de vulnérabilité. P 17
- Figure 2.4 :** fiche d'évaluation qualitative de la présomption de vulnérabilité. P 18
- Figure 2.5 :** grille d'évaluation de la vulnérabilité sismique, méthode FEMA. P 19
- Figure 2.6 :** les dommages causés par les différentes échelles de vulnérabilité. P 20
- Figure 2.7 :** Organigramme de l'étape 1 (Preliminaires) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien. P 23
- Figure 2.8 :** Organigramme de l'étape 2 (Études pluridisciplinaires) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien. P 26
- Figure 2.9 :** Organigramme de l'étape 3 (Diagnostic) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien P 27
- Figure 2.10 :** Organigramme de l'étape 4 (Réflexion et cadre de décisions) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien P 29
- Figure 2.11 :** Organigramme de l'étape 5 (Projet) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien. P 31
- Figure 2.12 :** Organigramme de l'étape 6 (Réhabilitation) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien. P 33
- Figure 2.13 :** Organigramme de l'étape 7 (Entretien) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien. P 35

Chapitre 03 :

- Figure 3.1 :** mur hourdé en appareillage de pierre, casbah de Dellys. P 37
- Figure 3.2 :** arc brisé outrepassé. P 38
- Figure 3.3 :** arc en ogive de contreventement P 38
- Figure 3.4 :** Fondation en pierre ordinaire d'un bâtiment sur cave P 39

| | |
|---|------|
| Figure 3.5 : Fondation en pierre ordinaire d'un bâtiment sans cave | P 39 |
| Figure 3.6 : fondation en voute renverser | P 39 |
| Figure 3.7 : Fondation sur pieux en bois | P 39 |
| Figure 3.8 : plancher sur rondins de thuya, branchage. | P 40 |
| Figure 3.9 : plancher sur solives équarries et voligeages. | P 40 |
| Figure 3.10 : voute en berceau recouvrant un escalier. | P 41 |
| Figure 3.11 : voute d'arête recouvrant un escalier. | P 41 |
| Figure 3.12 : coupole recouvrant une chambre princière. | P 42 |
| Figure 3.13 : une charpente simple portant de la tuile canal. | P 43 |
| Figure 3.14 : la tuile canal. | P 43 |
| Figure 3.15 : toiture terrasse accessible. | P 44 |
| Figure 3.16 : enduit sur murs en maçonnerie (sable, chaux, eaux de gâchage). | P 45 |
| Figure 3.17 : enduit à base de terre argilo-sableuse et chaux. | P 45 |
| Figure 3.18 : revêtement de la galerie d'une demeure en céramique en forme de tommettes. | P 46 |
| Figure 3.19 : cloquage d'enduit par accumulation d'humidité. | P 48 |
| Figure 3.20 : fissure dans un mur en maçonnerie. | P 50 |
| Figure 3.21 : fléchissement du bois d'un plancher du probablement à une sollicitation excessive. | P 51 |
| Figure 3.22 : détérioration de l'enduit par vieillissement. | P 53 |
| Figure 3.23 : rattrapage des fissures dans un mur. | P 54 |
| Figure 3.24 : rejointoiement par mortier des fissures dans un mur. | P 55 |
| Figure 3.25 : augmentation de la section du mur par des enduits de renfort. | P 56 |
| Figure 3.26 : renforcement par pose de tirants. | P 56 |
| Figure 3.27 : renforcement par pose de contreforts. | P 57 |
| Figure 3.28 : renforcement par chaînage. | P 57 |
| Figure 3.29 : renforcement par taxidermies avec des barres d'acier. | P 58 |
| Figure 3.30 : renforcement des poutres et poutrelles. | P 59 |
| Figure 3.31 : pose de montants intermédiaires. | P 59 |

| | |
|---|------|
| Figure 3.32 : pose additionnelle de dalles en béton armé. | P 60 |
| Figure 3.33 : renforcement des arcs, les voutes et coupoles. | P 60 |
| Figure 3.34 : différent type d'intervention sur les fondations. | P 62 |
| Figure 3.35 : différent type d'intervention sur les fondations. | P 62 |

