

Résumé

L'Algérie abonde de richesse patrimoine très riche et diversifier reflet de plusieurs périodes. Malheureusement ce dernier se voit aujourd'hui affronter à l'usure du temps, morcelé et fatigué. Il souffre d'un manque d'entretien et de diverses interventions maladroites, ainsi que d'autres facteurs à savoir les risques naturels. Ces derniers ont des d'origines diverses entre autre, l'activité sismique. En effet les secousses sismiques engendrent des désordres importants sur le patrimoine bâti et mènent à son effondrement.

Le séisme est un des facteurs principaux, qui favorisent la vulnérabilité des structures, et menacent le patrimoine bâti, mais aussi on trouve d'autres pathologies, qui peuvent engendrer des dégradations sur les matériaux et la structure de ce dernier.

Pour cela, dans le cadre de préservation de vieux bâti notamment les édifices patrimoniaux, des opérations de réparation et confortement /renforcement sont indispensables. Et cela, afin de leur assuré une résistance équivalente à ce que leur a été estimé au départ.

Les techniques du renforcement sont multiples se varient en fonction des structures, des systèmes constructif, des matériaux, ...etc. Aujourd'hui ; malgré le développement des techniques de consolidations parasismiques, que connait la science à travers le monde, la culture de préservation et de consolidation des structures traditionnelles présente un enjeu pour les collectivités par ce que l'intervention sur un patrimoine se diffère par rapport aux nouvelles constructions. L'enjeu est donc de conforter un patrimoine, en tenant compte de sa sensibilité et sa spécificité, sans toucher à son authenticité et à son caractère architectural et patrimonial.

Dans notre étude, l'application se porte sur la villa ABDELTIF sur les hauteurs d'El Hamma à Alger, dont nous allons intéresser à la protection de cette villa contre le risque sismique dont souffre cette dernière. Ainsi nous allons proposer des approches pour le renforcement des différentes parties endommagées de la villa.

Les mots clés : sismicité, secousses sismiques, pathologie, renforcement, technique de renforcement.

Abstract

Algeria's abundant wealth rich heritage and diversity, reflecting more diverse periods. Unfortunately in our days we find this heritage face the test of time, fragmented and tired. It suffers from a lack of maintenance and various clumsy interventions. We also found other factors namely natural hazards. These have various origins among other seismic activity. This last generates significant disturbances on built heritage, and lead to its collapse.

The earthquake is one of the main factors that promote the vulnerability of structures and threatening the built heritage, but also there are other diseases that can cause damage on the materials and the structure of the buildings.

For this raison the operation of preservation and reinforcement / reinforcement are essential to protect our heritage buildings, in ordre to assured to their superior resistance to what was estimated to their departure.

Techniques are multiples strengthening them vary depending on the structures of systems constructive materials, ... etc. Today ; despite the development of technical seismic consolidations that knows science worldwide, culture preservation and consolidation of traditional structures present a challenge for the community by the intervention of a different heritage on the intervention of a new building. The challenge therefore is to consolidate a heritage, taking into account the sensitivity and specificity, without affecting its authenticity and its architectural character.

In our study, the application covers the Abdeltif villa in the hills of El Hamma in Algiers, which we are interested in the protection of this villa against seismic hazard plaguing our country. We will propose approaches for building various damaged parts of the villa.

Keywords: seismicity, earthquakes, disease, reinforcement, reinforcements techniques

ملخص:

ان الجزائر بلد يتمتع بوفرة معتبرة من المعالم والمباني التاريخية، وهذا ما يعكس جذوره التاريخية والحقب الزمنية التي مر بها، ولكن من المؤسف اننا نلاحظ في الوقت الحاضر ان هذا التراث التاريخي يعاني من عدة اخطار نذكر على راسها نقص الصيانة والتدخلات الخرقاء. بالإضافة الى ذلك نجده معرضا لمختلف الاخطار الطبيعية والتي نذكر منها خطر النشاط الزلزالي، هذا الأخير يولد اضطرابات كبيرة على التراث المبني مما يؤدي إلى انهياره.

يعتبر الزلزال أحد العوامل الرئيسية التي تهدد التراث المبني وتعزز من هشاشته، كما اننا نجد عدة امراض أخرى والتي بإمكانها ان تسبب ضررا على مواد وهياكل هذه المباني.

وفي إطار المحافظة على التراث المبني فان عمليات إصلاح وتقوية هياكل هذه الأخيرة ضرورية اذ تتعدد تقنيات الإصلاح والتقوية للمباني بتعدد الهياكل وكذا مواد البناء المستعملة وغيرها، لكننا نلاحظ اليوم وعلى الرغم من تطور العلم الحديث في هذا المجال الا اننا نجد ان عملية الحفاظ على المباني التقليدية يعتبر تحديا كبيرا، وذلك لأنه يجب الاخذ بعين الاعتبار حساسية وخصوصية هذه المباني دون ان يؤثر ذلك على اصالتها وتراثها المعماري.

يتم التطبيق في دراستنا على دار عبد اللطيف التي تقع بالحامة بالجزائر العاصمة. اذ نحن مهتمون بحماية هذه الأخيرة من المخاطر الزلزالية التي تعاني منها بلادنا، ثم سنقترح نهج لبناء مختلف أجزاء التالفة من هذه البناية.

الكلمات الرئيسية: الزلزالية والزلزال، الأمراض، تعزيز، التقنيات المستخدمة

Tables des matières :

Résumé.....	
Abstract.....	
ملخص.....	
Tables des matières.....	
I. Introduction générale	
II. Problématique	
III. Hypothèses.....	
IV. Objectifs	
V. Méthodologie de recherche.....	
Chapitre I : séisme et vulnérabilité sismique en Algérie	
Introduction.....	
I. Le séisme en Algérie.....	
I.1. Situation.	
I.2. Historique de la sismicité en Algérie.....	
I.2.1. L'activité sismique depuis l'antiquité.....	
I.2.2 L'activité sismique depuis 1365.....	
I.2.3. Les séismes majeurs en Algérie de 1365 à 2010.....	
I.3. Zones sismiques en Algérie.....	
I.4. Le risque sismique à Alger.....	
I.5. Le contexte géologique algérois.....	
I.5.1. Les failles actives dans l'Algérois.....	
1. La faille du Sahel.....	
2. La faille Thénia.	
3. La faille de la Mitidja.	
4. La faille du Chenoua.	
5. La faille de Zemmouri.	
6. La faille supposée en mer « faille de Kheir –Eddine ».	
I.6. Les effets du séisme sur les constructions.	
II. Vulnérabilité sismique des bâtiments.	
II.1. Evaluation de la vulnérabilité sismique.	
Conclusion	

Chapitre II : pathologies des matériaux et des structures

Introduction :

Pathologies des matériaux et des structures

I. Pathologies sous l'action de l'eau

I.1. Les différentes sources d'eau

I.1.1. Infiltrations directes :

I.1.2. La condensation :

I.1.3. Les remontés capillaires

I.2. Action de l'eau sur les matériaux :

I.2.1 Dégradation de la surface des murs :

I.2.2. Dégradation de l'enduit :

I.3. Action de l'eau sur les éléments structurels en maçonnerie :

I.3.1. Dégradation de la pierre due à la présence d'eau et d'humidité (production d'altération chimiques autant que physiques)

I.3.2. Dégradation des éléments en argile et cristallisation des sels (la perte de matière par dissolution, création de pores et de cavitations)

d'humidité de condensation hygroscopique :

d'humidité provenant de sources de vapeur :

L'humidité par filtration de l'eau de pluie pénètre dans le parement par l'intérieure de deux mécanismes

I.3.3. Action du gel et du dégel

I.4. Action de l'eau sur les éléments de décorations et de finitions :

I.4.1. Dégradation des éléments en marbre et tufs :

I.4.1. 1. L'action de la nappe phréatique (eau souterrain)

I.4.1.2. L'action de condensation

I.4.1.3. L'action du gel-dégel

I.4.2. Action de l'eau sur les éléments structurels en bois :

I.4.2.1. Le retrait du bois

II. Pathologies sous l'action des végétaux :

II.1. Action des végétaux sur les éléments structurels en maçonnerie de pierre :

II.1.1. Actions des végétaux supérieurs (arbres et plantes) :

II.1.2. Action des algues et lichens

II.2. Action sur les éléments structurels en bois :

III. Pathologies sous l'action du climat et de la pollution atmosphérique :

III.1. Action de la température

- III.1.1 Sur les éléments structurels en maçonnerie de pierre :
- III.1.2. Sur les enduits :
- III.1.3. Sur les éléments de décorations et de finitions :
- III.2. Action de la pollution atmosphérique
 - III.2.1. Sur les enduits
 - III.2.2. Sur les éléments structurels en maçonnerie de pierre :
 - III.2.2.1 Actions de la pollution atmosphérique (soufre et oxydes de carbone) :
- IV. Pathologies liées à l'intervention de l'homme :
 - IV.1. Action sur les enduits :
 - IV.2. Action sur les éléments de décorations et de finitions :
 - IV.3 Action sur les éléments structurels en maçonnerie de pierre :
- V- Le séisme :
 - V. 1. Action du séisme sur les fondations :
 - V.2. Action du séisme sur les semelles isolées non reliées par des longrines :
 - V.3. Action du séisme sur les murs et les façades en maçonnerie

Conclusion :

Chapitre III: les techniques de renforcement

Introduction

- I. Définitions :
- II. Différence entre une réparation et un confortement :
- III. Méthodologie pour la prise de décision du renforcement/ réparation/ Démolition
- IV. Techniques et méthodes de renforcement
 - IV.1 Renforcement des fondations
 - VI.1.1 Renforcement sous fondation par sous œuvre en maçonnerie :
 - VI.1.2 Reprise en sous œuvre de tout un mur de façade :
 - VI.1.3 Renforcement en sous œuvre par élargissement du mur porteur :
 - VI.1.4. Renforcement de la fondation par poutres transversales :
 - VI.1.5 Renforcement sous fondation profondes par des pieux en béton armée :
 - VI.2. Renforcement des planchers et des couvertures :
 - VI.2.1. Renforcement de la poutre :
 - VI.2.2. Suppléments de résistance pour les poutres et les poutrelles
 - VI.2.3. Montants intermédiaires
 - VI.2.4. Renforcement du plancher en bois en conservant la structure existante par le rajout d'une seconde rangée de profilé métallique :

VI.2.5. Pose additionnelle de dalles en béton armé

VI.3. Interventions spécifiques sur les arcs, les voûtes et les coupoles

VI.3.1. Cas de voute enterrée :

VI.3.2. cas de voute non enterrée (emploi de cintres) :

VI.3.3. Renforcement par des contreforts

VI.4. Renforcement des éléments en maçonnerie :

VI.4.1. Renforcement des murs

1. Le Chaînage des murs.
2. Taxidermies avec des barres d'acier
3. Renforcement par fibres des murs (béton de fibre)
4. Remplacement physique de la partie endommagée
5. Colmatage et reprise des fissures dans le mur
6. Reprise de fissure par injections
7. Reprise des fissures par remplacement partiel
8. Reprise des fissures au moyen des potelets en béton armé.

Conclusion

Chapitre IV : diagnostic et présentation du cas d'étude (La villa ABDELTIF)

I. Présentation de la villa ABDELTIF

Introduction :

I.1. Présentation de la villa dans son contexte historique et environnementale :

I.1.1. Situation géographique :

I.1.2. Passé historique de la villa

I.2. Relevé et description spatiale de la villa :

I.2.1. Principaux bâtiment composant la villa :

I.2.2. Description de la bâtisse principale (La villa) :

- Le Rez de chaussée
- Le second niveau
- Troisième niveau

I.3. Dispositions constructives

I.3.1. Matériaux de constructions

I.3.1.1. La pierre

I.3.1.2. Briques pleines en terre cuite

I.3.1.3. La chaux aérienne

I.3.1.4. Le marbre

I.3.1.5. Le bois :

I.3.2. Composantes structurelles

I.3.2.1. Structure flexible

I.3.2.2. Les planchers

I.3.2.2.1. Les planchers intermédiaires

I.3.2.2.2. Le plancher terrasse :

I.3.2.3. Les fondations ;

I.3.2.4. Couvertures en maçonnerie :

I.3.2.5. Escalier

I.4. Les travaux de restauration de la villa (2006-2008) :

I.5. Présentation de l'équipe de l'opération de la restauration :

I.6. Dar abdeltif une restitution

I.7. Règles fondamentales des dar el fahs

I.8. Quelques observations concernant les transformations et les modifications apportées sur la villa

I.9. Interventions

Conclusion

II. Diagnostic de la villa ABDETIF

Introduction :

II.1. Dommages et vétustés de l'édifice

1. Fissuration au niveau des arcades, des voutes et des coupoles
2. Fissuration au niveau des murs
3. Apparition des salpêtres sur élévation
4. Apparition des algues et dislocation des éléments décoration

II.2. Synthèse :

Conclusion

III. Proposition d'approches pour le renforcement de la villa

Introduction :

III.1. Approches pour le renforcement de la villa :

III.1.1. Approches pour le renforcement des arcs et des voûtes :

1. Etat des lieux des arcs et des voûtes
 2. Proposition d'approches pour le renforcement des arcs et des voûtes
 3. Notre proposition : FIBREBUILD FRCM (fiber reinforced cementitious matrix) technique de la « chape armée »
- 4.1. Sa mise en œuvre
- 3.2. Caractéristiques
 - 3.3. Avantage :

III.1.2. Approches pour le renforcement des murs.....	92
1. Les murs de la façade ouest	92
2. Les murs de la façade sud	93
Conclusion	94
Perspectives de recherche	94
Conclusion générale	95
Liste des figures	97
Bibliographie	99
Annexe	102

I. Introduction Générale :

L'Algérie dispose d'un riche héritage culturel et naturel exceptionnel par sa portée historique et symbolique, témoignant du passage de nombreuses civilisations. Il s'agit d'une variété inestimable en matière de patrimoine archéologique, architectural et urbanistique. Nous citons, en l'occurrence les villes antiques, les vestiges des médinas (Alger, Tlemcen...), les ksour, mais également les nombreux édifices hérités de l'époque coloniale.¹

Malheureusement ce patrimoine bâti souffre d'un manque d'entretien, et se trouve dégradé, vulnérable et fragile. Cette dégradation est due à plusieurs critères, à savoir les techniques et les matériaux de construction, l'état de conservation, et notamment les phénomènes naturels tel que le séisme. Ce dernier cause des dommages aux structures et provoque des déformations irréversibles, et dans certains cas conduit malheureusement à l'effondrement de la construction².

Pour cela, dans le cadre de préservation de vieux bâti notamment les édifices patrimoniaux, des opérations de réparation et confortement /renforcement sont indispensables.

Le confortement, qui signifie le renforcement : c'est augmenter la capacité de la structure. C'est une opération ou intervention par laquelle on redonne à un élément ses caractéristiques mécaniques initiales ou nécessaires, pour pouvoir résister à son chargement actuel d'une manière efficace, tout en tenant compte des coefficients de sécurité imposés par le règlement.³

Dans le vieux bâti la mission conforter c'est de redonner aux éléments structuraux déformés (verticaux et /ou horizontaux) leur capacité portante initiale, afin de leur prolonger la durée de vie avec l'ancien degré de sécurité.

Le vieux bâti souffre généralement de l'usure de ses éléments, cette usure est due à plusieurs causes telles que ; les infiltrations et fuites des eaux pluviales et usées ; le vieillissement du matériau de construction ; le manque d'entretien et enfin les secousses sismiques.

De nos jours plusieurs méthodes ont été développées et envisagées au niveau national et international pour le renforcement du bâti ancien, notamment par les Français, les Américains et les Italiennes, qui ont fait des diagnostics et des études d'impact concernant le

¹ HAMMOUNI Zakia. Patrimoine.... Il y a beaucoup à faire, article vies de villes, N°05, Mai, 2006.

² LESTUZZI P « séisme et construction, Presse polytechnique et universitaire Romande, Italie, 2008.

³ DEKHMOCHE Mouloud. Procédés de renforcement du vieux bâti, Office des publications Universitaire, Alger, 2007

renforcement du vieux bâti vis-à-vis des sollicitations sismiques, dont ils ont acquis des expériences considérables dans ce domaine.

En Algérie nous ne disposons d'aucune donnée parasismique concernant la structure du bâti ancien, les seules dispositions tenant compte des séismes sont les règlements techniques tels que le RPA et le règlement de réparation et de renforcement des ouvrages endommagé par les séismes⁴.

Pour cela, il est nécessaire de développer une méthode de réduction des conséquences du risque sismique, qui rentre dans le cadre de la réhabilitation, et prendra en charge le renforcement du cadre bâti existant vis-à-vis des risques naturels (le séisme en particulier).

L'intérêt de ce sujet de recherche se manifeste au niveau des opérations de sauvegarde du patrimoine, où l'architecte spécialiste dans ce domaine doit connaître les approches de renforcement parasismique, en tenant compte des matériaux utilisés dans la construction des anciens bâtis à savoir ; la terre, la pierre et la maçonnerie, mais aussi de la valeur historique et artistique, tous en préservant l'authenticité du site.

II. La problématique :

L'observation de la casbah d'Alger nous a permis de remarquer que sa spécificité typologique a été affectée, dont on remarque un changement brutal des techniques constructives et de nouveaux matériaux, qui ne s'adaptent pas aux anciens techniques et matériaux de construction.

L'analyse des causes à l'origine de cette situation, nous a conduit à conclure que cette dégradation a des origines, des causes et des manifestations multiples qui sont liées à divers facteurs d'ordre technique, naturels , humains Mais aussi cela en grande partie est dû à une méconnaissance des techniques et des procédés de confortement des vieux bâtis.

Etant donné que le nord du pays est vulnérable aux aléas sismiques, qui fragilisent le vieux bâti, et face à l'existence de plusieurs techniques de confortement, qui peuvent améliorer la résistance des anciennes constructions ; **quelle est la technique la plus fiable pour répondre efficacement aux secousses sismiques pour le confortement des anciens bâtis ? Et comment introduire les nouvelles techniques de renforcement dans de l'ancien bâti tout en respectant leurs caractères initiaux (structure, matériaux, authenticité et compatibilité) ?**

⁴ ABDESSAMED FOUFA Aicha Amina. Evaluation de la vulnérabilité et réduction du risque sismique dans les centres urbains coloniaux, cas de Tipaza, EPAU, Alger, 1996.

III. Les hypothèses :

Afin de répondre à notre problématique, nous avons élaboré des hypothèses fondées sur des outils existants que ce soient, ancien ou moderne, pour le confortement des anciens bâtis vis-à-vis des sollicitations sismiques.

Analyser des systèmes de confortement et leur mode d'adaptation aux anciens bâtis, afin d'avoir une réponse favorable quant à la stabilité de structure vis-à-vis aux secousses sismiques.

L'amélioration de la résistance des éléments structuraux en adéquation avec les techniques de construction traditionnelle, semble être l'approche la plus souhaitable pour préserver la conception de l'architecture patrimoniale.

IV. Les objectifs :

Notre recherche aura pour objectifs de :

- Présenter et identifier les outils et les méthodes utilisées pour le confortement des anciens bâtis vis à vis aux risques sismiques, par rapport aux différentes exigences techniques à savoir le matériau, la forme et l'authenticité du bâti, en présentant leurs avantages et leurs inconvénients.
- Dévoiler tout un répertoire de l'essentiel des outils existants, et de faire une synthèse et un recueil d'information sur les différentes techniques et les méthodes utilisées existantes dans le marché sans faire défigurer le caractère patrimonial de l'édifice.
- Evaluation des techniques utilisées pour le confortement de vieux bâtis vis-à-vis aux risques sismiques.

V. Méthodologie de recherche :

Pour pouvoir répondre aux objectifs, nous avons opté pour l'utilisation d'une méthodologie fondée sur deux parties :

Une partie théorique :

Cette partie consistera à établir une grille de lecture approfondie sur les procédés et les techniques de confortement du vieux bâti vis-à-vis aux sollicitations sismiques, les indications de mise en œuvre, leurs impacts sur le bâtiment, leurs avantages et leurs inconvénients,,,,,

Une partie pratique :

Cette partie consistera à prendre un cas d'étude qui se situe dans une zone sismique active (la villa ABDELTIF sur les hauteurs d'El Hamma d'Alger).

Cette partie permettra de découvrir les systèmes constructifs et structurels des typologies de la casbah d'Alger (en particulier les villas Fahs) à savoir les différents types des matériaux utilisés. Et enfin nous proposerons les approches de renforcement parasismique les plus adéquates afin de protéger notre patrimoine.

Partie Théorique :

Chapitre N°1 : séisme et vulnérabilité *sismique en Algérie*

Introduction

Les séismes constituent l'un des aléas naturels les plus destructifs. Il est la cause de nombreuses victimes et d'énormes destructions, tels que la désorganisation du tissu urbain et du tissu économique. Il remet en cause tout développement dans les régions où ils se déclenchent car l'impact du désastre est proportionnel à l'importance et la taille de la ville dans le pays.