Deuxième partie :

Chapitre 01 :

| | |
|---|------|
| Figure 4.1 : schéma sismotectonique de la méditerranée. | P 63 |
| Figure 4.2 : Caractéristiques d'un séisme – | P 64 |
| Figure 4.3 : maquette de maçonnerie sur table vibrante. | P 66 |
| Figure 4.4 : Désolidarisation du pignon | P 67 |
| Figure 4.5 : Rupture hors plan du mur due à la poussée de la toiture. | P 67 |
| Figure 4.6 : Rupture hors plan du mur entre 2 ouvertures due à la poussée de la toiture. | P 67 |
| Figure 4.7 : Déversement du mur extérieur avec désolidarisation des maçonneries. | P 67 |
| Figure 4.8 : Fissuration due à la flexion et au cisaillement dans les maçonneries parallèles à l'action sismique. | P 67 |
| Figure 4.9 : classification des zones sismiques. | P 68 |
| Figure 4.10 : carte de la sismicité en Algérie. | P 69 |

Chapitre 02 :

| | |
|--|------|
| Figure 5.1 : maquette générale de l'ensemble de la demeure. | P 71 |
| Figure 5.2 : tableau de peinture de la villa. | P 71 |
| Figure 5.3 : vue générale de la villa. | P 72 |
| Figure 5.4 : situation de la villa par rapport à Alger la capitale. | P 73 |
| Figure 5.5 : situation de la villa par rapport à son environnement immédiat. | P 73 |
| Figure 5.6 : plan de masse de la demeure et ses bâtiments constitutifs. | P 73 |
| Figure 5.7 : plan niveau des communs. | P 74 |

| | |
|---|------|
| Figure 5.8 : plan deuxième niveau (niveau de résidence). | P 74 |
| Figure 5.9 : plan du troisième niveau. | P 75 |
| Figure 5.10 : schéma de la géométrie en plan de la villa. | P 75 |
| Figure 5.11 : vue en façade de la villa. | P 75 |
| Figure 5.12 : vue sur la maçonnerie des murs de la villa avant réhabilitation. | P 76 |
| Figure 5.13 : vue sur des ouvertures après réhabilitation de la villa. | P 76 |
| Figure 5.14 : vue sur fenêtre après réhabilitation de la villa. | P 76 |
| Figure 5.15 : vue sur un revêtement de sol après réhabilitation de la villa. | P 77 |
| Figure 5.16 : vue sur un revêtement d'escalier après réhabilitation de la villa. | P 77 |
| Figure 5.17 : vue sur l'enduit et les faïences des arcades extérieures après réhabilitation de la villa. | P 77 |
| Figure 5.18 : vue sur un revêtement de sol après réhabilitation de la villa. | P 77 |
| Figure 5.19 : vue sur un revêtement de sol après réhabilitation de la villa. | P 77 |
| Figure 5.20 : vue les rondins d'un plancher de la villa. | P 77 |
| Figure 5.21 : vue d'extérieur sur un plancher de la villa. | P 77 |
| Figure 5.22 : vue de la toiture terrasse et des coupoles qui couvrent les planchers de la villa. | 77 |
| Figure 5.23 : vue sur escalier. | P 78 |
| Figure 5.24 : vue sur un escalier voûté. | P 78 |
| Figure 5.25 : vue sur un portique de la villa en cours de réhabilitation. | P 79 |
| Figure 5.26 : vue sur un portique de la villa après sa réhabilitation. | P 79 |
| Figure 5.27 : drainage de la villa après réhabilitation. | P 80 |
| Figure 5.28 : confortement d'un plancher d'étage en bois rénové. | P 80 |
| Figure 5.29 : détail d'une gaine. | P 80 |
| Figure 5.30 : détail confortement d'un mur de la villa. | P 80 |
| Figure 5.31 : fissurations superficielles dans un mur d'arcade. | P 81 |
| Figure 5.32 : fissurations superficielles dans l'acrotère. | P 81 |
| Figure 5.33 : fissurations superficielles dans une coupole couvrant la toiture. | P 81 |
| Figure 5.34 : fissurations superficielles dans des arcatures d'ouverture. | P 81 |
| Figure 5.35 : la sismicité enregistrée en Algérie depuis 1973. | P 82 |