Les tremblements de terre sont des phénomènes naturels dus aux mouvements des différentes plaques qui constituent la terre. Ces phénomènes sont expliqués par la théorie de la tectonique des plaques développée dans les années soixante⁵. Elle a eu des incidences énormes sur tous les sciences de la terre. C'est une théorie globale qui a permis de retracer l'évolution des océans et qui explique de nombreux phénomènes structuraux et géophysiques, depuis la formation des chaînes de montagnes, des éruptions volcaniques jusqu'à l'origine de la sismicité et à la dérive des continents.

Le séisme est un phénomène rapide, imprévisible, qui a comme origine le mouvement interne des plaques qui constituent la terre. Et qui peut être dévastateur s'il est d'une intensité importante ou s'il touche une région qui n'a pas pris le risque sismique en compte lors de son aménagement et dans la conception de ses structures bâties.

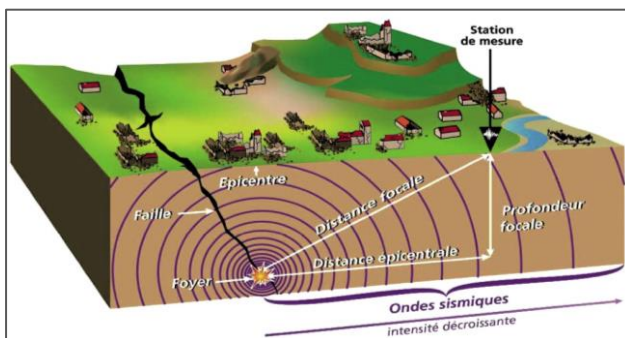


Figure 1 Schéma explicite de la naissance et de propagation des ondes sismiques
Source: COLLECTIF Classeur,



Figure 2 l'effet du séisme sur la construction
Source : <https://www.google.dz>

⁵ ABDESSAMED FOUFA Aicha Amina. Contribution pour la redécouverte de techniques constructives traditionnelles sismo-résistantes adoptés dans les grandes villes du Maghreb (Alger, Fès et Tunis) durant le XIIIème siècle. Thèse de doctorat. Alger, EPAU 2007.

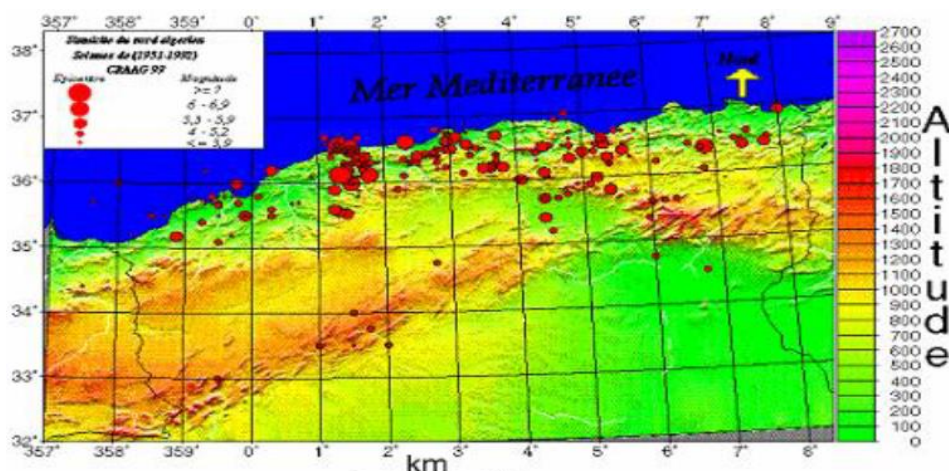
Aujourd'hui l'important est que ces catastrophes ont attiré l'attention des gouvernements et du grands publics sur le problème du risque sismique et poussent à l'adoption des mesures de mitigation des catastrophes pour préparer les villes menacées aux futurs séismes par ce que la connaissance du séisme et de ses effets sur la population et sur les biens matériels permet d'aborder les problèmes de la réduction du risque. En effet les données de la sismicité historique nous renseignent sur l'activité sismique des régions prises en considération.

I. Le séisme en Algérie

I.1. Situation :

L'Algérie du Nord est frappée régulièrement par des séismes parfois importants, mais souvent modérés ou faibles (fig :3). Les séismes modérés ou forts 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.

Avant la catastrophe d'El Asnam (10 octobre 1980, M=7.3), peu de choses étaient connues de la sismicité algérienne⁶, les leçons données par ce séisme furent multiples et eurent un impact important. Ce séisme a permis de démontrer scientifiquement que de violents séismes pouvaient se produire en Algérie du Nord, et cette région subissait le rapprochement de la plaque européenne, qu'il fallait renforcer la surveillance sismique du territoire, se munir de normes de construction parasismiques, et se doter à tout prix se doter



⁶ Synthèse du règlement parasismique Algérien version 2003

d'un plan de prévention du risque.

I.2. Historique de la sismicité en Algérie

Le catalogue des séismes du Maghreb de Bounouar (Bounouar.D 1994)⁷, qui classe tous les séismes ayant affectés le Maghreb et avec plus de détails pour l'Algérie ont montré que cette sismicité est effective. En effet, 7724 évènements sismiques ont été recensés dans cette région durant le XXème de 1900 à 1990. Deux mille soixante-deux (2062) séismes de magnitudes égale ou supérieur à 3.0 ont secoué le Maghreb dont 43 sont supérieurs ou égaux à 5.0. La majorité des 43 tremblements de terre ont eu lieu en Algérie, certain au Maroc et très peu en Tunisie.

Ce catalogue de sismicité historique ne couvre qu'une infime partie de l'histoire de la sismicité de cette région. Les investigations de paléo sismicité effectuées après le séisme d'El Asnam ont permis de révéler l'existence de traces d'anciens séismes qui ont affecté cette région.

I.2.1. L'activité sismique depuis l'antiquité

Du point de vue de l'histoire, l'activité sismique en Algérie du Nord est connue depuis le 02 Janvier 1365 date à laquelle s'est produit le séisme d'Alger (Al Suyuti, 1505, Ambraseys, 1988)⁸ (tableau 1). Antérieurement à cette date, seulement deux séismes ont pu être recensés, touchant les villes de : (Sétif 419 et Ain-Temouchent 699). Durant l'époque romaine (CRAAG 2006)⁹, faute de disponibilité de documentation ou d'étude sur les archives relatives aux époques médiévale et antique de notre pays.

I.2.2. L'activité sismique depuis 1365 :

Depuis 1365, de nombreux séismes se sont produits, parmi eux certains violents et meurtriers. Parmi ces séismes, nous pouvons citer ceux qui ont touché Alger en 1716, Oran en 1790, Gouraya en 1891. Dans une période plus récente, on peut citer les séismes d'Orléans ville (09.09.1954), d'El Asnam (10.10.1980) de Constantine (27.10.1985), de Tipaza (29.10.1989), de Mascara (17.08.1994), d'Alger (04.09.1996), de Ain-Temouchent (22.12.1999), de Beni Ouartilane (10.11.2000) et de Boumerdes-Alger, (21.05. 2003) (CRAAG 2006)¹⁰.

⁷ BOUNOUAR. D (1994). Catalogues de séismes pour la région du Maghreb 20°-38° N – 10 °W – 12° E, pour la période 1900-1990.

⁸ AMBRASEYS, N.N. and J. VOGT (1988): Material for the investigation of the seismicity of the region of Algiers, Eur. Earthquake Eng., 3, 16-29.

⁹ CRAAG , les séismes en Algérie de 2002 à 2006.

¹⁰ CRAAG , les séismes en Algérie de 2002 à 2006

I.2.3. Les séismes majeurs en Algérie de 1365 à 2010

Tableau 1: les séismes majeurs en Algérie de 1365 à 2010

Lieu	Date	I/ M	M	Victimes
Alger	03.01.1365	Forte	Forte	Plusieurs
Alger	03.02.1716	X	7,5	20 000
Oran	09.10.1790	X	6,5-7,5	2000
Blida	02.03.1825	X	7,5	7000
Djидjelli	22.08.1856	X	7,5	?
El Kalaâ	29.11.1887	IX-X VIII	6.5-7.5	2000
Gouraya	15.01.1891	X	7.5	0038
Béjaia	12.02.1960	VIII-IX	5.6	264
Chlef (Orléansville-El Asnam)	09.09.1954	X-XI	6.7	1243
Chlef	10.10.1980	IX	7.3	2633
Constantine	27.10.1985	VIII	5.9	0010
Dj. Chenoua	29.10.1989	VIII	6.0	0022
Alger	04.9.1996	VII	5,7	-
Ain-Temouchent	22.12.1999	VII	5,8	Plusieurs
Béni-Ouartilane	10.11.2000	VII	5,4	2
ZEMMOURI (Alger – Boumerdes)	21.05.2003	X	6,8	2278
Msila	14.05.2010		5.2	3

Source : CRAAG ; Les séismes en Algérie de 2002 à 2006

L'étude de cette sismicité historique et contemporaine est essentielle car elle permet en premier lieu d'élaborer les différents catalogues de sismicité, on peut citer ceux de : Rothé (1954), Roussel (1967), Benhallou (1985), Mokran (1994), Bounouar(1994), Boudief (1996) et Yelles et al (2002). En second lieu de réaliser des cartes sismotectonique, d'aléa sismique¹¹.

Cependant à partir des différentes cartes déjà établies, il est possible de savoir où se produisent les séismes et de connaître leur ampleur. Nous pouvons également identifier les sources sismogènes et établir une zonation préliminaire du territoire.

¹¹ Les séismes en algérie du nord Yelles-chaouche *Semmane F/ CRAAG Algérie*

Ainsi nous remarquons que la sismicité est concentrée dans la partie Nord, alors que dans la partie saharienne, très peu d'événements sont recensés, la région de la flexure sud Atlasique semblant être la région frontière entre les deux domaines Nord et Sud.

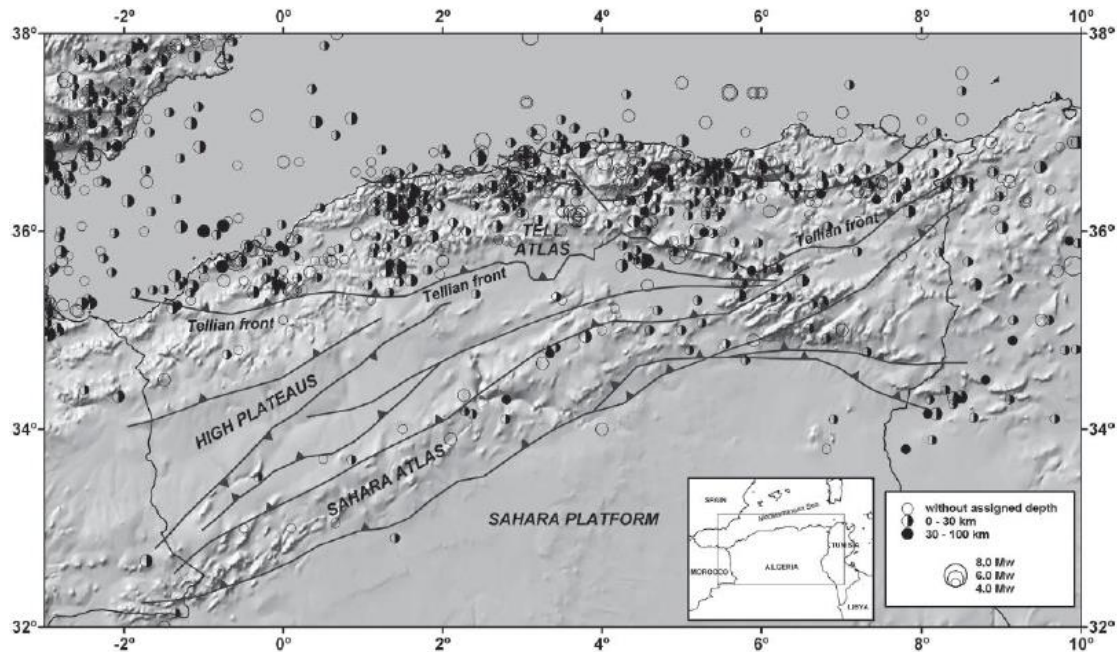


Figure 4 Carte 2 : La tectonique du Nord Algérien

Source: M. Hamdache, José A. Pelaez, A. Talbi,1 et C. Lopez Casado :

A Unified Catalog of Main Earthquakes for Northern Algeria from A.D. 1856 to 2008

Dans cette région Nord, il faut également remarquer que l'ensemble des régions ne semblent pas être affectées de la même façon, puisque la région Tellienne semble nettement plus sismique que la région des Hauts Plateaux ou de l'Atlas Saharien.

Ce constat ne doit pas occulter le fait que beaucoup de zones restent encore inexploitées du point de vue sismique et tectonique et qu'une réévaluation du potentiel sismique de certaines régions doit être envisagée dans le futur, modifiant quelque peu les cartes déjà établies.

On peut finalement affirmer que pour l'instant la région Tellienne est la plus exposée (Zone III), la région des Hauts Plateaux et la région de l'Atlas Saharien est également sujette à une faible sismicité (Zone II), la région saharienne présente une sismicité nulle (RPA 99 version 2003)¹².

1.3. Zones sismiques en Algérie :

Référence : le zonage sismique 2003 (arrêté du 11 Janvier 2004 portant approbation du document technique réglementaire relatif aux « règles parasismiques algériennes RPA 99/ version 2003 ») et les catalogues des séismes en Algérie (1994 et 2002)¹³.

¹² Synthèse du règlement parasismique Algérien version 2003

Le zonage sismique du territoire algérien montre que la bande tellienne notamment dans sa frange littorale est soumise au degré d'aléas sismique le plus élevé. Le territoire national est divisé en cinq (5) zones de sismicité croissante, définies :

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



Figure 5 carte 3 : zonage sismique en Algérie
Source : Auteur en référence du RPA99 version (2003)/ APRES

I.4. Le risque sismique à Alger

Depuis 2003, Alger est désormais considérée parmi les zones les plus affectées par ce phénomène (classée en zone III). Elle est aussi la plus vulnérable ville du pays notant que la région d'Alger concentre plus de 17% de la population nationale et la majorité du potentiel économique du pays. Elle est traversée par des failles qui font de notre pays un territoire à risque. Dans le passé, déjà des villes entières ont été complètement détruites, à titre d'exemple : Chleff à deux reprises lors des deux séismes de 1954 et 1980 ainsi qu'Alger : en 1365 et 1716.

I.5. Le contexte géologique algérois :

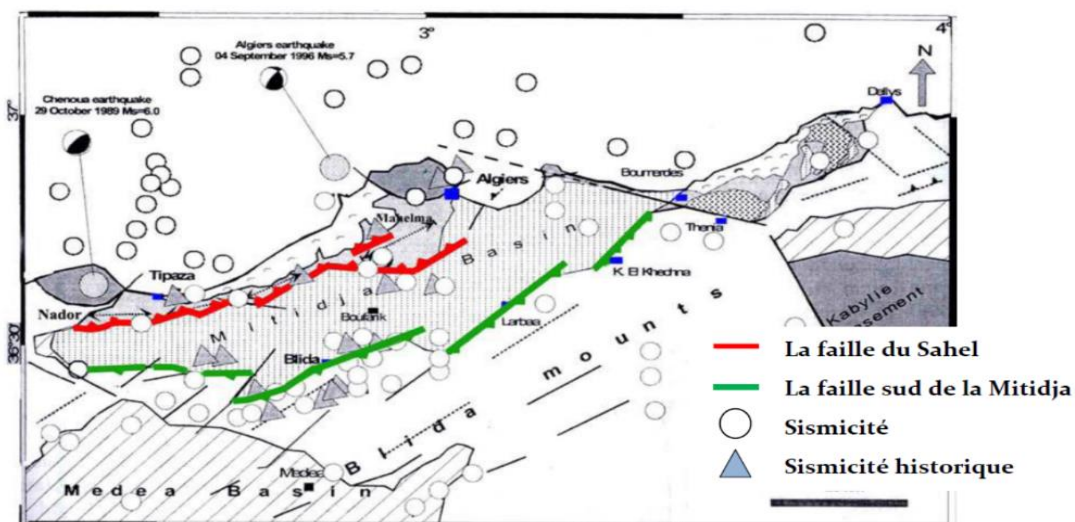


Figure 6 : contexte géologique algérois (les différentes failles)
Source : M.H.A.T ; programme d'aménagement côtier, maîtrise de l'urbanisation et de l'artificialisation des sols

¹³ Synthèse du règlement parasismique Algérien version 2003

L'algérois est essentiellement structuré par la plaine de la Mitidja qui est un bassin de type intra montagnoux, bordé au sud par le domaine des nappes formant l'Atlas Tellien. La série sédimentaire du bassin de la Mitidja s'étend du Jurassique au Miocène. Au pliocène, la mer y dépose des marnes bleues à intercalations gréseuses d'une épaisseur pouvant atteindre 1000 m (MEDD/DPPR/SDPR2003)¹⁴. A l'est la Mitidja est bordée par des affleurements de socle de type granitoïde apparaissant à Boumerdès et le long de la faille de Thénia.

I.5.1. Les failles actives dans l'Algérois :

Les études sismotectoniques et d'aléa sismique en Algérie du Nord n'ont sérieusement commencé qu'après le séisme d'El-Asnam en 1980 (Ambraseys, 1982¹⁵; Meghraoui, 1988¹⁶; Ambraseys et Vogt, 1988¹⁷). Aujourd'hui les principales failles actives intra-plaques de l'Algérie du Nord sont identifiées :

I.5.1.1. La faille du Sahel :

Il s'agit d'un pli-faille du Sahel. Il délimite le bassin de la Mitidja au Nord et il s'étend de Tipaza à Boumerdès. La faille du Sahel constitue la continuation vers l'est de la faille de Ménaceur (à l'ouest du Nador). C'est une faille de chevauchement qui est à l'origine du soulèvement de la région côtière s'étendant de l'est du mont Chenoua entre Nador et Tipasa-ville jusqu'à la baie d'Alger (une distance d'environ 70 km). Elle revêt une très grande importance vu qu'elle se situe au-dessous de la capitale du pays où demeurent plus de trois millions d'habitants.

I.5.1.2. La faille Thénia :

La faille de Thénia constituant la bordure NE du bassin de Mitidja s'étend des Issers au sud-est jusqu'à quelques kilomètres off-shore au Nord du massif de Bouzaréah dans la direction nord-ouest. La longueur de cette faille (des Isser jusqu'au Nord de Bouzaréah en Méditerranée) serait alors de 140 km dont seulement une trentaine de km est bien évidente au

¹⁴ MEDD/DPPR/SDPRM(2003) : Rapport préliminaire de la mission AFPS ; le séisme du 21 mai 2003 en Algérie, p : 18

¹⁵ AMBRASEYS, N.N. (1982): The seismicity of North Africa: the earthquake of 1856 at Jijeli, Algeria, *Boll. Geofis. Teor.Appl.*, **XXIV**, 93, 31-37.

¹⁶ MEGHRAOUI, M., (1988), Géologie des zones sismiques du nord de l'Algérie, tectonique active, paléo séismologie et synthèse sismotectonique, Ph.D. thèse, 356 pp., Univ. De Paris-sud Orsay, Paris.

¹⁷ AMBRASEYS, N.N. and J. VOGT (1988): *Material for the investigation of the seismicity of the region of Algiers*, *Eur. Earthquake Eng.*, 3, 16-29.

SE de la faille. Les catalogues de sismicité historique (Mezcua, 1983¹⁸; Benhallou, 1985¹⁹; Bennouar; 1994²⁰; CRAAG, 2001) montrent qu'antérieurement au 21 mai 2003, la région de Thenia est affectée par une sismicité modérée. Seuls les événements les plus importants et les plus récents ont fait l'objet d'une enquête macrosismique. Avec une magnitude Ms=5.2, le séisme de Thenia du 16 septembre 1987 est le plus important tremblement de terre connu dans l'Est algérois.

I.5.1.3. La faille de la Mitidja :

Il existe enfin d'autres failles actives proches de la capitale algérienne comme la faille sud de la Mitidja. L'analyse du bassin de la Mitidja laisse croire qu'une faille au sud du bassin, miroir de la faille du Sahel, continuerait jusqu'à Boudouaou au SW de Boumerdes. D'après Meghraoui et al. (2004)²¹, la faille qui a joué le 21 mai 2003 au large de Boumerdes, pourrait être une continuation de la faille sud de la Mitidja.

I.5.1.4. La faille du Chenoua :

Les répliques du séisme de Tipaza du 29 octobre 1989 ont permis de définir sa forme qui est en "L", une partie terrestre et une partie sub-méridienne en mer.

I.5.1.5. La faille de Zemmouri :

Selon les premières modélisations sismologiques et les observations de terrain, la faille active qui a causé le séisme du 21 mai 2003 est localisée en mer (figure : 5). Elle présenterait une direction N 65° (USGS) et se prolongerait sur une longueur

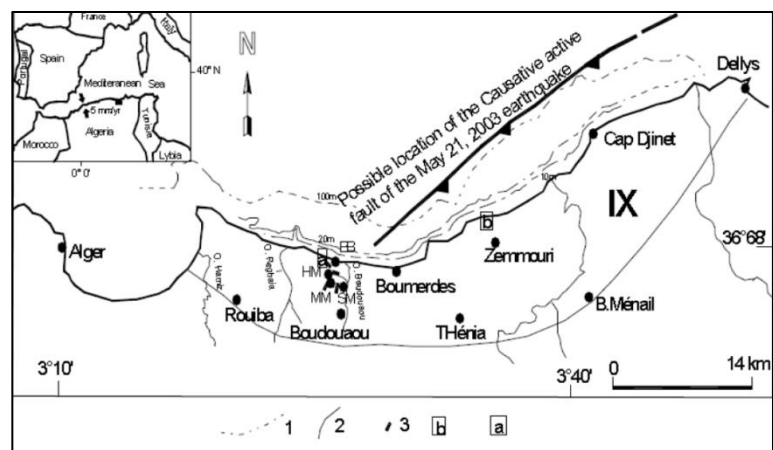


Figure 7 localisation de la faille de Zemmouri et la zone d'intensité maximale du séisme de 21 mai 2003

Source : M.H.A.T

¹⁸ MEZCUA, J., et J. M. MARTÍNEZ SOLARES (1983): *Seismicity of the Ibero- Maghrebian region*. Madrid: IGN Report (in Spanish).

¹⁹ BENHALLOU H.(1985). Les catastrophes sismiques de la région d'Echelif dans le contexte de la sismicité historique de l'Algérie. Thèse d'Etat. USTHB. Alger. 294 p.

²⁰ BENOUAR, D. (1994): Materials for the investigations of the seismicity of Algeria and adjacent regions during the twentieth century, *Ann. Geofis.*, XXXVII (4), pp. 416.

²¹ MEGHRAOUI, M., MAOUCHE, S., CHEMAA, B., CAKIR, Z., AODIA, A., HARBI, A., ALASSET, P.J., AYADI, A., BOUHADAD, Y. & BENI
Figure 8 localisation de la faille de Zemmouri et la zone d'intensité maximale du séisme du 21 mai 2003
31, L19605, loi:10.1029/2004GL020466. source : M.H.A.T

d'environ 30 km. Cette faille active qui était alors inconnue est révélée par le séisme violent du 21 mai 2003, de magnitude 6.8 (Yagi, 2003; Bouhadad et al. 2003). Le séisme du 21 mai 2003 a engendré des dégâts considérables dans la région Boumerdes et Alger. La faille de Zemmouri présente un pendage vers le SE dont le mouvement a causé un soulèvement de la côte d'environ 70 cm²².

I.5.1.6. La faille supposée en mer « faille de Kheir –Eddine » :

Un certain nombre d'indices plaident en faveur de l'existence de faille potentiellement active en mer, notamment les séismes de Chenoua (89), Aïn Benian (96), Boumerdès (2003) et surtout celui d'Alger en 1365 qui a engendré un tsunami et inondé la partie basse de la ville²³. Par ailleurs, l'historique de la sismicité en Algérie nous renseigne sur la fréquence de ce phénomène dans la zone d'Alger. En effet, plusieurs séismes majeurs y ont été enregistrés ou décrits. Les plus destructeurs sont ceux d'Alger en 1365, de Blida en 1825 et d'Alger en 1716.

I.6. Les effets du séisme sur les constructions :

Un séisme destructeur est souvent celui qui affecte une zone fortement urbanisée causant d'énormes dégâts affectant en 1^{er} lieu les constructions. Les conséquences du séisme d'Alger-Boumerdès sur les constructions étaient surprenante, c'est la première fois que des bâtiments de quatre voir cinq niveaux se sont effondrés en mille-feuilles

L'effondrement en millefeuilles des immeubles a prouvé que les normes parasismiques étaient une notion totalement étrange. Ni les particuliers et encore moins les pouvoirs publics n'ont construit de manière à ce que les bâtisses résistent aux séismes. Même si les spécialistes ont fini par reconnaître que la législation de l'époque n'était pas parfaite, cependant des textes existaient, réglementant l'acte de bâtir.

II. Vulnérabilité sismique des bâtiments :

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

²² ABDESSAMED FOUFA Aicha Amina. Contribution pour la redécouverte de techniques constructives traditionnelles sismo-résistantes adoptés dans les grandes villes du Maghreb (Alger, Fès et Tunis) durant le XIIIème siècle. Thèse de doctorat. Alger, EPAU 2007.

²³ MEGHRAOUI, M., MAUCHE, S., CHEMAA, B., CAKIR, Z., AODIA, A., HARBI, A., ALASSET, P.J., AYADI, A., BOUHADAD, Y. & BENHAMOUDA, F. (2004). Coastal uplift and thrust faulting associated with the Mw = 6.8 Zemmouri (Algeria) earthquake of 21 May, 2003. Geophysical Research Letters, 31, L19605, doi:10.1029/2004GL020466.

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.

Afin d'évaluer le risque sismique, la vulnérabilité des constructions à travers les événements sismique doit être définie et quantifiée. La vulnérabilité exprime généralement le degré de dommage attendu d'un élément donné lors d'un séisme donné. Actuellement pour la majorité des régions en Algérie une connaissance raisonnable de l'aléa sismique est disponible. Ce qui fait encore défaut est la connaissance des fonctions de vulnérabilité pour les éléments structuraux à risque, en termes de dommage et le niveau de mouvement des sols. Plusieurs critères de l'évaluation de la vulnérabilité sont proposés de la dans la littérature²⁴. Le problème demeure toujours mal compris. Un critère approprié par exemple est d'arriver à décrire avec un certain degré de précision le comportement de la structure durant une excitation sismique. Le travail est compliqué, particulièrement pour les cas de constructions anciennes, en maçonnerie de pierre non chaînées et non calculées, le comportement de la structure lequel la plupart du temps reste imprévisible. En d'autres termes le critère accepté dans la philosophie décrire plus haut mais consommant beaucoup de temps, comprenant beaucoup d'incertitudes dans la modélisation de la structure et exigent des professionnels extrêmement compétant, ne peut être appliqué à grande échelle²⁵.

II.1. Evaluation de la vulnérabilité sismique :

L'identification des divers facteurs affectant la vulnérabilité du bâti existant est de toute première importance pour évaluer leur tenue sismique.

Les principaux facteurs sont :

L'âge du bâtiment, le matériau et le type de structure utilisée, l'usage ainsi que son état de maintenance.

L'excitation sismique est généralement exprimée en termes d'un seul paramètre, tel que l'intensité (I) l'accélération de pointe maximale (PGA). Il est vrai qu'en utilisant un seul paramètre, l'information sur le mouvement du sol est limitée, conduisant à un large nuage des effets produit par des événements sismiques différents caractérisé par la même valeur du paramètre considéré. Vu les différents incertitudes dans le génie civile, l'adoption d'un seul paramètre de l'excitation sismique est presque obligatoire. Le paramètre intensité (I) dans

²⁴ ABDESSAMED FOUFA Aicha Amina. Contribution pour la redécouverte de techniques constructives traditionnelles sismo-résistantes adoptés dans les grandes villes du Maghreb (Alger, Fès et Tunis) durant le XIIIème siècle. Thèse de doctorat. Alger, EPAU 2007.

²⁵ Idem.

l'échelle MSK est utilisé pour décrire les effets de l'excitation. Il est clair que les dommages utilisés dans le développement des fonctions de vulnérabilité seront pris des résultats de différentes campagnes de terrain après certain séismes réalisées par le CGS et le CTC, stockés soit en fichiers informatisés soit en fiches cartonnées. Chaque fiche consiste à l'analyse détaillée de chaque construction en mentionnant clairement les coefficients pathologique observés, concernant les éléments structuraux ou non structuraux. Les informations collectées doivent être prudemment structurées, organisées et éventuellement saisies (dans le cas où elles ne le sont pas déjà) avant de pouvoir être exploitées. Dans chaque échantillon, une évaluation de l'importance des dommages par critère pathologique est réalisée. Ceci permettra de mieux apprécier les coefficients de vulnérabilité et conduira à une pondération adéquate de ces paramètres pathologiques et par conséquent au développement des fonctions de vulnérabilité avec un certain degré de fiabilité²⁶.

L'estimation des dommages par structure la vulnérabilité sismique directe s'exprime par une fonction de dommages attendus aux constructions (léger, modérés, grave, effondrement) selon l'intensité de l'événement. Evaluer la vulnérabilité sismique d'une structure signifie donc exprimer de telle fonction de dommages²⁷, c'est-à-dire en d'autre mots prévoir le comportement d'une structure donnée lors d'un séisme donné.

Des études antérieures ont montré que des événements de même intensité (I) ont causés des dommages considérablement différents sur les constructions. Malgré le développement des connaissances des mouvements forts du sol, l'intensité reste un paramètre important dans l'observation des dommages enregistrés lors des derniers séismes, à compter celui de l'Asnam de 10 Octobre 1980. La quantité de dommages enregistrée dans chaque structure expertisée obtenue en attribuant à chaque élément une valeur dans une échelle graduelle représentée par des niveaux et de couleurs (tableau 1). Le dommage total de la structure est égal à la somme des dommages enregistrés de toutes les composantes structurelles et non structurelles du bâtiment. L'importance des dommages est exprimée en pourcentage²⁸.

Dommage	Nul	Léger	Modéré	Important	Destruction
Niveau	1	2	3	4	5

²⁶ Idem.

²⁷ ABDESSAMED FOUFA Aicha Amina. Contribution pour la redécouverte de techniques constructives traditionnelles sismo-résistantes adoptés dans les grandes villes du Maghreb (Alger, Fès et Tunis) durant le XIIIème siècle. Thèse de doctorat. Alger, EPAU 2007.

²⁸ Idem.

Couleur	verte	verte	orange	orange	Rouge
Pourcentage	0%	25%	50%	75%	100%

Tableau 2 : échelle d'évaluation des degrés des dommages

Pour une structure donnée le dommage est compris entre 0 et 100%. Cette méthode de coefficients de vulnérabilité permet d'identifier les éléments structuraux et non structuraux susceptible d'influer considérablement le comportement sismique du bâtiment considéré²⁹. L'indice de vulnérabilité (v) pour chaque structure est constitué de la somme des produits de tous les degrés d'appréciation des critères pathologiques par leurs coefficients de pondération. Il est représenté par une fonction de la forme suivante³⁰ :

$$V = V_m * a + E_s * b + C_m * c + I_e + A_{ss} * e + R_f * g$$

Ou :

V : représente l'indice de vulnérabilité de la structure

V_m, E_s, C_m, I_e, A_{ss}, R_f : représente les paramètres pathologiques observés

a, b, c, d, e, g : représente leurs coefficients de pondération

Corrélation ou fonction de vulnérabilité

La corrélation (ou fonction de vulnérabilité) entre les dommages enregistrés (D) et les indices de vulnérabilités déterminés (V) peut être développée sous l'une des formules suivantes :

Fonction linéaire : $D = \alpha * V + \beta$

Fonction quadratique : $\alpha + V^2 + \beta * V + \delta$

Fonction cubique $D = \alpha * V^3 + \beta * V^2 + \lambda * V + \delta$

L'analyse des paires (D, V) permettra de déterminer les coefficients de régression α , β , λ , et δ par la méthode des moindres carrés et par conséquent la fonction de vulnérabilité. Cette fonction nous permettra, en fonction de l'indice de vulnérabilité du bâtiment, de prévoir un degré de dommage attendu avec un certain degré de dommage attendu avec un certain degré

²⁹ D.BENEDETTI et al. Séisme vulnérability index versus damage for unreinforced masonry buildings. International conference on reconstruction, restoration and urban planing in seismic .P333 à 347.Skopje, 1985.

³⁰ ABDESSAMED FOUFA Aicha Amina. Contribution pour la redécouverte de techniques constructives traditionnelles sismo-résistantes adoptés dans les grandes villes du Maghreb (Alger, Fès et Tunis) durant le XIIIème siècle. Thèse de doctorat. Alger, EPAU 2007.

de fiabilité. Cette méthode basée sur les facteurs de pathologies nous permettra de dimensionner les mesures préventives à appliquer pour les bâtiments existants dans les zones sismiques actives dans le cadre de la politique de la réduction du risque sismique.

Conclusion

L'Algérie, comme les autres pays méditerranéens, est sujette à une activité sismique importante. Situé sur la bordure de la plaque africaine laquelle est en mouvement continue de collision avec la plaque eurasienne, ce mouvement est responsable des séismes destructeurs qui se sont produits en Algérie et causés d'énormes pertes en vies humaines et en matériel. Puisque le risque sismique peut être défini en une simple forme comme la convolution de l'aléa et la vulnérabilité, du même peut être réduit en évaluant l'aléa et en réduisant la vulnérabilité des éléments à risque.

L'analyse de la vulnérabilité sismique, et la détermination des fonctions de vulnérabilité, permettront de renforcer les constructions existantes en fonction des paramètres de vulnérabilité déterminés, en incluant sa capacité de résistance aux efforts latéraux générés par les séismes.

**Chapitre N°II : Pathologies des
matériaux et des structures**

Introduction :

Au fil du temps les différents matériaux constructifs d'une construction subissent des diverses dégradations d'ordre physique, chimique mécanique ou biologique, sans oublier l'action de l'homme à travers le manque d'entretien et parfois des interventions inadaptées. Dans ce chapitre nous allons étudier les différentes pathologies qui peuvent affecter les constructions traditionnelles et particulièrement celle du patrimoine ottomane en Algérie,

Cette étude est une étape primordiale pour l'élaboration du projet de renforcement ou de réhabilitation, par ce qu'une bonne connaissance des pathologies nous permettra d'établir le bon diagnostic. Il s'agit donc de recenser toutes les pathologies et les désordres afin d'organiser les interventions suivant le degré de dégradation et enfin désigner, quelle est la technique la plus adaptée pour un type de construction ?

Pathologies des matériaux et des structures

I. Pathologies sous l'action de l'eau :

L'eau cause des dégradations sur les surfaces des murs, essentiellement dans les zones d'usures à savoir les escaliers, toiture-terrasse, bas des murs, induit par le manque de résistance des enduits à l'effet du temps, à l'érosion et le manque d'adhérence à a structure porteuse. Elle concerne aussi les éléments de finition tels que les portes, les fenêtres, carrelage, peinture, faïence, marbre, etc.

I.1. Les différentes sources d'eau :

Trouver l'origine des différentes formes d'humidité dans le bâti est une étape primordiale pour régler le problème. Les différentes sources d'eaux proviennent de l'extérieur mais également de l'intérieur d'une maison. Ses sources peuvent être occasionnelles ou constantes³¹. Cette humidité provoque des désordres, en effet lorsque celle-ci sature, les pores des matériaux, leurs résistances mécaniques et thermiques diminuent : elle se manifeste par l'infiltration directes, par condensation et par remontée capillaire³²

I.1.1. Infiltrations directes :

³¹ Yves Baret traiter l'humidité. Chantiers pratiques Editios Eyrolles, Février 2011.p.36 à 47.

³² Christophe Rober et Hervé .Op.Cite.p.84

Ce type d'infiltration a pour origine l'eau de pluie : les ruissellements, et les infiltrations des eaux de pluie par les joints. La force pluviale entraîne une pénétration de l'eau dans les enduits et peut même atteindre la maçonnerie. Ces dégradations sont encore plus visibles dans les zones maritimes où les pluies sont chargées d'embruns et déposent les sels sur les maçonneries³³.

I.1.2. La condensation :

Ce type d'humidité a pour origine, la vapeur d'eau provenant de l'activité humaine dans la maison, elle se produit lorsque la vapeur rencontre une surface froide dont la température correspond à son point de rosée, on assiste donc à une condensation de la vapeur sur cette paroi sous forme liquide³⁴

I.1.3. Les remontés capillaires

Remontés des eaux du sol par capillarité à travers le mur causées par une absence ou détérioration de l'étanchéité à sa base

I.2. Action de l'eau sur les matériaux :

I.2.1 Dégradation de la surface des murs :

La dégradation des murs en pour origine les ruissellements au niveau de la façade des murs. Ces dégradations peuvent être aussi bien intérieures qu'à l'extérieur. Elle se manifeste généralement par :

De fines fissures filiformes dans l'enduit : fissures grossières de gonflement ; éclatement de surface de mortier: décollement et ouvertures de joints mortier.

L'eau qui s'infiltré ou coule le long des murs, fait que les enduits gonflent et les mortiers se détachent. Il peut aussi résulté des traces visibles par des souillures et des efflorescences d'hydrate de chaux.

I.2.2. Dégradation de l'enduit :

Cette dégradation se produit par infiltrations directes et par remontées capillaires.la pression de la pluie entraîne une pénétration de l'eau dans les enduits réduisant ainsi leur

³³ 3G. Duval .restauration et réutilisation des monuments anciens .Mardaga 1990.

³⁴ Jean et Laurent Coignet .maison ancienne. .Op.Cite.p.112

épaisseur. Concernant les remontées capillaires, l'eau provenant du sol remonte par capillarité à travers les enduits, véhiculent parfois les substances agressive telles que les sels minéraux (nitrates, sulfates ou chlorures) qui peuvent former des traces brunes ou blanchâtres et dégradent de manière irréversible le matériau³⁵. Elle peut aussi être due à la présence de l'humidité : résultat des actions du liants (la chaux) action des bactéries crypto phages et des moisissures.

I.3. Action de l'eau sur les éléments structurels en maçonnerie :

L'humidité provenant de la pluie, des infiltrations d'eau des condensations d'humidité par endroit, (présence de puits bassin d'eau réservoir, etc.), engendrant des répercussions sur les éléments en argiles de la pierre et par conséquent conduisent à la cristallisation des sels dans sa microstructure provoquant les contraintes internes.

I.3.1. Dégradation de la pierre due à la présence d'eau et d'humidité (production d'altération chimiques autant que physiques)

L'action de l'eau associée à d'autres facteurs, accentue la dégradation de la pierre. La rétention par gonflement, exemple de l'argile contenu dans la pierre³⁶ 6, ainsi que les caractéristiques de sa microstructure conditionnent le mouvement des eaux. Cette humidité, est la cause de la plupart des changements physiques et chimiques, survenant dans la structure des éléments en pierre. L'eau crée de façon directe l'érosion des éléments de pierre, et de façon indirecte par le biais du transfert de sels solubles et de leur cristallisation. L'effet du changement continu d'humidité et de sécheresse : rythme d'humidité qui est l'une des causes principales de la formation de croûtes³⁷.

I.3.2. Dégradation des éléments en argile et cristallisation des sels (la perte de matière par dissolution, création de pores et de cavitations)

Il s'agit d'une altération du matériau, qui modifie son comportement par rapport à l'eau induite par des causes :

- **d'humidité de condensation hygroscopique :**

³⁵J. Jeannet B Pignal, G Pollet et P. scarato .Op.Cite.p.47 .

³⁶YM Froidevaux, Techniques de l'architecture anciennes .Construction et restauration .Troisième édition Mdraga .1993

³⁷ D Stefan Moraru, (l'humidité dans les bâtiments causes, effets et remèdes) Bucarest ,1984.

Les nitrates, les chlorures, les carbonates, les sulfates exercent dans les pores lorsqu'ils cristallisent des pressions qui détériorent les matériaux. Ces substances chimiques solubles dans l'eau, lorsque le mur s'évapore, restent retenues dans ses porosités où ils cristallisent ; il se forme alors une poudre blanchâtre ou une croûte ou encore une sorte d'excroissance spongieuse de sel appelé aussi efflorescence (*fig :9*).



Figure 9 Efflorescence sur un mur
Source : ACHAB Samia

- **d'humidité provenant de sources de vapeur :**

Les sous-sols attirent vers eux la vapeur d'eau du terrain, qui l'entoure en plus de l'eau condensée et des points de pénétration d'eau liquide (pluie). Ces espaces au paravent étaient ventilés, l'eau liquide était drainée et conduite jusqu'au point de réserve (puits), mais le changement d'usage et l'introduction de fenêtres trop étanches ont été la cause d'apparition de pathologie due à la condensation manifestées par la croissance de colonies biologiques (bactéries et champignons), sur les parements aux points les plus froids du mur et/ou les moins ventilés (coins, angle etc).