Chapitre 03 :

| | |
|--|------|
| Figure 6.1 contreventement métallique amorti. | P 86 |
| Figure 6.2 : Damper Canada HQ Royal Type. | P 89 |
| Figure 6.3 : Damper Connecteur Canada Type HQM (avec S-ancre). | P 89 |
| Figure 6.4 : Amortisseurs (RCH120x50mm) | P 89 |
| Figure 6.5 : Damper Grocka type | P 89 |
| Figure 6.6 : Damper (RHS 260x160x7mm) | P 89 |
| Figure 6.7 : confortement d'un immeuble de logement par le système DC90. | P 90 |
| Figure 6.8 : confortement du palais Mukhtarov par le système DC 90. | P 90 |
| Figure 6.9 : confortement de la résidence de l'ambassade finlandaise à Alger. | P 91 |
| Figure 6.10 : amortisseur (raidisseur vertical). | P 91 |

Annexe



Vue en 3D sur la villa



Vue en 3D sur la villa

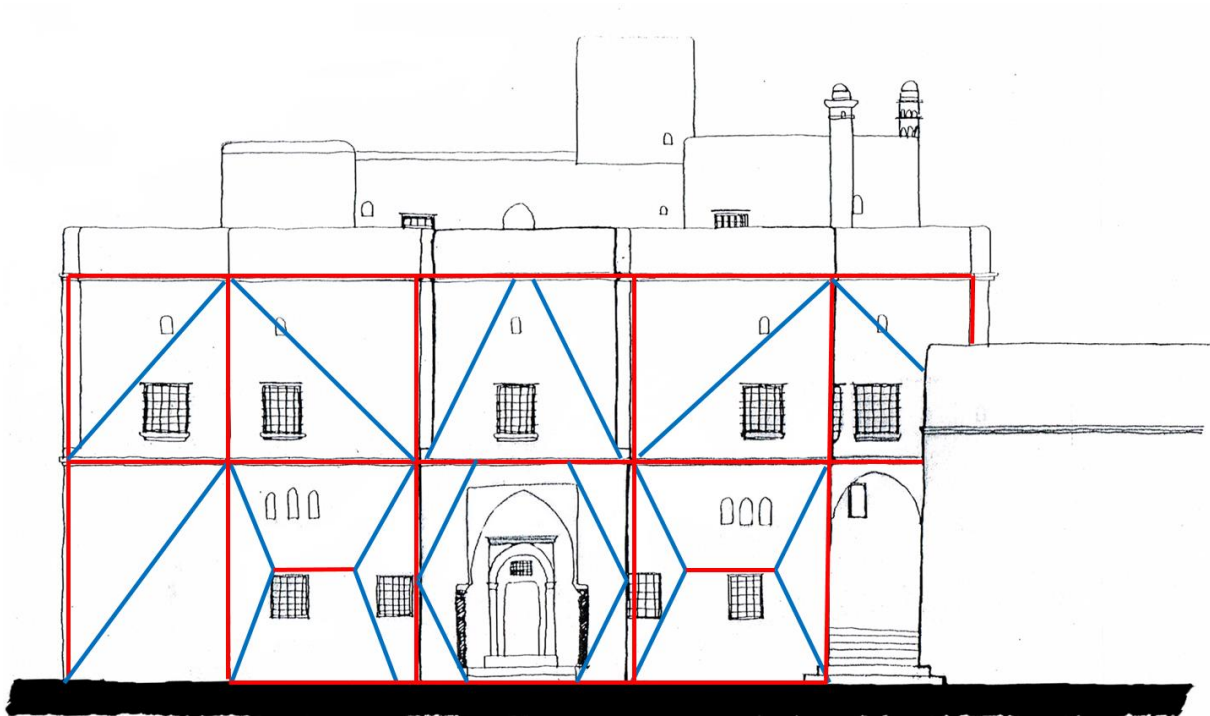
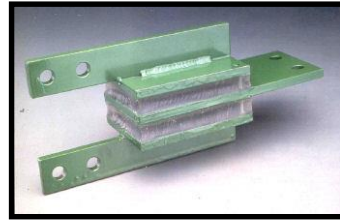
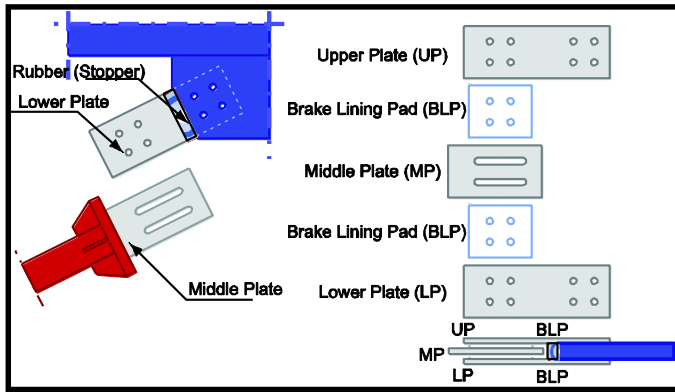


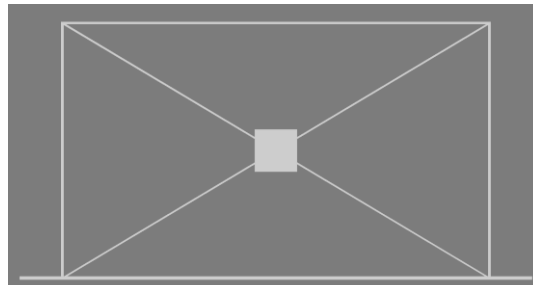
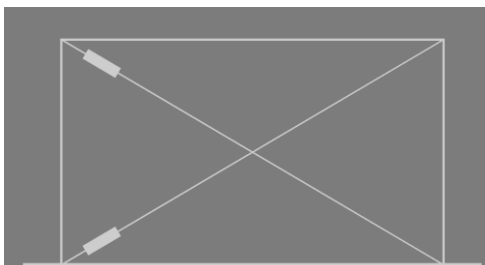
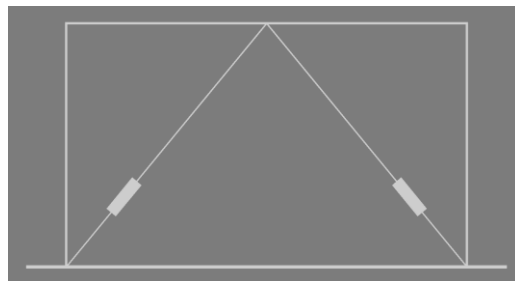
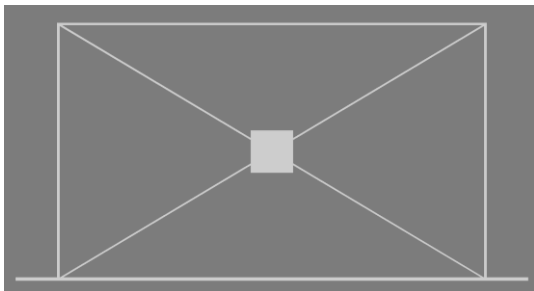
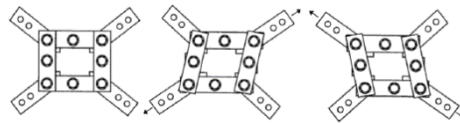
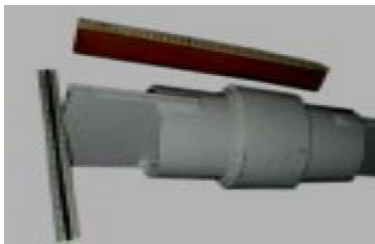
Schéma de confortement proposé

Nota : La condition il faut respecter dans la mise en place de ce système de contreventement amorti c'est de garantir le monolithisme de la structure par la continuité verticale des cadres (carrées métallique).



Amortisseurs Viscoélastique

Amortisseurs à Friction



Quelques exemples et dispositifs de dissipateurs d'énergie.