- **L'humidité par filtration de l'eau de pluie pénètre dans le parement par l'intérieure de deux mécanismes**

- Par mécanisme d'absorption et de succion au travers des pores du matériau. Cela se fait par filtration à travers des joints et des pathologies commencent à apparaître lorsque les mortiers de fixation ou de joint se détériorent (variation de température, effet du temps).
- Ou par remonté capillaire l'augmentation du volume par l'absorption d'eau, entraîne l'apparition de forces mécaniques dans sa composition qui désorganise la pierre³⁸.

Ces sels solubles se trouvent dans les roches posées sans isolation horizontale, ou introduit par les mortiers et les enduits. Ils pénètrent dans les pores ou dans les fissures de petite taille de la pierre³⁹. Après l'évaporation du mur ces sels solubles (ex : des sulfates) vont cristalliser dans les parties les plus hautes de la zone d'imprégnation, il se forme des taches,

³⁸ D Stefan Moraru, l'humidité dans le bâtiment cause, effets, remèdes. Bucarest, 1984

³⁹ M-ANGELI, J-p BIGAS, B-MENENDEZ, R-HEBERTI. Altération par les sels des pierres de la construction. Université Cergy-Pontoise. Laboratoire CNRS UMR7072

des efflorescences. Ces sels en se cristallisant causent plus de dommages dans les pores et les microfissures de la pierre mais néanmoins ils provoquent une accélération du développement des croutes, provoquer par des tensions mécaniques et réduction de la surface de la pierre par des cavassions, séparation de petites parties de la pierre et craquellement⁴⁰.

I.3.3. Action du gel et du dégel

La répétition des séquences, de gels/dégel entraîne une diminution de la cohésion de la pierre. Lors du gel l'eau augmente de 9% de volume, ce phénomène entraîne des tensions mécaniques dues à la glace provoquant des ruptures, d'abord microscopiques. La dégradation de l'élément de pierre, résulte de l'atteinte de la valeur de la teneur en eau dans les pores dite critique⁴¹ au-delà de laquelle le matériau subit des altérations cette valeur critique varie selon les caractéristiques de structures poreuse de 60% à 100% du volume totale des vides⁴². Le mécanisme de gélification dépend : des conditions climatiques, des propriétés du milieu preux de la pierre de la situation des pierres dans la construction et enfin de pierre sèche ou fortement imbibée d'eau.

I.4. Action de l'eau sur les éléments de décorations et de finitions :

I.4.1. Dégradation des éléments en marbre et tufs :

I.4.1. 1. L'action de la nappe phréatique (eau souterrain)

L'altération des éléments en marbre posés directement sur le sol, est due au mécanisme de l'humidité ascensionnelle, l'eau chargées des sels par remonter capillaire, pénètre dans la structure du marbre et provoque des contraintes internes lors de son évaporation⁴³

I.4.1.2. L'action de condensation

La porosité de marbre blanc augment avec son âge : ceci en rapport avec les phénomènes internes de fissurations causées par les cycles thermiques⁴⁴.la condensation se manifeste à la surface du matériau sous forme d'un film d'eau très mince, provoquant plus de

⁴⁰ Y.M Froidvaux Op. Cité.

⁴¹ M.Mamillan, pierre de carrière et produits manufactures. Centre technique et de documentation. Cated.2003.

⁴² F.Virolleaud; Le ravalement : guide technique, règlementaire et juridique. Le moniteur 1990

⁴³ Géorgio Torraca, op,cité p 11

⁴⁴ Géorgio Torraca, op,cité p 42

dégât que l'action directe de l'eau de pluie ou celle provenant du sol elle peut générer la détérioration du marbre en deux phases :

-Phase d'humidification la nuit : par l'attaque des acides

-Phase d'assèchement jour : par la cristallisation des agents polluants⁴⁵.

I.4.1.3. L'action du gel-dégel

L'eau à l'état solide fragilise le matériau et provoque également le détachement et le éclatement des grains de matériau en question⁴⁶.

Pour le marbre se traduit par un détachement des plaques en surface des causes et une fragmentation des angles⁴⁷.

L'eau à l'état liquide (eau de pluie) par son action mécanique, altère le marbre. Dans ce cas l'eau est très agressive car en contact avec la surface de marbre peut libérer ces grains et provoquer le phénomène de la désagrégation. Cette eau de pluie fait des réactions chimiques et agit comme un solvant surtout en présence de l'anhydride sulfureux et le gaz carbonique⁴⁸.

I.4.2. Action de l'eau sur les éléments structurels en bois :

Le bois est un matériau que l'on retrouve sous diverses formes, rondins en bois de thuya⁴⁹

Solive, voliges pour planchéage, planches et pièce de bois planchettes Etc.

Dans des conditions appropriées le bois est connu comme un matériau très durable néanmoins lors des investigations menées sur terrain le constat des dégradations sur certains de ces éléments structurels s'interprètent, par des fissures et des altérations ; témoins d'une présence de leurs principaux ennemis tels : la pluie ; variation d'humidité

Des champignons ainsi que d'autres processus biologiques dégradant, qui se traduisent par l'altération de ses structures au niveau des parties affectées par l'eau. Dû aussi à la différence de taux d'humidité entre l'intérieur et l'extérieur, par les tensions qui donnent naissance à des déformations, voire à l'apparition de gerces provenant de la contraction du bois lorsqu'il sèche et de la perte non uniforme d'humidité⁵⁰.

⁴⁵ Idem.

⁴⁶ Coque (R) —géomorphologie, 5ième édition, Paris, 1977, p 100.

⁴⁷ Marc Mamillan, pathologie et restauration des constructions en pierre, Rome, 1977, p 21.

⁴⁸ Talobre .J.A, La mécanique des roches et ses applications, 3ième édition, Paris, 1967, p 38.

⁴⁹ Espèce d'arbre de la famille des cupressacées.

⁵⁰ Cahiers du centre technique du bois et de l'ameublement, d'après les résineux français, septembre 1984.

Ces désordres pouvant être accentués par des déformations liées à un sous dimensionnement de ses structures ajoutées au phénomène d'humidité, résumé dans le principale cycle générateur de désordre suivant⁵¹.

Sous dimensionnement et /ou surcharge et /ou humidité = déformation = entrée d'eau = pourrissement

La structure des planchers formée de rondins en bois de thuya .s'altère dans ces points d'appui à cause des moisissures des parasites ou des insectes⁵².

Sa dégradation peut être aussi d'origine accidentelle à savoir ; fuites aux niveaux des terrasses (planchers effondrés, étanchéités défectueuses ;;) de canalisation ou contact avec un corp humide.

I.4.2.1. Le retrait du bois

L'expansion (le gonflement) ou la contraction (le retrait) du bois qui se courbe et se déforme en cas de charges permanentes, est dû au changement des conditions d'humidité et de température car : les variations du pourcentage d'humidité induisent des variations de la masse volumique du bois et des variations dimensionnelles⁵³

Lorsque le retrait est empêché par des assemblages , le bois se fend (*figure 7*) , ces fentes de retrait peuvent se répartir en petites tailles ou être singulière avec des profondeurs assez remarquables formant des pièges à eau favorisant le développement de substances néfastes et des champignons de pourriture très dangereux , qui diminuent leurs résistances mécaniques , voire même les annulent .On distingue trois types de pourritures :

- Pourriture brune ou cubique induisant une perte de résistance pouvant être totale (figure 8)
- Pourriture blanche ou fibreuse le bois atteint un niveau important de dégradation et de perte de résistance

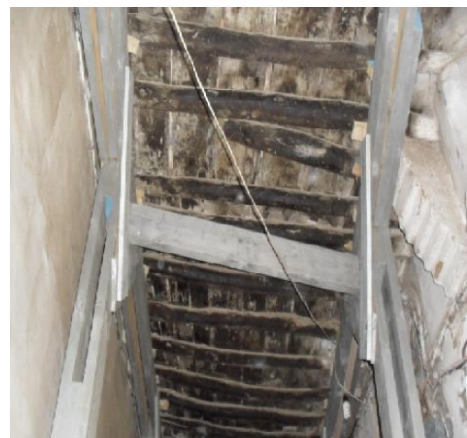


Figure 10 fléchissement du bois probablement du à une sollicitation excessive.

Source :ACHAB Samia



Figure 11 Pourriture blanche cause de dégradation et de perte de résistance du bois

Source : ACHAB Samia

⁵¹ J Coignet « arts de bâtir traditionnels : « connaissances et techniques de réhabilitations » EDISUD, 1987.

⁵² Cahiers du centre technique du bois, Op.cité.

⁵³ Cahiers du centre technique du bois et de l'ameublement, d'après les résineux français, septembre 1984.

Pourriture molle responsable du bois en présence d'un taux d'humidité élevé. Cette attaque est constatée sur des éléments en contact avec la terre⁵⁴

II. Pathologies sous l'action des végétaux :

Plusieurs types de dégradations d'origines végétale (plantes, arbustes, mousses, lichens,) envahissent la maçonnerie et l'ensemble de la construction .Cette invasion est favorisée par plusieurs facteurs seuls ou conjugués ; l'humidité, la lumière,...

II.1. Action des végétaux sur les éléments structurels en maçonnerie de pierre :

Sur les murs en pierre, des organismes biologiques peuvent se développer à savoir ; les algues, les mousses les lichens et les végétaux supérieurs qui par leurs fonctions leurs métabolismes (*fig 12*), ou leurs manifestations visible peuvent créer des altérations physiques chimiques ou des maladies de la pierre⁵⁵ dépendant de la constitution des roches et du milieu environnant⁵⁶. Le climat méditerranéen chaud et humide favorise le développement de ce mécanisme d'altération ou certaines bactéries non perceptibles à l'œil nu (sulfobactérie et nitrobactérie).



Figure 12 Présence de mousses / à une présence au moins temporaire d'eau
source achab samia

II.1.1. Actions des végétaux supérieurs (arbres et plantes) :

Par défaut d'entretien, des algues, des mousses se développent, sur lesquelles les pollens des végétaux supérieurs, trouvent un milieu favorable à leurs proliférations ; Les racines de ces végétaux



Figure 13 Présence de plantes (le figuier) dans un mur
Source : ACHAB Samia

⁵⁴ Université de colombie-britannique(UBC).Op. Cite.

⁵⁵ J.PHILLIPON,D-JEANNETTE et R-LEFEVRE (Altération des pierre Ministère de la culture ,Paris 1990.

⁵⁶ M .Louvigné humidité dans les bâtiments prévention et traitement Centre d'assistance technique et de documentation CATED.2000.

peuvent faire éclater les roches elles-mêmes ou les joints par pression continue⁵⁷, qui accentue la dégradation et la détérioration de cette maçonnerie, elles concourent non seulement à la dégradation physique mais apportent des éléments chimiques agressifs favorisant l'humidification du milieu⁵⁸, accentuant son altération (*fig 13*).

II.1.2. Action des algues et lichens

Les murs sont souvent recouverts en présence d'humidité, peu ou pas éclairé, par des algues et divers micro-organismes provoquant la formation de dépôt noirs visqueux, le plus souvent à l'intérieur de la maison en présence de d'humidité et à l'abri du soleil direct par de nombreuses salissures. Cette végétation prolifère généralement dans les soubassements de façade (*fig 14*) ou les endroits en contact avec le sol, du fait qu'il reste humide par remonter des eaux par capillarité⁵⁹.



Figure 14 Prolifération de salissures vertes due à une humidité permanente
Source : ACHAB Samia

Les champignons et /ou à la présence des sur un parement nus aide à localiser rapidement une zone d'humidité sur les éléments le composant

Cette présence est, aussi associée à la présence de mousses observées en particulier sur les joints de mortier de pieds de murs humides qui font écran de son évaporation

Les algues et les champignons sont les organismes biologiques, les plus répandus qui causent l'érosion des matériaux pierreux dues aux modifications chimiques entraînées par ces derniers.

La dégradation physique de la pierre par les lichens est la pénétration de ses racines qui lui permet de s'accrocher aux murs.

À l'emplacement où se développe les algues on observe souvent une humidité supérieure à la teneur en eau d'équilibre du fait que par suite d'humidification de séchage successif de la pierre engendré des détériorations et des dégradations de la matière en surface et en

⁵⁷ J.PHILLIPON, D-JEANNETTE et R-LEFEVRE (Altération des pierres monumentales en France) CNRS édition/ Ministère de la culture, Paris 1990.

⁵⁸ J.PHILLIPON, (La dégradation de la pierre), Institut de formation des restaurateurs d'oeuvre d'art (ENP-IFROA) France 1997.

⁵⁹ M.Louvigné humidité dans les bâtiments prévention et traitement Centre d'assistance technique et de documentation CATED. 2000.

profondeur la végétation a besoin d'eau, engorgé dans le mur⁶⁰. Ce fait d'humidification et de séchage successif de la pierre engendre des détériorations et des dégradations de la matière en superficie et en profondeur.

II.2. Action sur les éléments structurels en bois :

Sous l'action des agents abiotiques (insectes et champignons) le bois se dégrade. Le taux d'humidité (variant de 20% à 30% d'humidité⁶¹) l'emplacement de la pièce en bois et sa mise en œuvre, favorisent le développement des champignons et/ou le risque d'attaque de termites de cycle larvaire⁶².

Ces désordres dus à l'action des champignons (*fig 15*), par la présence de conditions d'humidité et de température, accompagnées du manque de ventilation, favorisent leurs proliférations causant sa dégradation.

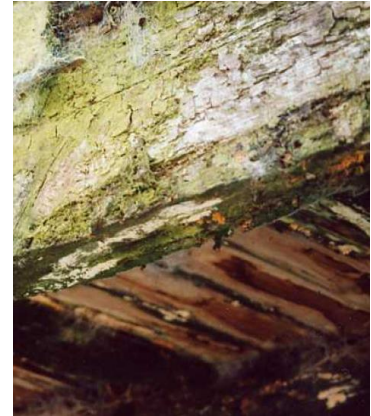


Figure 15 Développement de champignons altérant le bois
Source : ACHAB Samia

III. Pathologies sous l'action du climat et de la pollution atmosphérique :

III.1. Action de la température

III.1.1 Sur les éléments structurels en maçonnerie de pierre :

La variation de température provoque une décohésion interne et un cisaillement entre les cristaux⁶³. L'altération se manifeste sous forme d'éclatement de la matière, de fissuration, et d'écaillage. Des éléments de pierre joint avec un mortier ; ne trouvant pas assez d'espace libre pour se dilater éclatent⁶⁴.

III.1.2. Sur les enduits :

L'ensemble des enduits dans les constructions traditionnelles sont soumis à des actions de dilatation et de tractions sous l'influence du climat et des variations thermiques entraînant avec le temps des décollements ou des fissures sur l'ensemble.

⁶⁰ M.Mamillan .Restauration des bâtiments en pierre Centre International d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels .1972

⁶¹ Julius Natterer, Traité de génie civil, construction en bois, matériaux, technologie et dimensionnement, presse polytechnique et universitaire Romande, Lausanne 2004.

⁶² Michel Houeix, fiches pathologiques bâtiment, Agence Qualité construction(AQC), SMABTP .paris200

⁶³ F Viroullaud, op. Cité.

⁶⁴ M.Mamillan, restauration des monuments en pierre, op. Cité.

III.1.3. Sur les éléments de décorations et de finitions :

La variation de température dans les constructions fragilise le marbre et accélère leur dégradation. Il est à noter que le coefficient de dilatation thermique du marbre reste insignifiant par rapport à d'autres matériaux ; si on prend les variations dimensionnelles dues au changement de température de 30° c par des pièces d'un mètre de long: est de 0,15mm pour le marbre par contre elle est de 0,25mm pour le granit et de 0,7 mm pour l'aluminium⁶⁵.

III.2. Action de la pollution atmosphérique

III.2.1. Sur les enduits

Les constructions dans les médinas subissent l'impact d'un environnement pollué, apparaissent alors, certain dommage par les altérations dans la qualité des enduits, souvent attribué aux vapeurs acides de l'atmosphère. Certaines constructions proches de la mer subissent des inconvénients liés au climat marin

III.2.2. Sur les éléments structurels en maçonnerie de pierre :

La dégradation du parement de pierre peut être accentuée par un taux de pollution atmosphérique élevé, modifiant leurs propriétés, modification minéralogique de sa couche superficielle sans qu'il n'y est de lésions apparentes. Le dioxyde de soufre est le polluant fondamental impliqué dans la détérioration de la pierre dans un milieu rural moins pollué⁶⁶, après évaporation, la cristallisation des sels dissous dans l'eau forme une couche plus dure sur la pierre calcaire, qui contribue à sa protection naturelle de sulfate calcique (CaSO₄)⁶⁷. Contrairement à un parement de pierre, exposé à une atmosphère plus polluée en milieu urbain et industrielle. Les agents polluants sont le dioxyde de carbone (CO₂), et les oxydes de soufre (SO₂)⁶⁸. Entraînant des modifications dans la pierre calcaire expliquant la décohésion de plaque à sa surface exposée aux intempéries⁶⁹.

III.2.2.1 Actions de la pollution atmosphérique (soufre et oxydes de carbone) :

⁶⁵ Giorgio Torraca, op, cité, p 29.

⁶⁶ P.WATKISS, N-EYRE, M-HOLLAND, A-RABL et N-SHORT (Effets de la pollution atmosphériques sur les matériaux de construction) AEA Technology, UK, Janvier 2001.

⁶⁷ F-Virolleaud. Le Ravalement : guide technique, réglementation et juridique, Le Moniteur, 1990.

⁶⁸ K-BECK (étude des propriétés hydriques et des mécanismes d'altération de pierres calcaires à forte porosité) Thèse de doctorat Université D'ORLEANS octobre 2006.

⁶⁹ M-ANGELI, J-P.BIGAS, B-MENENDEZ, R-HERBERTIR, et C-DAVID, op. Cite.

Les transformations de l'environnement atmosphérique, est due à la pollution d'origine industrielle. L'apport à l'état sec ou humide (pluie ou brouillards acides) et des particules véhiculés par le vent, entraîne la dégradation et la réduction de la résistance de la pierre au temps⁷⁰. Les principaux polluants atmosphériques responsables des dégradations sont : les dioxydes de soufre SO₂, les oxydes d'azote NO₂, les hydrocarbures HC et les composés organiques volatils, l'azote O₃..., etc. ces gaz agissent soit directement, soit dissous dans l'eau⁷¹.

IV. Pathologies liées à l'intervention de l'homme :

IV.1. Action sur les enduits : Des installations irraisonnées de parabole et de poteaux électriques de boîte de dérivation causant fissuration et effritement de l'enduit.



Figure 16 Réfection de l'enduit à base de mortier de ciment
Source : auteur

La méconnaissance des procédés traditionnels en matière de protection des surfaces et l'incompatibilité physico-chimique au ciment/support et peinture vinylique (*fig 16*).

IV.2. Action sur les éléments de décorations et de finitions :

Les produits utilisés dans la restauration /conservation peuvent avoir un effet néfaste sur le marbre .Ex utilisation des acides spéciaux ou des bases fortes, etc. Ces produits même s'ils ne provoquent pas des dégâts immédiats pourrai se manifesté ultérieurement. Des erreurs sont commises, tels que les mauvaises opérations de restauration comme l'utilisation des tiges en fer lors d'assemblages des constructifs en marbre, l'absence de joint de dilatation quant à la roche est taillé pour des exigences décoratives et non suivant les caractéristiques de la roche

⁷⁰ Idem

⁷¹ - J.G Faugère, J.DUFOIR,J-G SALINIERES influences des nuisances urbaines sur la dégradation des immeubles anciens in Actes du VI congrès mondial pour la qualité de l'air, Paris, 1983.

- G.VALLIERE, Le ravalement de façade mode d'emploi/nettoyage et décapage des façades anciennes et modernes, Eyrolles, 1998.

elle-même, c'est-à-dire taillé parallèlement au plan de stratification, ce qui induit facilement la formation de fissures⁷².

IV.3 Action sur les éléments structurels en maçonnerie de pierre :

Sur certains murs on note des traces de remaniement au niveau des contours de baie de la période française, par encastrement et scellement en mortier de ciment, souvent à l'endroit de l'élargissement ou au rétrécissement des percées (il devait y avoir une baie ou une percée à la période ottomane.

On remarque aussi que plusieurs de ces constructions notamment les palais en subissent quelque transformations à savoir même les surélévations illicites par les squatteurs (*figure14*), des cloisonnements ainsi que l'exécution de certaines ouvertures comme les portes en bois, dont elles sont munies, datent pour la plupart de la période coloniale française.

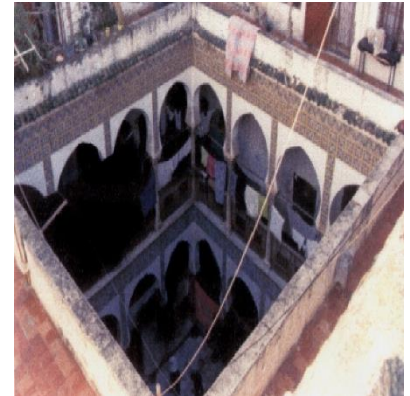


Figure 17 maison squattée (palais de la casbah d'alger)

Source :

<http://www.google.com/images>

V- Le séisme :

Lors d'un séisme, les déplacements du sol engendrent dans la maison individuelle des forces en réponse. Alors que les éléments solidaires du sol suivent ces déplacements, les parties en élévation ne suivent pas instantanément ces déplacements et il s'ensuit une déformation de la structure. Les efforts maximum se reportent aux angles du bâtiment.

V. 1. Action du séisme sur les fondations :

Les fondations reçoivent les efforts sismiques depuis les toitures les chaînages, les planchers, et les contreventements, et les transmettent au sol dans lequel elles se dissipent.

Elles doivent être reliées aux contreventements et reliées entre elles par des longrines.

V.2. Action du séisme sur les semelles isolées non reliées par des longrines :

Les semelles isolées non reliées par des longrines peuvent en effet sous une action sismique présenter des déplacements indépendants, susceptibles d'entraîner des désordres graves, voire l'effondrement de la maison. Il est donc nécessaire que chaque semelle isolée soit reliée par un réseau croisé de longrines selon les deux directions principales du bâtiment.

⁷² Decirquez D. Les méthodes de conservation des marbres, in le marbre dans l'antiquité, les grandes périodes d'exploitation Grèce, Haute empire et époque tardive, p.46.

V.3. Action du séisme sur les murs et les façades en maçonnerie

L'une des zones la plus fragilisée et la plus touchée par l'effet du séisme est celle située au niveau des angles. Cette fragilité est accentuée lorsque la mise en œuvre du chaînage des deux murs n'est pas conforme aux règles ou Inexistante. Les dégradations peuvent se manifester par une simple dissociation entre les deux murs, ou/et par l'écroulement des deux parties du mur⁷³.

Conclusion :

Dans le cas d'une intervention sur l'ensemble de la construction, un diagnostic technique total sera établi avant cette dernière, dont on procédera à un examen de ces différents désordres souvent apparents, en effectuant un sondage sur la maçonnerie, afin d'en détecter d'éventuelles faiblesses. Selon le cas, si l'état des murs (lézardes et déformations), nécessitent des interventions lourdes on procédera à la consolidation de la structure par une reprise au niveau des fondations, sinon à la mise en œuvre de chaînages armés, de contreforts ou de tirants ; que nous aborderons plus en détails dans le chapitre suivant «les différentes approches et techniques de renforcement».

⁷³ ALILI Sonia. Guide technique pour une opération de réhabilitation du patrimoine architectural villageois de Kabylie

Chapitre N°III : Les différentes
approches et techniques de
renforcement

Introduction :

Dans ce présent chapitre nous allons concentrer sur le renforcement de la structure, et cela afin d'assurer une bonne protection contre les conséquences catastrophiques des tremblements de terre.

La notion du renforcement est très ancienne. La recherche archéologique la remonte au I^{er} siècle en Pakistan exactement à la ville de TAXILA, lorsque cette dernière fut détruite par un séisme, et lors de sa reconstruction des mesures de renforcement au niveau des fondations ont été prise en compte.

L'expérience Algérienne dans le domaine du renforcement est aussi ancienne. Elle remonte au 18^{eme} siècle. En effet après le séisme du 03 février 1716 qui a fait détruire la moitié de la médina d'Alger, et durant sa reconstruction, le Dey avait dicté tout un règlement pour la reconstruction de la médina, et c'est ce qui lui a permis de résisté aux multiples séismes ayant succédés après 1716.

Aujourd'hui de multiples méthodes de renforcement existent selon la nature de l'élément structurel en question, son matériau, son âge et d'autres paramètres.

I. Définitions :

Le renforcement : d'une manière générale c'est l'opération qui consiste à donner à une structure un niveau de résistance plus élevé par rapport à ce qui lui a été donné au début.

Le confortement /renforcement: une opération /intervention par laquelle on redonne à un élément ses caractéristiques mécanique initiales ou nécessaires pour pouvoir résister à son chargement actuel d'une manière efficace tout en tenant compte des coefficients de sécurité imposé par le règlement⁷⁴.

II. Différence entre une réparation et un confortement :

⁷⁴ DEKHMUCHE Mouloud, Procèdes de renforcement du vieux bâti, Office des Publications Universitaire, Alger, 2007, P_03

Réparation : consiste à intervenir sur un ouvrage pour lui redonner pratiquement les mêmes caractéristiques et résistance qu'il avait avant les désordres subit⁷⁵.

Le confortement : consiste à intervenir (études et réalisation) sur un ouvrage pour lui conférer des caractéristiques et une résistance égale ou supérieure à celle qu'il avait avant les désordres subit⁷⁶.

III. Méthodologie pour la prise de décision du renforcement/ réparation/ Démolition :

L'exécution d'une technique de renforcement, de réparation ou la démolition d'une bâtisse est la dernière étape après l'avoir diagnostiquer, cela passe par les étapes suivantes :

I/ Analyse des désordres ;

1. Détermination des causes de ces désordres ;
2. Inventaire des tous les désordres ;
3. Evolution (mesures extensomètres, et témoins)
4. Surveillance (analyse des mesures sur une période suffisamment longue)

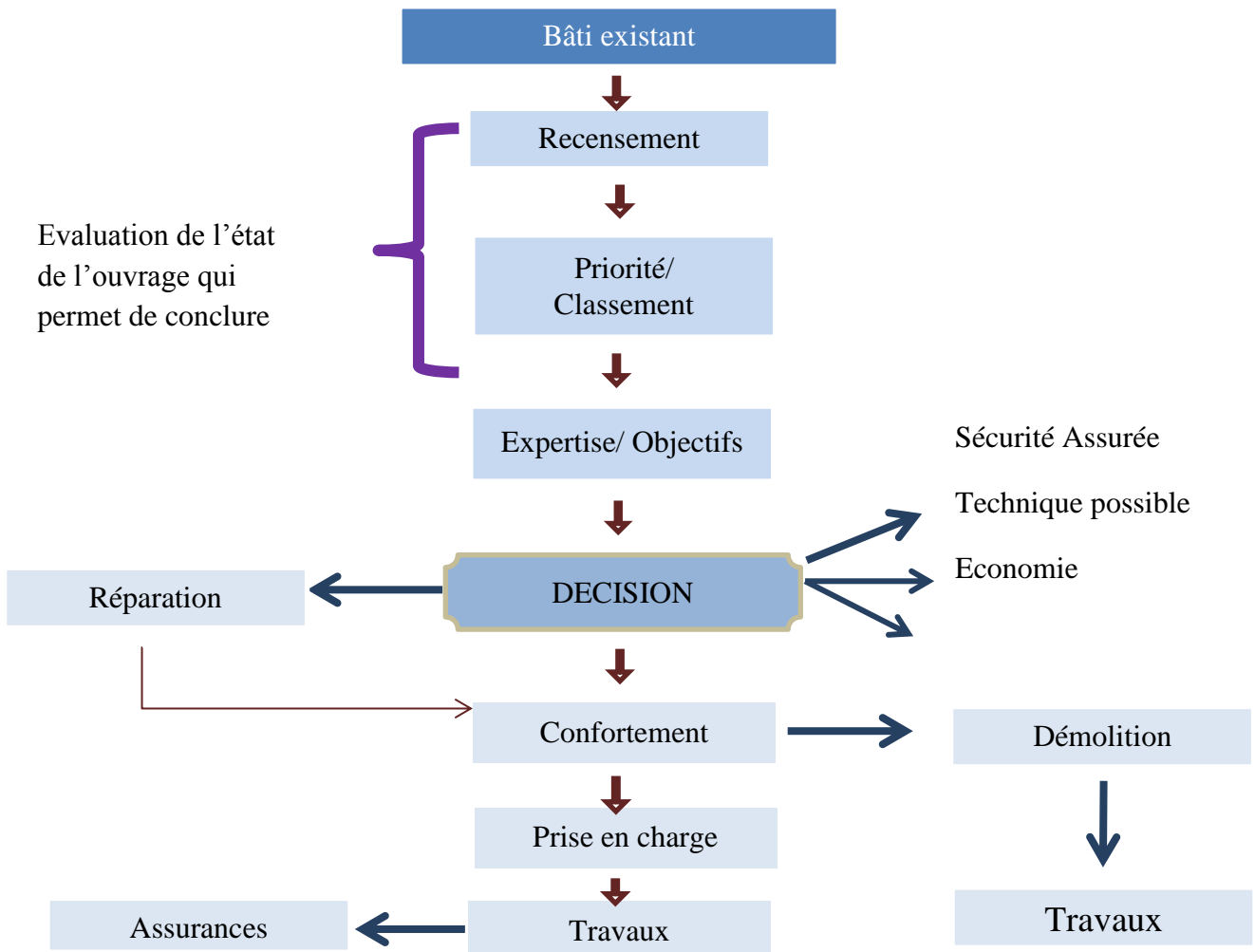
II/ avoir une bonne connaissance de la structure existante :

1. Evaluation de la résistance de la structure
2. Evaluation de la capacité portante d'un ouvrage après réparation ou confortement
3. Comme le synthétise l'organigramme⁷⁷ suivant :

⁷⁵ Confortement des ouvrages : un atout majeur pour la réduction de la vulnérabilité sismique, Par Hamid Azzouz, Revue Vie de villes, édition alternative Urbaine, N°04, Février 2006,

⁷⁶ Idem

⁷⁷ Confortement des ouvrages : un atout majeur pour la réduction de la vulnérabilité sismique, Par Hamid Azzouz, Revue Vie de villes, édition alternative Urbaine, N°04, Février 2006,



Selon l'organigramme, renforcer une structure ; c'est la dernière étape, après avoir évalué sa vulnérabilité et le risque sismique auquel elle est exposée, pour arriver à la fin à proposer une méthode convenable pour la renforcer.

IV. Techniques et méthodes de renforcement

IV.1 Renforcement des fondations

Ce type d'intervention est à entreprendre quand le bâtiment fait l'objet de problèmes découlant de mouvement de terrain. Une intervention adaptée dont le but sera de remédier les défauts de conception, de réalisation, ou induits par des dégradations divers à savoir l'affaissement de terrain, modification de la structure survenues depuis sa construction,

tremblement de terre ainsi que le vieillissement du bâtimentetc⁷⁸. Pour cela l'étude et la connaissance de la nature du sol, la configuration topographique ainsi une connaissance du type et des caractéristiques des fondations du bâtiment est primordiale. Une fois qu'on a déterminé l'ensemble de ces données et après une phase d'analyse que doit être envisagé le type d'intervention à entreprendre.

VI.1.1 Renforcement sous fondation par sous œuvre en maçonnerie :

C'est une consolidation de fondations utilisée dans le cas où les fondations ont une faible profondeur, sans sous-sol. Elle consiste à construire une nouvelle fondation plus large sous la fondation existante en troublant le moins possible la stabilité du système de maçonnerie⁷⁹.

VI.1.2 Reprise en sous œuvre de tout un mur de façade :

C'est une intervention qui consistera de creuser le terrain contre la maçonnerie de façon à atteindre le plan de fondation préexistante selon le cas de figure qui se présente on optera pour deux solutions :

L'effectuée d'un côté seulement du mur si celui-ci ne dépasse pas un mètre de largeur

Dans le cas contraire on creusera les deux côtés.

VI.1.3 Renforcement en sous œuvre par élargissement du mur porteur :

C'est une intervention qui s'effectue sous la fondation à renforcer permettant de stabiliser le mur (*fig 18*), son principe consiste en un procédé qui se déroulera en deux phases⁸⁰ :

- Creuser en dessous de la semelle par tranche de deux mètres (*fig 19*).



Figure 18 stabilisation du mur par élargissement de la semelle
Source : ACHAB SAMIA,

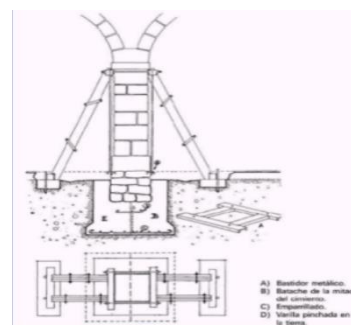


Figure 18 reprise en sous-sol
Source : ACHAB SAMIA,

⁷⁸ Guide stress, réparation et renforcement des fondations syndicat national des entrepreneurs spécialisés des travaux de réparation et renforcement des structures (STRESS).2008.

⁷⁹ ACHAB SAMIA, Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (habitat) de la période Ottomane,

⁸⁰ G. Duval

- Couler une semelle en béton armé sous la fondation à consolider. On coulera un versant de la semelle, en prenant soin de réserver des aciers d'attente que l'on reliera au ferrailage de la semelle sur le versant opposé (le ferrailage et ses dimensions dépendront de la charge qu'elle devra supporter).

VI.1.4. Renforcement de la fondation par poutres transversales :

Cette technique nécessite un système d'échafaudage maintenu en place pendant toute la période d'exécution, toujours en gardant l'adhérence avec l'ancienne maçonnerie de la fondation. Elle consiste dans un premier lieu à laisser des fers d'attente, au point où seront réalisées les poutres transversales en liaison, ces dernières sont rattachées par des poutres longitudinales et à rattacher l'armature de ces poutres aux fers d'attente laissés dans les poutres longitudinales (*fig 20*). Les poutres longitudinales et transversales sont coulées les unes après les autres⁸¹.

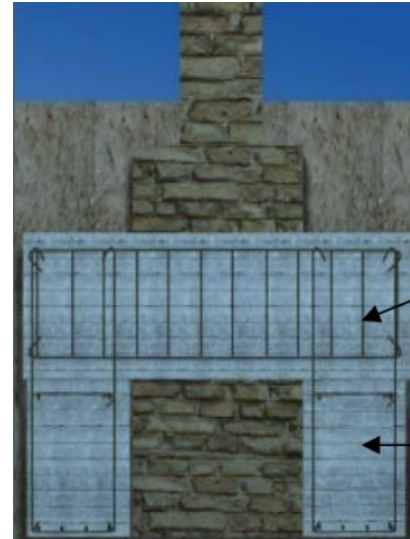


Figure 20 : renforcement des fondations par des poutres longitudinales rattachées par des poutres transversales
source : ACHAB SAMIA

VI.1.5 Renforcement sous fondation profondes par des pieux en béton armée :

Cette technique est applicable lorsque le sol est de faible résistance⁸², d'une façon à éviter les perturbations pouvant affecter les maçonneries anciennes⁸³, ce renforcement peut être exécuté de deux manières :

Lorsque la perforation des murs en maçonnerie est possible sur les deux côtés, on utilise le procédé de pieux adhérent accolé des deux côtés de ce dernier de manière intercalée (*fig 21*).

Lorsque ce n'est pas possible on utilise le procédé de pieux adhérent accolé d'un seul côté (*fig22*).

⁸¹ ACHAB SAMIA, Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (habitat) de la période Ottomane

⁸² P. Brenda. Bâtiment en maçonnerie, analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidations, 1993 EPAU Snap.

⁸³ G. Duval

VI.2. Renforcement des planchers et des couvertures :



Figure 21 Procédé de pieux
Adhérent accolé d'un et des deux côtés
source : ACHAB SAMIA



Figure 22 Procédé de pieux
adhérent accolé d'un seul côté
source : ACHAB SAMIA

Le remise en état d'un plancher consiste à éliminer les poussées horizontales au niveau des appuis des poutres, cette interventions sur les planchers de poutres et poutrelles en bois doivent partir d'un diagnostic préalable des causes des dysfonctionnements, dus à l'attaque d'agents biotiques (la pourriture et les insectes), au fluage du bois ou à des déficiences dans le dimensionnement du plancher par rapport aux sollicitations mécaniques qu'il reçoit. Le choix de l'intervention se fait à partir d'une connaissance des conditions d'utilisation futures et de la nécessité de conservation non seulement des éléments sur lesquels on intervient mais aussi de ceux sur lesquels l'action prévue peut avoir une influence, tels que les faux plafonds ou les sols de grande valeur artisanale⁸⁴. Nous allons exposer maintenant les formes et les méthodes d'intervention les plus usuelles sur ces éléments résistants :

VI.2.1. Renforcement de la poutre :

Le procédé déroulera en deux étapes :

- la pose de part et d'autre de la poutre des moises d'une longueur égale à $\frac{2}{3}$ de sa portée et centré sur l'axe de cette dernière.
- La mise en tension de la poutre dans son plan vertical longitudinale, par la pose d'un câble ancré soit à ses deux extrémités soit dans le cours de la maçonnerie constituant son appui ; et

⁸⁴ Les techniques de réhabilitation : renforcer les structures La réhabilitation des éléments structuraux de l'architecture traditionnelle méditerranéenne

mis en tension par un tendeur lanterne, par intermédiaire de deux bielles verticales posées à 1/6 de sa portée au niveau des deux extrémités de la poutre, et vont exercer une poussée verticale de bas en haut et de ce fait redressant la poutre en réduisant son fléchissement (*fig23*).

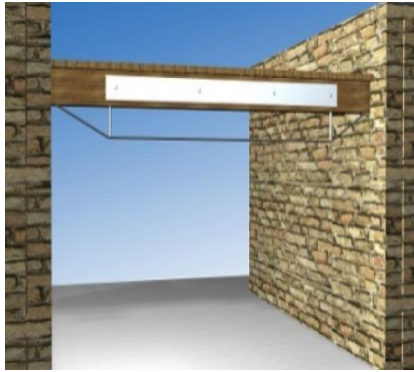


Figure 23 Redressement de la poutre par sa mise en tension
source : ACHAB SAMIA

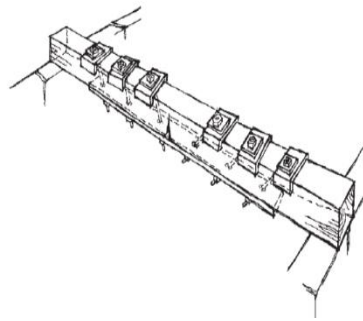
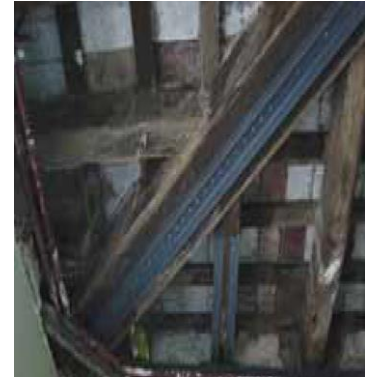


Figure 24 position supérieure
Source : technique de réhabilitation et renforcement, Euromed



VI.2.2. Suppléments de résistance pour les poutres et les poutrelles

Cette technique consiste à ajouter de nouveaux éléments qui vont collaborer à l'absorption des efforts jouant sur la poutre ou les poutrelles, lorsque le dimensionnement est jugé insuffisant ou lorsque les effets du fluage du bois ont créé des déformations excessives.

Les matériaux de renfort utilisés sont généralement en bois ou constitués de profilés en acier, leur position étant latérale, inférieure ou supérieure par rapport à l'élément à renforcer. On choisit la position supérieure dans tous les cas où il y a lieu de conserver l'apparence du plancher d'origine, en présence de peintures ou de faux plafonds de valeur. La position inférieure est retenue le plus souvent pour renforcer les poutrelles quand la hauteur libre au sol admet une réduction, tandis que la position latérale est plus répandue 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. Les hypothèses pour le calcul des renforts sont diverses, selon la possibilité de collaboration résistante des éléments sous-dimensionnés ou endommagés et les déformations préalables (contre-flèches) à envisager pour obtenir leur entrée en charge conjointe avec le renfort (*fig 24*).

VI.2.3. Montants intermédiaires

Les montants intermédiaires constituent une solution simple et efficace pour réduire les tensions de flexion introduites par les surcharges et les déformations dues au fluage du bois. On emploie des poutres en bois ou en acier, disposées en travers de la poutre à renforcer et divisant sa portée en deux ou en trois. La possibilité d'obtenir de bonnes conditions d'appui pour le montant ainsi constitué est généralement décisive dans le choix de la solution. Il faut en effet 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 25 montants intermédiaires
Source : technique de réhabilitation et renforcement, Euromed

VI.2.4. Renforcement du plancher en bois en conservant la structure existante par le rajout d'une seconde rangée de profilé métallique :

Cette technique consiste à conserver la structure porteuse (la poutraison du plancher existant) après avoir étayé les solives conservées (traitées) et entièrement dégarnis l'ancien plancher ; à rajouté une seconde rangée de profilé métallique, cette structure mixte réalisé permet d'exploiter au mieux les caractéristiques des deux matériaux, créant ainsi une meilleur rigidité et une meilleure résistance grâce à l'augmentation des performances du plancher (fig 26).

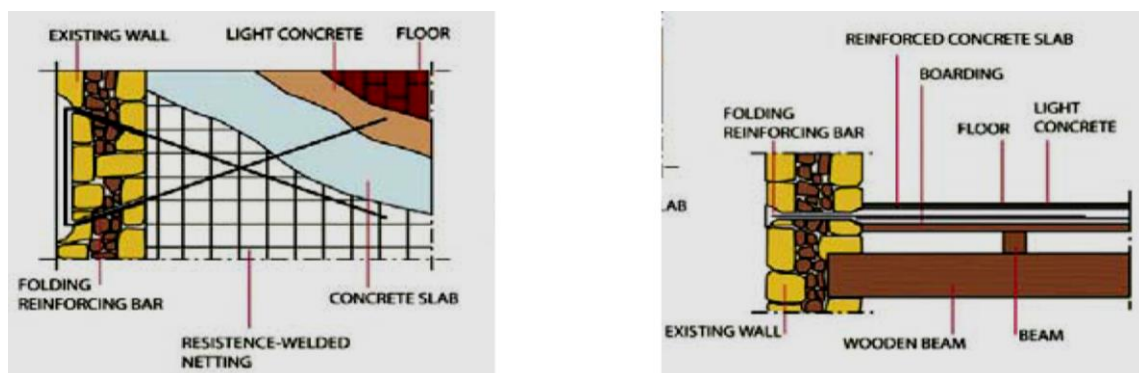


Figure 26 renforcement du plancher par des profilés métallique
Source : technique de réhabilitation et renforcement, Euromed

VI.2.5. Pose additionnelle de dalles en béton armé

La pose additionnelle de dalles en béton armé, raccordées aux poutrelles en bois des planchers, est l'une des solutions les plus courantes aujourd'hui dans les interventions de réhabilitation de bâtiments. 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 par la liaison de la nouvelle dalle dans l'épaisseur des murs et sur tout le périmètre, ce qui améliore aussi la résistance au séisme. Par ailleurs, le béton ajouté améliore aussi l'isolation acoustique du plancher. L'élément le plus critique de cette solution est celui de la liaison de la nouvelle dalle avec le mur, laquelle va dépendre des caractéristiques de rigidité, de cohésion et de percement des murs, ces caractéristiques étant très variables et imprévisibles.

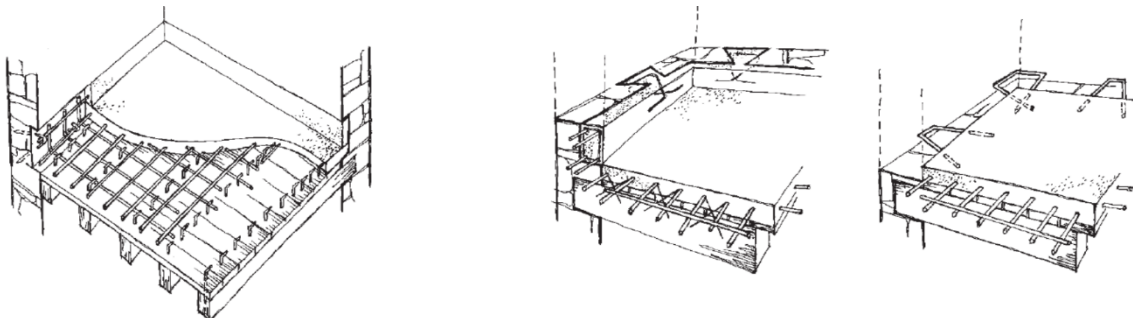


Figure 27 Pose additionnelle de dalles en béton armé
Source : technique de réhabilitation et renforcement, Euromed

VI.3. Interventions spécifiques sur les arcs, les voûtes et les coupoles

Les techniques applicables au renfort des planchers intéressent aussi les arcs, les voûtes et les coupoles. Généralement la mise en place des tirants métalliques intervient très souvent pour

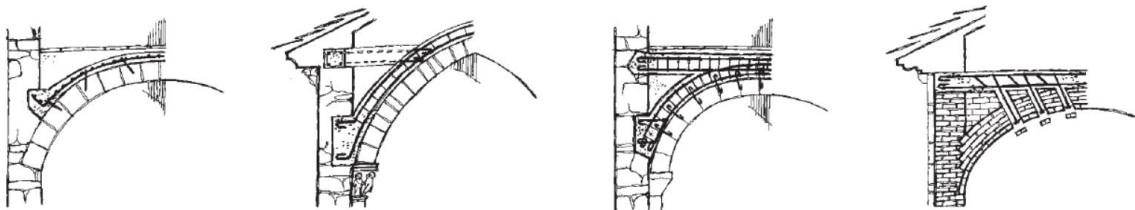


Figure 28 intervention sur les arcs et les voûtes
source technique de réhabilitation et renforcement, Euromed

étayer les 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. Dans le cas de voutes surbaissées, on met un chaînage périphérique 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 la réversibilité de l'intervention.

VI.3.1.Cas de voute enterrée :

Les murs porteurs supportent les charges et les poussées qui sont contribuées par les terres, ces murs peuvent subir à une déformation ainsi que des dégradations qui sont liées à une saturation d'humidité et d'une mauvaise ventilation. La technique de réparation dans ce cas consiste à mettre en place un circuit de ventilation avec une entrée d'air en perforant au niveau de sa partie basse pour l'évacuation de l'air humide, en prenant le soin d'aménager au même temps un mini drain du côté de l'entré d'air et à alléger les charges sur la voute par la réalisation d'une dalle mince en béton armé lié au mur à l'aide d'un ancrage en queue d'aronde par disposition du tirant au niveau de la naissance de la voûte. points espacés de 1.5 à 2m et jouant ainsi le rôle de tirant⁸⁵.

VI.3.2.cas de voute non enterrée (emploi de cintres) :

Cette technique consiste à un étaieement sous l'intrados de la voûte, en disposant un tirant au niveau de la naissance de la voûte puis le rejointée au mortier de chaux hydraulique, et enfin le remplir par un matériau léger, lorsqu'il n'est pas nécessaire de chaîner entre murs porteurs le sol fonné par ce remplissage pourra être constitué d'une aire d'un mortier bâtard gâché serré, sinon par la pose d'une dalle mince (de 6 cm) armée avec un treillis soudé coulé sur un film de polyéthylène liaisonnée au porteur par un ancrage en queue d'aronde par points espacés de 1,50 à 2.00 mn qui jouera un rôle de tirant (Fig29).

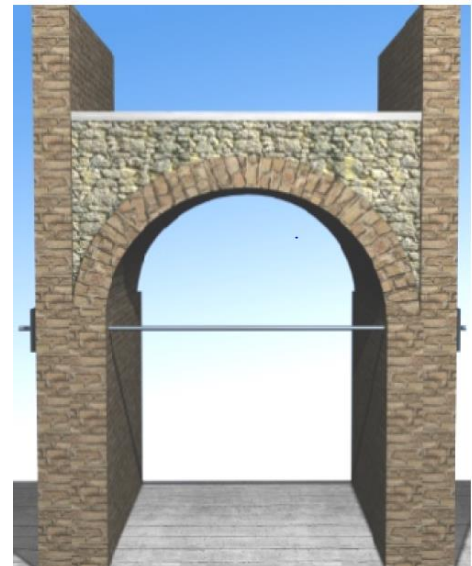


Figure 29 disposition du tirant au niveau de la naissance de la voûte.
Source ACHAB Samia

⁸⁵ samia

VI.3.3. Renforcement par des contreforts

Cette technique est l'alternative à celle du renforcement par les tirants, elle est utilisée dans le cas de structures fragiles qui ne peuvent pas supporter les tensions ponctuelles au niveau des points d'ancrage (fig30).

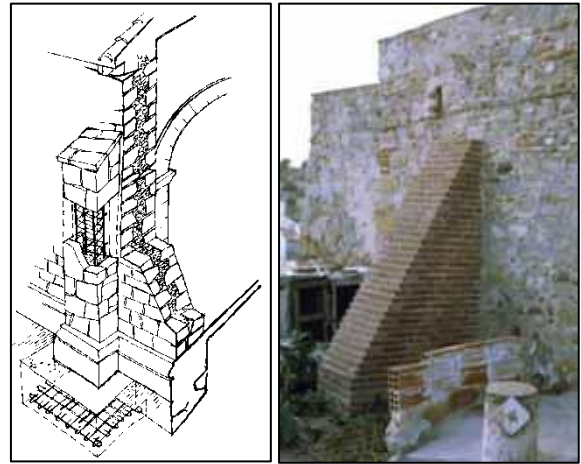


Figure 30 renforcement par des contreforts
Source : technique de réhabilitation et renforcement, Euromed

VI.4. Renforcement des éléments en maçonnerie :

VI.4.1. Renforcement des murs :

Selon le degré de dégradation du mur on fait appel aux différentes techniques et méthode de renforcement pour supprimer dans un premier lieu les causes de cette déformation et dans un autre de rétablir la verticalité du mur, mais il faut d'abord faire un diagnostic des désordres. Parmi ces techniques nous citons :

1. Le Chaînage des murs :

C'est un système ancien que l'on retrouve dans de nombreux édifices historiques bien connus, tels que le Colisée romain ou les clochers italiens du Moyen Âge. Le fer et l'acier sont les matériaux employés depuis longtemps pour fabriquer ces éléments. Plus récemment, les bandes en fibre de carbone remplissent la même fonction dans certaines situations. Néanmoins, il est nécessaire de considérer les effets du matériau qui adhèrera à l'élément renforcé.

2. Taxidermies avec des barres d'acier

C'est un système de renfort intégral, applicable aux murs en pierre ou en brique, qui consiste à mettre en œuvre des armatures en acier à l'intérieur du mur, embouties dans des perforations atteignant parfois quelques mètres de longueur, de sorte à créer de véritables structures secondaires de barres à l'intérieur des murs, pour augmenter leur capacité de résistance globale ou créer des zones plus rigides, capables de distribuer de manière homogène les

sollicitations descendantes. Le contact entre les barres d'acier et le matériau dont le mur est constitué se fera au moyen d'un produit adhérent, généralement à base époxydique.

3. Renforcement par fibres des murs (béton de fibre) :

C'est une technique à base de fibres (disponibles sous divers formats : tissu, treillis, plaque, lamelles), qui vise à améliorer la ductilité du mur en confinant des blocs en maçonnerie, ces fibres empêchent les armatures de flamber et rendre le mur non fragile. Les fibres vont reprendre le cisaillement une fois que le mur sera fissuré. Sa mise en application consiste à :

-Préparer le support mural en enlevant son revêtement et son isolation pour faire apparaître la maçonnerie et décaper le mur afin d'éliminer les irrégularités de surface.

-Application d'un tissu de fibre : on utilise les fibres sous forme de toile, qu'on coupe à la dimension du mur à renforcer.

-Application de bandes orthogonales : on utilise des bandes de fibres, qu'on colle selon des directions perpendiculaires (horizontales et verticales)⁸⁶

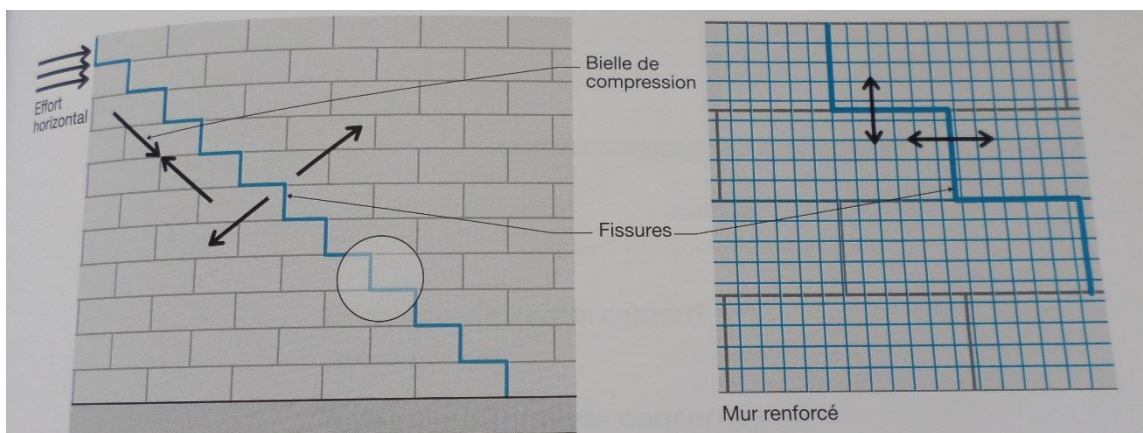


Figure 31 Renforcement par fibres des murs

Source : guide technique Renforcement parasismique des bâtiments, Guide méthodologique pour le renforcement préventif du bâti existant CSTB

4. Remplacement physique de la partie endommagée

Il faudra procéder après confortement de la structure à un remplacement total ou partiel du matériau de la partie fissurée, bombée ou menacée par la dégradation et de reconstruire avec le même matériau ou d'autres dont la résistance et la déformabilité seront similaires (ce

⁸⁶ guide technique Renforcement parasismique des bâtiments, Guide méthodologique pour le renforcement préventif du bâti existant CSTB

remplacement devra obligatoirement reprendre à trois exigences : l'éthique, l'esthétique et la technique⁸⁷). Dans les murs ou les piliers en pierre ou en brique, l'usage veut que l'on reprenne le même matériau, tandis que dans les murs en terre, on pourra employer la brique. Dans tous les cas, l'objectif de l'intervention ne peut que prétendre restaurer la capacité portante initiale de l'élément endommagé.

5. Colmatage et reprise des fissures dans le mur :

La technique réparatrice consistera à un simple rebouchage des fissures avec un mortier à prise lente de chaux aérienne et de sable tamisé ou présentant les mêmes caractéristiques que celui qui existe dans le mur⁸⁸. Lorsque la fissure est plus profonde on procède à l'injection de mortier liquide sous basse pression de l'ordre de 1,5 kg⁸⁹ évitant les fuites et cela en appliquant un mortier de chaux ou plâtre afin de reboucher provisoirement les fissures superficielles et les parties dégarnies. Ces opérations seront effectuées en prenant le soin d'humidifier les maçonneries au fur et à mesure sans pour autant créer des ruissellements, ce qui permettra une meilleure adhérence et une meilleure prise du mortier.

Si la fissure est plus importante, il convient de procéder soit au remplacement de toute la maçonnerie qui entoure la fissure et de reconstruire la partie lésardée⁹⁰ (*fig :32*), soit de mettre en place une série d'agrafes (*fig : 33*) qui longeront la fissure et assurent son renforcement. Cette technique est efficace dans le cas de fissure intérieure ou extérieure⁹¹ dans les joints verticaux du mur placés tous les 25cm en raison de 10 à 20 épingles⁹².

⁸⁷ Yves- Marie Froidevaux « construction et restauration » Mardaga

⁸⁸ Coignet

⁸⁹ Idem

⁹⁰ César Diaz Gomez. La réhabilitation des éléments structuraux de l'architecture traditionnelle méditerranéenne. Méthode RehabiMed. Architecture traditionnelle méditerranéenne. II: Réhabilitation bâtiments. 2007P. 298.

⁹¹ Coignet art de bâtir désordre et techniques réparatrices, basse : série Tacheronne Dussere – Telmon op cité

⁹² Idem.

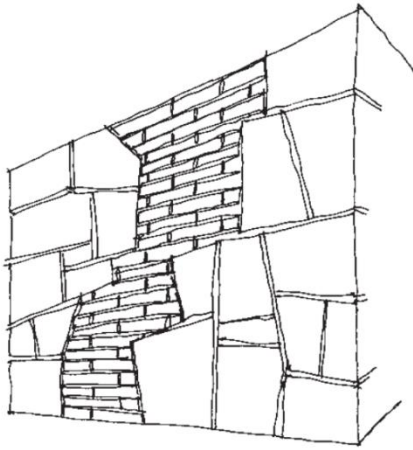


Figure 19 reconstruction de la partie lézardée

Source : technique de réhabilitation et renforcement, Euromed



Figure 33 renforcement par épingle ancré dans le mur

Source : ACHAB SAMIA



Figure 34 renforcement par des agrafes métallique

Source : ACHAB SAMIA

La reprise des fissures pourra également s'effectuer par des éléments rigides et résistant tel que les agrafes métalliques (*fig : 34*) qui viennent de remplacer le partie lézardée dans le but d'éviter la reconstruction de cette dernière. Ou encore par un procédé qui consiste à mettre en place un système de plusieurs barres d'acier inoxydable.

6. Reprise de fissure par injections

C'est une opération, qui consiste à l'introduire fluide sous une faible pression pour colmater entièrement le vide entre les lèvres de la fissure. En durcissant et en adhérant au support, ce liquide restitue à l'élément endommagé sa continuité d'origine⁹³. Les caractéristiques du liquide (Généralement des liquides d'origine époxydique) et la pression d'injection varient en fonction des matériaux du mur et de la taille du trou à reboucher.

Le scellement superficiel, préalable à l'injection dans la fissure ou la brèche, doit être capable de supporter la pression du liquide avant son durcissement

7. Reprise des fissures par remplacement partiel :

Cette technique est utilisée dans le cas de fissures ponctuelles ne dépassant pas les 10cm de largeur, Elle consiste à remplacer, sur une largeur de 15 à 20 cm de part et d'autre de la fissure, les éléments endommagés (briques, pierre...etc.) par un autre élément, ou remplir les vides par un béton armé.

⁹³ F.Tebbal, M .Belazougui, MM .M N. Farsi et H .Alayat, Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement des ouvrages, centre national de recherche appliquée en génie parasismique (C.G.S), Ministère de l'équipement ,Alger.2 semestre 1992.

Dans le cas de remplacement des éléments endommagés par des éléments de même nature (briques, pierres...etc.), ces derniers doivent avoir les mêmes caractéristiques (La même couleur, la même forme, les mêmes caractéristiques mécaniques et les mêmes caractéristiques physico-chimiques). Surtout dans le cas où l'élément à renforcer est un monument historique.

Sa mise en œuvre (fig :35) consiste à éliminer l'élément fissuré en entier, nettoyer le défoncement pendant quelques jours puis la mise en place du nouvel élément (l'élément de remplacement) dans le défoncement à l'aide de goujon de fixation et de coulis de mortier de chaux ,et enfin jointoyer l'élément nouvel avec le reste du mur, sur une profondeur de 02cm, par un mortier riche en hydraulique avec une compacité voisine à celle du mur.

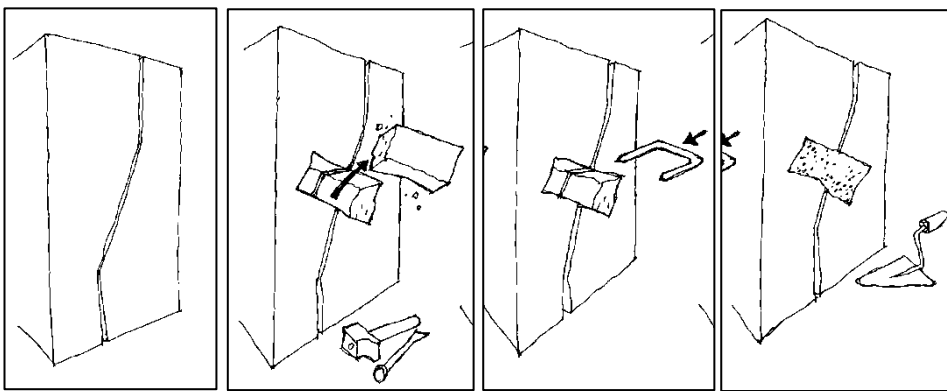


Figure 35 les différentes étapes de la mise en œuvre de la technique du remplacement partiel
Source : technique de réhabilitation et renforcement, Euromed

8. Reprise des fissures au moyen des potelets en béton armé :

Cette technique est utilisée dans le cas de fissures qui se développent transversalement. Cette opération se répète au niveau de toutes les cheminées dont il s'agit de les dégager verticales avec une largeur maximale de 20cm, qui seront par la suite remplies par du béton armé. Une opération qui se répète plusieurs fois sur le même mur afin de lui assurer la résistance nécessaire.

Sa mise en œuvre consiste à :

1. Mise en place des étais, et évidage de la cheminée verticale,
2. Nettoyage et mise en place du ferrailage nécessaire pour les potelets (calculé au préalable) ;
3. Mise en place du coffrage et coulage du béton dans la cheminée.
- 4.

Conclusion :

Le domaine du renforcement est vaste, et les techniques sont multiples, elles varient en fonction de plusieurs critères à savoir ; le système constructif, les différentes pathologies qui affectent la construction, le degré de désordres et de dommage, ainsi que d'autres paramètres liés à la structure en question, par ce que toute intervention sur l'ancien bâti (notamment les constructions traditionnelles), repose sur une bonne connaissance des techniques constructives ainsi que des matériaux utilisés et les typologies spatiales de ces constructions.

Cette multitude de méthodes et d'approches de renforcement constituent une protection et présentent une sauvegarde pour les anciennes constructions notamment les monuments historique. donc une protection de l'identité culturelle qu'il représente.

Chapitre N°IV : Diagnostic et
présentation du cas d'étude : La Villa
ABDELTIF

A force de sacrifier l'essentiel pour l'urgence

on finit par oublier l'urgence de l'essentiel....

« La vraie nouveauté naît toujours dans le retour aux sources »

Edgar Morin

I. Présentation de la villa ABDELTIF

Introduction :

El-Djazair était, en 1830, un grand système urbain complexe, composé de deux sous-systèmes : la médina minérale, improprement nommée « Casbah » et la vaste entité végétale, nommée à juste titre « fahs »⁹⁴.

Typique des résidences d'été des dignitaires de la régence d'Alger, Dar Abdellatif (*fig : 36*), se situait dans la campagne de l'époque, dite el fahs, qui entourait El Djazair et lui servait de verger comme de lieu de villégiatures estivales. Un Monument classé au patrimoine national, c'est un fleuron de l'architecture algérienne de la période ottomane.

Une demeure de style arabo-mauresque, abritant actuellement l'Agence algérienne du rayonnement culturel (AARC), Désignée comme un centre de recherche, de documentation et d'archives des arts plastiques, la villa Abdeltif se transforme en un laboratoire artistique.

La villa Abdelatif, plus connue sous le nom de la Villa des artistes, a été restaurée et livrée en 2008. Une première réalisation qui ouvre la voie à la restauration d'une trentaine de maisons du fahs d'Alger de l'époque ottomane encore debout. Petit à petit, l'histoire se réécrit dans un fabuleux livre qui retracera, à terme, la grandeur de l'histoire d'Alger. Sous l'impulsion de la loi 98.04⁹⁵, les



Figure 36 vue globale sur la villa
Source : auteur

choses semblent se mettre en place, même si l'ampleur de la tâche et le travail sur le terrain restent difficiles par manque de moyens et, surtout, de professionnels suffisamment expérimentés pour mener les études et les travaux de restauration.

⁹⁴ ABDELTIF Mounjia Dar ABDELTIF, albayazin, alger, 2014.

⁹⁵ La villa Abdeltif, Redécouverte des secrets des anciens palais du fahs d'Alger, Par Akli Amroche, Revue Vie de villes, édition alternative Urbaine, N°13, Février 2009.

I.1. Présentation de la villa dans son contexte historique et environnementale :

I.1.1. Situation géographique :

Nouvellement voisine de Riadh El fath, La villa Abd-el-tif est une résidence de compagnie, haouch, située au bois des arcades, au-dessus de jardin d'essai, à proximité du musée des beaux-arts et près de la fontaine du Hamma. Elle est repéré par rapport : au sanctuaire des martyrs, le musée des beaux-arts au nord. À la grotte cervantes au sud-ouest, A la BNA et l'hôtel sofitel au nord-ouest, à l'institut pasteur au nord- est et au jardin d'essai au nord.

Elle est un bel exemple d'architecture mauresque. Elle a souvent été appelée « villa Médicis Algérienne ».

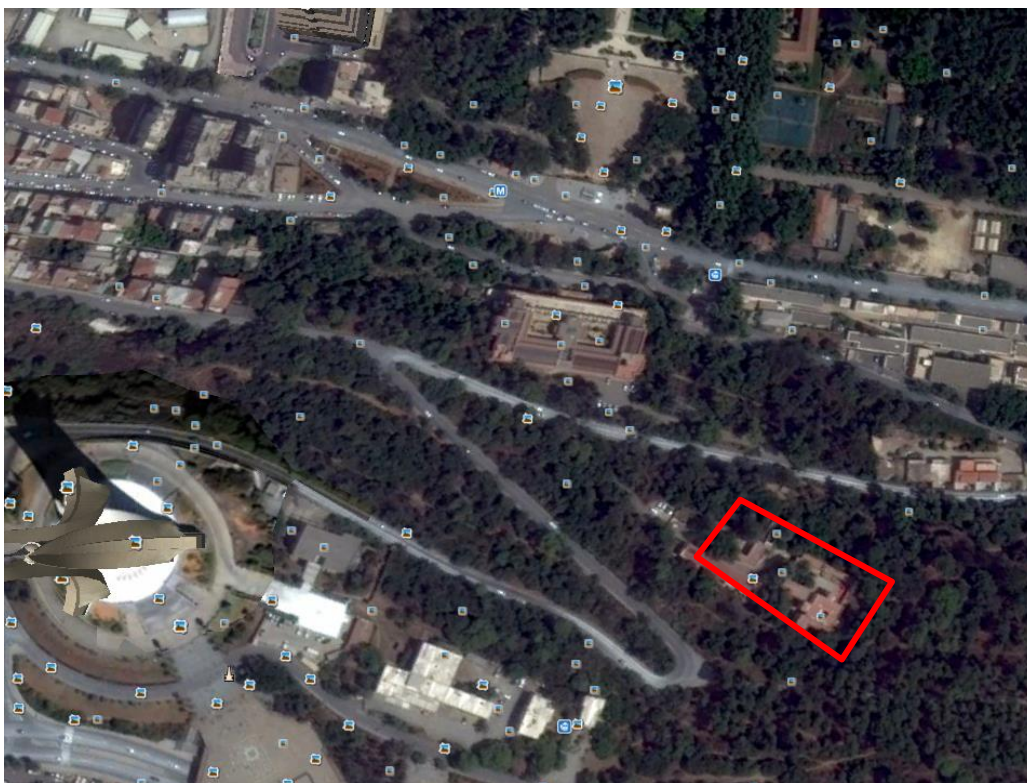


Figure 37 situation géographique de la villa
Source : google earth, Septembre 2016

I.1.2. Passé historique de la villa

Nous ne connaissons pas son âge exact⁹⁶. Le plus ancien des actes de propriété date de 1715.

Aujourd'hui, si quelqu'un décide de faire une recherche sur Dar Abdeltif, monument historique national (1967), il trouvera des écrits concernant la période comprise entre 1906 et 1961. En effet, pendant 55 ans, cette demeure, classée pour la première fois patrimoine national en 1922, était la fameuse « Maison des Artistes Européens ». Les nombreux peintres et sculpteurs venant de la Métropole après avoir été sélectionnés et récompensés, méritaient d'y séjourner. Ils sont appelés « les Abdeltif ». Une partie de leurs œuvres (plus de 700) est sauvegardée au Musée National des Beaux-arts, situé en bas du site de Djenane Abdeltif et dans l'axe du majestueux jardin d'essai⁹⁷.

Nous espérons qu'un jour sera révélée la date de sa réalisation (édification) qui basculerait probablement au 17ème siècle. Nous avons décidé d'inclure dans ce mémoire afin de faire le point sur les informations déjà disponibles les articles de presse parus en 1991 et entre 2006 et 2009 ainsi sur les documents d'archives disponible sur les différents travaux de restauration que subi la villa.

Une villa qui porte le nom du propriétaire qui l'acheta en 1795 (Mohamed Ben Abdettif). Cette magnifique demeure était, durant l'ère ottomane, une résidence pour les notables de la Casbah qui y séjournaient durant l'été. Un palais entouré de jardins fut construit au milieu du XVIIIe siècle. Entre 1715 et 1795, cette villa fut occupée par plusieurs notables dont ALI AGHA, MOHAMED AGHA, HADI MOHAMED KHODJA (ministre de la marine), la femme d'un secrétaire générale de la régence et sidi ABELLATIF qui acquit la villa en 1795 pour 2000 Dinars d'or. En 1831, l'armée coloniale la réquisitionne pour en faire un hôpital militaire⁹⁸. En 1834, la famille ABDELLATIF qui vu ses droits pesés durant les premières années de la conquête, recouvra ses droits sur sa propriété et put ainsi la louer à un Israelite MOUCHI BEN CHEREBI BOUCAYA pour une durée de six ans. Une des conditions stipulées dans le bail était que l'acquéreur ne fera rien qui peut porter préjudice à la compagne. Quelques années plus tard l'état français en devint acquéreur au prix de 15000 Francs. En 1905. Elle a été restaurée par M. Jonnart, (à ses frais personnels, selon H. Klein), qui la mit gracieusement à la disposition des artistes peintres et elle devint une maison des

⁹⁶ ABDELTIF Mounjia Dar ABDELTIF, albayazin, alger, 2014.

⁹⁷ ABDELTIF Mounjia Dar ABDELTIF, albayazin, alger, 2014.

⁹⁸ Document d'archive, la villa ABDELTIF , OGEBC

artistes. En effet son emplacement au milieu des beaux-arts, faisait de la villa l'endroit idéal pour favoriser les rêveries des artistes. Durant l'occupation française, la villa Abdeltif hébergea près d'une centaine d'artistes (peintres. Sculpteurs, graveurs, architectes. D'ailleurs, le Musée des beaux-arts situé en contrebas, recèle de nombreux tableaux peints par des artistes ayant séjourné dans cette résidence, appelée aussi «Villa des artistes».

I.2. Relevé et description spatiale de la villa :

Le relevé des différents plans et élévation de la villa (voir annexe n°01)

I.2.1. Principaux bâtiment composant la villa :

La résidence Dar Abdeltif est située au bois des arcades, non loin du Musée des Beaux-Arts, abrite des expositions et des résidences.

Composer de plusieurs bâtiments : la Villa principale, cinq ateliers, trois appartements, un jardin, un petit pavillon et le Riad en forme de L.



Figure 38 maquette globale montre les différentes composantes de la villa
Source : auteur

I.2.2. Description de la bâtisse principale (La villa) :

Une maison modestement décorée représentant les caractéristiques assez originales elle se développe sur trois niveaux et deux entre sols.

- **Le Rez de chaussée :**

L'accès à la villa se fait à l'intermédiaire d'un porche à voute d'arête supportée par des arcs brisés outrepassés reposant sur douze colonnes en tuf torsadées (voir annexe n°1). Du porche s'ouvre une grosse porte à clou vers un hall, la sqifa qui ne constitue pas un salon de réception à banquettes encastrées dans les murs, mais plutôt un hall de quatre portes donnant accès à quatre espaces (c, d, f) actuellement ces espaces sont des espaces d'exposition, étroites et longues à voute en berceau (*figure 33*).



Figure 39 espaces d'exposition à voute en berceau
Source : auteur

Les portes sont à deux vantaux rectangulaires (*fig 40*), très lourdes, finement travaillée à panneaux sculptés, à leurs basses s'ouvrent des portillons en arcs outrepassés et festonnés permettant le passage sans avoir à ouvrir les battants.

Ces ouvertures se ferment d'une sorte de volet rectangulaire qui n'est autre que la basse découpée d'un grand vantail.

Au niveau de la partie supérieures du mur, juste au-dessus des portes trois vides diffusent une faille de lumière à l'intérieure des pièces (*figure 41*).

De cette grand sqifa se greffe un escalier (e) à succession de voute d'arête (*fig42*) qui mène vers le premier entre sol qui devait être à l'époque un hammam. Il est subdivisé en trois sous espaces (g,h,t) dont les plancher sont à voute d'arête et à coupole. (Voir annexe n°1)



Figure 40 porche d'entrée
Source : auteur



Figure 41 faille de lumière a l'intérieure des pièces

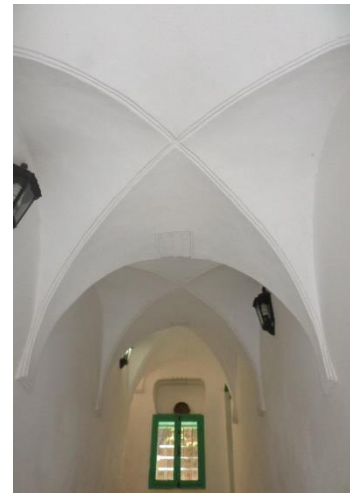


Figure 42 voutes d'arrête couvrant les escaliers
Source : auteur

- Le second niveau

Contrairement aux autres villas de la même époque elle ne comporte qu'un seul niveau de galerie au-dessus du rez de chaussée. Ce niveau se compose d'une cours centrale le west eddar (a) entourées de quatre galerie (b) composées de trois arcades reposant sur des colonnes en tuf. Les chambres © s'ouvrent directement sur la galerie, elles sont au nombre de trois. Elles sont longues et étroites, éclairées par des ouvertures donnant sur le patio. Toutes les trois sont dotées face à l'entrée, d'un défoncement appelé Kbou éclairé par des fenêtres donnant sur le jardin.

Les entrées sont de grande portes fermées par deux hautes panneaux de bois rectangulaires, toutes les fenêtres sont carrées, grillées de gros carreaux se coupent à angle droit, elles sont entourées d'un cadre en carreaux de faïence (*fig 43*).

L'accès au deuxième demi niveau se fait par la volée d'escalier (h). Ce demi-niveau se compose d'un appartement subdivisé en trois sous espaces (f g j) de dimensions moyenne, dont les planchers sont en rondins (*figure 44*).

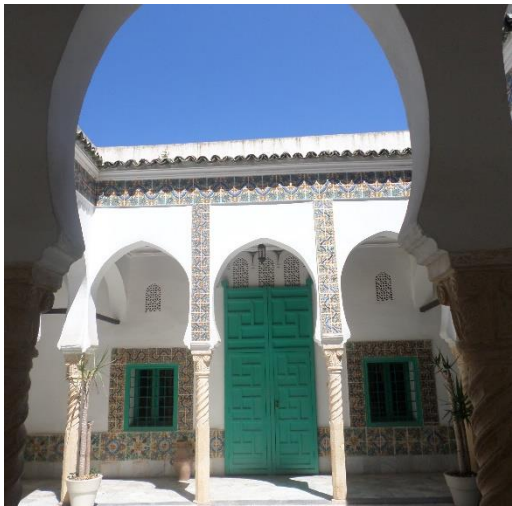


Figure 43 type de porte et de fenêtre au niveau de l'étage
Source : auteur



Figure 44 les rondin en bois

- Troisième niveau

L'accès au troisième niveau, se fait par l'escalier(d) qui débouche sur la terre. ce troisième niveau se compose de deux petits appartements (b,c) subdivisés en sous espaces de dimensions moyennes et d'une terrasse accessible qui recouvre les pièces du patio, nous retrouvons les dômes à pans en forme d'octogones qui coiffent les kbous, percés des hublots (figure 39).



Figure 45 terrasse accessible
Source : auteur

I.3. Dispositions constructives

« Les maisons sont généralement construites en pierre et en brique, de forme carrée, et assez solides. Il y a à peu près dans toutes une cour pavée au milieu, proportionnée à leur grandeur, et autour de laquelle régnent les galeries soutenues par des colonnes, et où sont les appartements »

Dr.T. Shaw,



Figure 46 articulation en tête des chapiteaux
(source: A.Foufa)



Figure 47 renforcement des murs
(source: A.Foufa)

I.3.1. Matériaux de constructions

I.3.1.1. La pierre :

Matériau important dans la construction de la villa, largement utilisée à des fins structurelles et décoratives.

L'une des caractéristiques de ce matériau est la solidité, lorsque elle est soumise à des forces de compression, mais plus faible lorsqu'elle subit des forces de tensions, on l'utilise donc couramment pour les colonnes et les murs.



Figure 48 Vue sur un mur
Source :OGEBEC

I.3.1.2. Briques pleines en terre cuite :

Utilisées pour la construction des voûtes et des arcades elles étaient peu cuites, se présentant avec une épaisseur de 30 à 35 mm.



Figure 49 brique de terre cuite
Source : Mounjia ABDELTIFF

I.3.1.3. La chaux aérienne :

Pour les murs, le mortier de construction est constitué de chaux éteinte, mélangée en faible proportion à la terre, il est disposé en couche de même épaisseur que la brique, comme joint entre celles-ci. Le mortier d'enduit ou crépi est constitué d'une couche très mince, à l'origine 3 à 5 mm, de chaux éteinte, mélangée avec du sable et d'autres éléments, comme la poudre de charbon de bois et de l'huile. Ce crépi empêchant l'évaporation trop rapide de l'humidité des murs, assurée par la teneur et par l'équilibre de l'humidité dans le mortier et dans le mur entier, ce qui assure la résistance de la structure des murs, selon le manuel cité plus haut (limiter le retrait plastique).

I.3.1.4. Le marbre :

Il a été utilisé pour les colonnes et les chapiteaux, le dallage de la cour du patio, les marches et contre marches des escaliers ainsi que quelques cadres des fenêtres et des portes.

I.3.1.5. Le bois :

De très belles menuiseries couvrent les plafonds des grandes pièces (palais), les portes des pièces ouvertes sur patio ainsi que la fine balustrade de la galerie de l'étage. Dans la casbah. Celle-ci sont constituées essentiellement de :

- **Rondins de thuya d'Algérie**, utilisés pour :

La structure porteuse des planchers, des encorbellements et des cages d'escalier

- Etaient entre façades de la rue ancienne :
- Tirants encastrés dans les murs.



Figure 50 Rondins de thuya
Source :auteur



- **Bois de cèdre**, utilisé pour :

- Les poutrelles profilées pour les chers, les consoles, les auvents extérieurs
- La confection d'éléments sculptés et décorés tels que pièces de bois utilisées les portes à deux battants, certaines portes d'entrée, les balustrades des galeries, les volets...

Figure 51 menuiserie des pièces
intérieures
Source : auteur

I.3.2. Composantes structurelles

I.3.2.1. Structure flexible

Elle est représentée par le système d'arcatures portant les galeries autour de wast-eddar (patio), composée de colonnes et d'arcades. Le type d'arcs utilisé dans la position de la façade de la galerie est : l'arc brisé outrepassé. Généralement dans les constructions de types casbah d'Alger, il existe néanmoins, au niveau des angles de la galerie, un deuxième type d'arcs, l'arc en ogive, qui raccorde la galerie aux murs porteurs, utilisé comme un élément de contreventement de la structure flexible.

I.3.2.2. Les planchers

I.3.2.2.1. Les planchers intermédiaires :

La villa comporte des planchers constitués d'une structure de rondins de section variant entre 8 et 13 cm. Ces rondins sont disposés à intervalles réguliers de 10 à 12 cm ou de 15 à 20 cm directement posés sur les murs au moment même de leur construction⁹⁹. Ces rondins s'appuient sur toute l'épaisseur du mur assurant un parfait encastrement dans les murs. Sur ces rondins est disposé un voligeage en bois supportant une grosse couche de terre et de pierrailles. Au-dessus, est posé le revêtement de sol constitué de carreaux de céramique¹⁰⁰.

⁹⁹ A.Abdessamad-Foufa 2007. Contribution pour la redécouverte des techniques constructives traditionnelles sismo-résistante adoptées durant le 18 siècle dans les grandes villes du Maghreb, Alger Fès et Tunisie. Thèse de doctorat en architecture. EPAU Alger

¹⁰⁰ Document d'archive, la villa ABDELTIF , OGEBEC

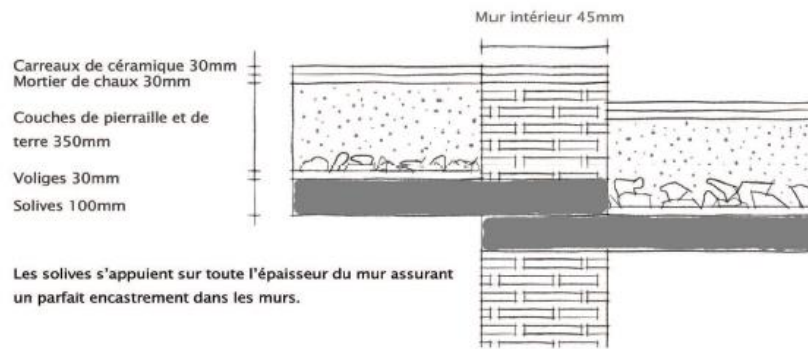


Figure 52 détail du plancher

Source : OGEBC

André Ravéreau : « Les planchers sont constitués d'importantes charges de terre soutenues par un voligeage (des planches), lui-même porté pas des solives. Celle-ci peuvent être soit en rondins de thuya (dont on accepte la légère irrégularité), soit de poutrelles équarries dans des essences diverses. L'avantage du rondin réside dans le fait que toutes les fibres du bois travaillent au lieu d'être coupées par le sciage.

Le mur de briques étant relativement peu épais, l'appui des solives sur ce mur a intérêt à recouvrir toutes sa largeur. Le risque du poids de la terre étant, en ce qui concerne les solives, de fléchissement, l'encastrement total est souhaitable plus qu'il évitera pression de Solive le bard du mur porteur Vers l'intérieurs de la pièce. Toujours à Cause de la chao importante, les solives seront très rapprochées »¹⁰¹

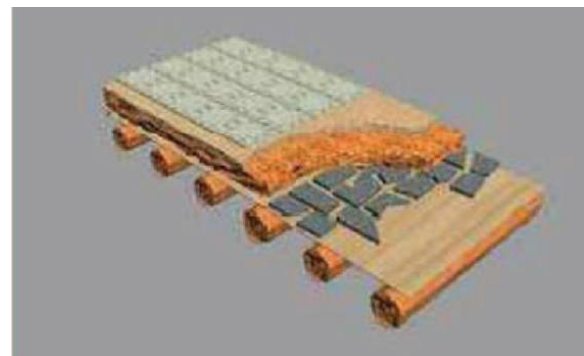


Figure 53 vue détail planché

Source A. Foufa

I.3.2.2.2. Le plancher terrasse :

¹⁰¹ A Ravereau 1985. Lacasbah d'Alger et le site créa la ville. Ed Sindbad

Généralement le mode de couverture au niveau de la médina d'Alger est la terrasse : le plancher est caractérisé par une épaisseur de terre plus importante que les planchers courants et un revêtement avec un enduit de chaux renouvelé régulièrement, et rarement un revêtement de brique posées à plat. La couche de terre varie de 40 à 70 cm et peut atteindre parfois un mètre¹⁰². Cette grande inertie, sur-tout en terrasse, permettant une bonne isolation thermique et acoustique.



Figure 54 vue sur la terrasse
Source : auteur

Comme l'illustre la ci-contre, l'étude de vétusté et dégradation avancé de bon nombre de maisons de la période ottomane du noyau historique de la médina d'Alger permet de faire une lecture in-situ des techniques et typologies constructives des éléments structuraux ainsi que les matériaux utilisés. Même si les maçonneries relevées dans le site de la médina d'Alger sont de plusieurs types, tous les murs de maisons sont en maçonnerie de commande, c'est à dire qu'ils sont maçonnés entièrement en briques.



Figure 55 composition structurelle apparente d'une maison en ruine
Source : PPSMVSS

I.3.2.3. Les fondations ;

¹⁰² Document d'archive, la villa ABDELTIF , OGEBEC

En général, les fondations sont réalisées en pierres liées avec du mortier de chaux et de terre, dans des tranchées se prolongeant à hauteur d' 1 m du bon sol.

I.3.2.4. Couvertures en maçonnerie :

L'utilisation des coupoles dans les maisons est rare. Généralement, quand elles existent, on les trouve au niveau de certaines squifa et certains paliers d'escaliers, mais aussi dans les coins de galeries. Dans les palais, les coupoles chapeautent également le q'bou. Elles sont aussi utilisées de manière courante en soubassement sous forme de voûte en berceau supportant le vide du patio.

I.3.2.5. Escalier

L'escalier est généralement pris au coin du patio, constitué de deux ou trois volets, séparés au milieu par un mur porteur. La structure porteuse des escaliers obéit au même principe que les autres espaces : des murs de soixante cm sont disposés parallèlement réservant un emmarchement de moins d'un mètre reçoivent des rondins en bois, reposant sur toute la profondeur.

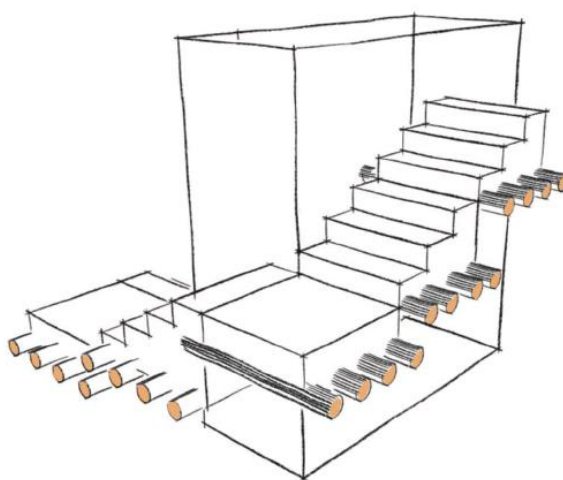


Figure 56 détail escalier
Source : auteur

Ces rondins, disposés horizontalement, sont décalées progressivement pour accompagner la pente. Disposée perpendiculairement à l'axe de la volée, cette structure supporte des planches à la périphérie sur lesquelles viennent se poser des briques maçonnées au mortier de chaux. L'intérieur est rempli de terre et de pierrailles¹⁰³.

I.4. Les travaux de restauration de la villa (2006-2008) :

¹⁰³ A.Abdessamad-Foufa 2007. Contribution pour la redécouverte des techniques constructives traditionnelles sismo-résistante adoptées durant le 18 siècle dans les grandes villes du Maghreb, Alger Fès et Tunisie. Thèse de doctorat en architecture. EPAU Alger

Elle a été restaurée et livrée en 2008. Une longue descente aux enfers que le séisme de 2003 vient précipiter. Pourtant, quand tout laissait croire à l'effondrement, l'espoir a rejailli. En 2005, le wali délégué d'Hussein Dey mobilise le bureau d'études algérien ADT pour des mesures d'urgence¹⁰⁴. En janvier 2006, l'architecte, Mme Fouzia Mehdi, décède. Abdelwahab Zekagh la remplace. L'année 2006 voit la prise en charge du chantier par la Direction de la culture de la wilaya d'Alger et la mise en application des trois décrets exécutifs de 2003, notamment celui obligeant à confier les restaurations à des architectes qualifiés (n° 03-322, maîtrise d'œuvre relative aux biens culturels immobiliers protégés).

I.5. Présentation de l'équipe de l'opération de la restauration :

Une opération qui s'entoure d'une jeune équipe passionnée : Amel Ouyahia et Smail Djidi, architectes restaurateurs ; Azzedine Fergui et Fettouche, archéologues ; Izzeboudjene, décorateur, ainsi que Mansouri, dit El Hadj, chef de travaux à l'Ecotec, vieux des chantiers qui ne rêve plus que de restauration. Là-dessus arrivent les étudiants en céramique de l'Ecole supérieure Beaux-arts qui réalisent « à l'ancienne et en terre cuite » carreaux détériorés ou enlevés. Deux micro entreprises financées par l'Ansej se joignent au projet, l'une dirigée par une jeune fille, pour les pavements anciens, e l'autre, pour les céramiques. Un jeune ébéniste d'El Harrach, passionné de patrimoine, a restauré ou refait les menuiseries. Le projet est devenu une aventure et l'aventure une école et un laboratoire basés sur des compétences algériennes et misant sur l'engagement et le désir d'apprendre. Une équipe passionnée dont ils ont travaillé sur archives pour reconstituer les différentes étapes de la villa : gravures, photos mais aussi les œuvres des pensionnaires de la Villa qui l'ont beaucoup peinte durant leurs séjours.

I.6. DAR ABDELTIF UNE RESTITUTION :

- Le travail ou tentative de restitution est en train de s'élaborer sur la base de¹⁰⁵ :
- Les travaux de recherches sur Dar el-Djezair et celle DU Fahs en particulier,
- Les travaux de restauration et les observations de l'architecte restaurateur,
- Les suggestions et intuitions d'autres architectes qui s'y intéressent,
- Le mémoire de thèse de Magister de Mme Ouargli (1997) et les travaux de Mr André Ravéreau.

I.7. RÈGLES FONDAMENTALES DES DAR EL FAHS¹⁰⁶

¹⁰⁴ ABDELTIF Mounjia Dar ABDELTIF, albayazin, alger, 2014.

¹⁰⁵ ABDELTIF Mounjia Dar ABDELTIF, albayazin, alger, 2014.

¹⁰⁶ N. Ouarguéli. Les villas Fahs d'Alger. Mémoire de magistère EPAU. Alger.

- Dar El Fahs est à l'intérieur d'un Djenane.
- Elle est organisée autour d'un West Ed Dar.
- Elle est reliée à une cour avec galeries.
- L'entrée est précédée d'un porche faisant partie de la cour.
- Une Skiffa (en forme de chicane) connecte la cour et le West Ed Dar.
- Les murs des biout sont creusés de niches/rangements ou de niche/ banquette.
- Les murs (épais) sont de véritables espaces
- L'axe qui connecte les biout au West Ed Dar passe par un arc. Il ne doit jamais rencontrer une colonne.
- Un hammam se trouve à un des angles de la Dar.
- Une terrasse couvre la Dar.
- Le lieu pour invités est inclus dans un « faux » étage ou bien c'est une Douéra dans le Djenane. » Mme Ouargli.

I.8. Quelques observations concernant les transformations et les modifications apportées sur la villa :

La villa abdetif est la seule villa qui ne correspond pas parfaitement aux villas fahs existées à l'époque, elle a été métamorphosée pour convenir à son statut de maison des artistes. Les modifications ont été effectuées au début du vingtième siècle dont les bâtisseurs disposaient de moyens et matériaux de construction nouveaux. Ils ont pu ajouter, retrancher, élargir et adapter cette demeure à leurs besoins architecturaux et esthétiques.

D'après les constats de Mr A. Zekagh au cours de ses observations et après notre recherche :

- Un Bâtiment « le bloc studio» a été construit (en 1906) pour les besoins de la Maison des Artistes (studios d'habitation). Ce bâtiment est à côté du kbou Ouest de la demeure sur une voûte en berceau (*fig57*).
- Le « bloc » des ateliers construit après 1906, pour permettre aux artistes d'élaborer leurs oeuvres en profitant d'une vue panoramique vers la Médina et la mer, à travers de grandes baies vitrées.
- Il existait une entrée au -niveau du kbou Ouest, face à l'entrée Djenane.



Figure 57 le studio d'habitation
Source : auteur

- La galerie de la cour a été prolongée pour rejoindre la Douéra. (Partie reliée au studio d'habitation des artistes). Celle-ci contient l'escalier qui mène aux jardins (côté Nord).
- Le Riadh (forme en L), près de l'entrée du Djenane, à gauche, aurait été bâti après 1830 mais nous n'avons pas encore sa date d'édification.
- La cour authentique ainsi identifiée s'est trouvée dédoublée.
- Ceci explique les différences avec les autres Dars el Fahs.

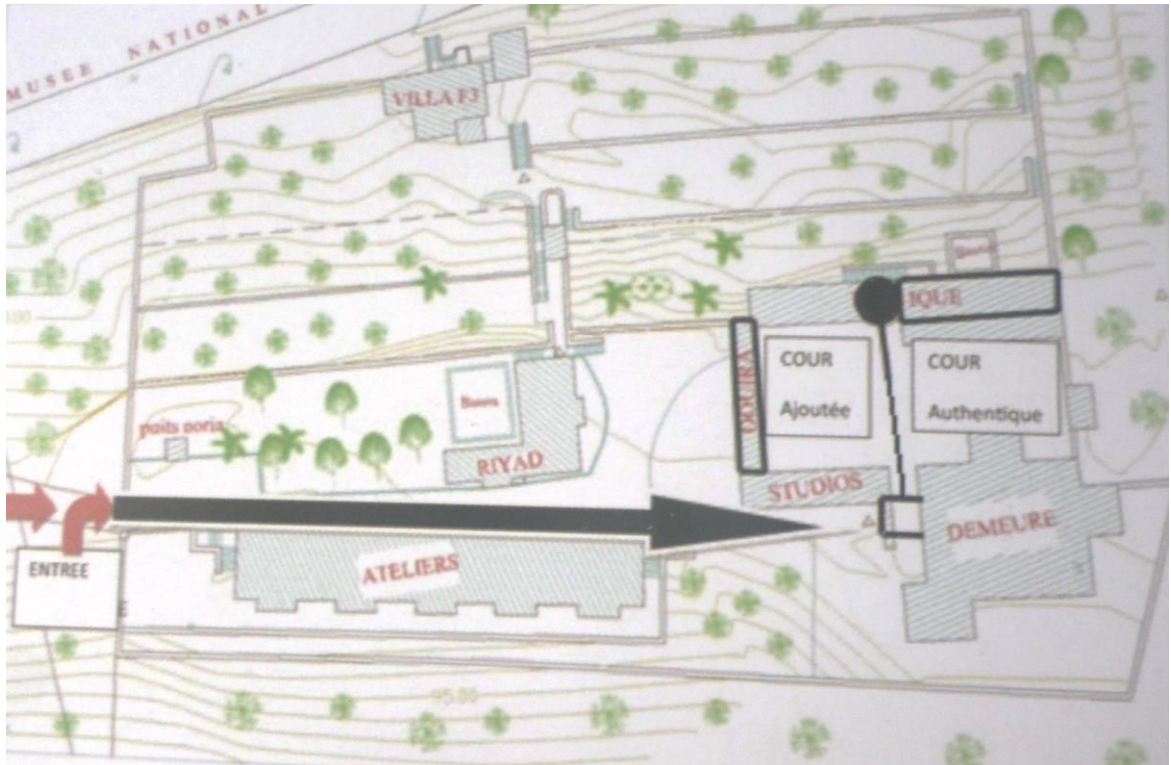


Figure 58 schéma de restitution (plan de masse)
Source :Mounjia ABDEL TIF

En entrant dans le Djenane, au fond, vers la droite, nous apercevons le kbou Ouest qui contenait l'entrée disparue. Ce kbou est réellement dans l'axe de l'entrée du Djenane (voir schéma de restitution (fig 58).

I.9. Interventions :

La villa ABDEL TIF a subi un grand choc (après le séisme de 2003, suite à ce dernier elle a fait l'objet d'une grande opération de restauration qui a été lancée en 2006, sous la prise en charge de la direction de la culture de la wilaya d'Alger.

Cette restauration, 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 vitrerie¹⁰⁷.

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.) pour en faire la plus belle œuvre architecturale, témoin de l'époque ottomane en Algérie

Les travaux de la restauration ont touchés toutes les parties de la villa dont on trouve :

La majorité des arcades sont gravement détériorés (*fig59*), ils sont tombés sur terre. Ces derniers sont reconstitués et reconstruits grâce aux traces trouvées dans les murs. L'équipe de l'opération de la restauration a essayé de faire remonter les colonnes morceau par morceau, dont ils ont mis une sorte de tige métallique à l'intérieure du fut des colonnes afin d'assurer leurs stabilités. L'équipe a pu trouver aussi un artiste qui a pu reconstituer les céramiques de la galerie¹⁰⁸.



Figure 59 Restauration des arcades de la villa (vue nord-ouest sur la façade du El Riyad
Source : Mounjia ABDEL TIF

¹⁰⁷ La villa Abdeltif prend un bain de jouvence, Sa restauration débutera en septembre, APS Publié dans Liberté novembre 2005

¹⁰⁸ Abdelouhab zekagh

Cette Dar est en quelque sorte « adossée » (*photo ci-dessous à droite, figure 60*) à une montagne très humide où coulent de nombreuses sources. Pour les bâtisseurs de l'époque, il fallait créer un système ingénieux pour canaliser toutes les eaux et les empêcher de causer des dégâts aux bâtisses.



Figure 60 la montagne à droite (façade sud de la villa)
Sourec : auteur

Mr A. Zekagh l'architecte restaurateur constate des fissures préoccupantes, qui seraient dues, à un comportement indésirable des eaux sous la demeure principale. L'eau a toujours été l'ennemie de cette bâtisse. La colline est un réservoir naturel d'eau, dont on trouve plusieurs sources la traversent.

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. En raison de la proximité du Musée des beaux-arts, il est prévu, comme projet, à moyen terme, de faire soit une passerelle ou un passage pour qu'il y ait une liaison entre ces deux édifices culturels.

Mr Zekagh¹⁰⁹ met en place un système de gaines périphériques qu'il a expérimenté à Rome. Ce système consiste à réaliser des gaines périphériques tous le long des murs de la Dar afin que les dégâts cessent. L'excès d'eau provoque une pathologie dangereuse à tous les niveaux.

On a aussi le problème de l'humidité, qui gagnait jusqu'aux étages par capillarité, commence à refluer. Aujourd'hui, les relevés indiquent une bonne réaction mais « il faut continuer à observer le comportement des murs ».

¹⁰⁹ Mr ZEKAGH a repris certaines techniques utilisées en Italie où il a étudié sur terrain pendant sept ans.

Conclusion :

Qui a vu, il y a quelques années, la villa Abd-el-Tif ne peut que s'étonner. Les premiers résultats semblent avoir convaincu le Ministère de la Culture et la Wilaya (

La beauté des lieux a été restituée en conservant les éléments d'identification de chaque période. Les différents espaces de la villa ; les cinq ateliers d'art, immenses, fonctionnels, lumineux, à nouveau disponibles, pourront accueillir des artistes, le studio d'habitation aussi, le jardinetc.

Actuellement une partie de la villa servira à l'AARC « Agence algérienne de rayonnement culturel ». La villa est devenue un lieu touristique du sens propre du mot, dont des Algériens, mais aussi des étrangers, pour enrichir les échanges.

II. Diagnostic de la villa ABDETIF

Introduction :

Aujourd'hui, la villa semble être en très bon état, les relevés indiquent une bonne réaction vis-à-vis aux différentes pathologies qui peuvent l'endommager à savoir les tremblements de terre, l'action de l'eau, l'humidité.....etc.

Les premiers résultats semblent avoir convaincu les autorités ainsi que l'équipe de la restauration, mais (selon l'architecte restaurateur Mr Abdelouhab ZEKAGH) : « *il faut continuer à observer le comportement des murs* ».

« Nous sommes conscients que le travail de reconstitution ou restitution est incomplet et encore relativement imprécis. Nous avons l'intention de suivre les travaux pour en savoir plus et vérifier, voire confirmer certaines hypothèses. Le patrimoine ancien est tellement complexe que l'on doit toujours douter et chercher...Dar Abdeltif restera un lieu d'exploration et un chantier archéologique. Lors des différentes fouilles, les spécialistes sont souvent surpris par des découvertes inattendues. L'histoire du lieu de « lit » progressivement. » MOUNJIA ABDELTIF.

Sous cette problématique du manque d'informations nécessaires à propos de ce type de construction traditionnelle (les villas fahs), qui nous livre jour après jour un peu de ses secrets, et notamment, sous l'effet de son âge (plus de 300ans), l'humidité et la proximité de la mer, les matériaux qui composent la villa commencent à se détériorer dont on remarque l'apparition de quelques fissures dans certains endroits de la bâtisse.

II.1. Dommages et vétustés de l'édifice :

Aujourd'hui et sous l'effet des facteurs naturels, notamment l'action de l'eau et de l'humidité. On remarque l'apparition de quelques dégradations et dommages au niveau de la bâtisse principale, ainsi que certaines fissures moyennement avancées.

Une altération de l'enduit et des maçonneries enduites ou non. Ces dégradations sont induites principalement par le fort taux d'humidité présent dans les parements, ainsi que la présence de matériaux non appropriés à ce type d'architecture (enduit ciment, etc...) conduisant même à l'apparition de salpêtre sur les élévations.

La structure de la villa présente deux types de problèmes dus principalement à deux causes :

1. Problèmes structuraux manifestés sous formes de fissurations multiples et variées résultant des efforts cisailant, sur les parois verticales, et au niveau des couvertures (les voûtes) et les coupoles. Ces désordres sont liés principalement aux efforts cisailant (les tremblements de terre), ainsi au manque d'informations nécessaires à propos de ce type de construction traditionnelle (les villas fahs) lors de l'opération de la restauration de la villa.
2. Problèmes de consistances des matériaux et des différentes composantes de la villa. Ce problème est liés à la présence abondante de l'eau, de l'humidité du à la proximité de la mer.

1. Fissuration au niveau des arcades, des voutes et des coupoles :



Figure 61 fissuration au niveau des arcades
Source auteur



Figure 62 fissuration au niveau des voutes
Source : auteur



Figure 63 Fissuration au niveau de la coupole
Source : auteur

Si on procède par une analyse de ces illustrations (*fig 61,62,63*), nous remarquons la localisation des fissures se fait au niveau des endroits très sensible de la bâtisse à savoir les voutes, et les coupoles, elles sont presque identiques, se développant du haut vers le bas d'une manière verticale (sauf pour le cas des arcades), et se tend à une inclinaison de 45° vers les angles. Les origines de ces lézardes sont les efforts cisailant engendrés par les secousses sismiques.

2. Fissuration au niveau des murs :

Elles sont presque identiques (*fig 64*), se développant avec une inclinaison de 45° vers les angles. Les origines de ces lézardes sont les efforts cisailant engendrés par les



Figure 64 fissuration au niveau des façades (façade ouest)
Source auteur

secousses sismiques.

3. Apparition des salpêtres sur élévation



Figure 65 apparition des salpêtres sur élévation
Source : auteur

4. Apparition des algues et dislocation des éléments décoratifs :

Par défaut d'entretien et même de mise en œuvre l'ors de l'opération de restauration, des algues, des mousses se développent, sur lesquelles les pollens des végétaux supérieurs, trouvent un milieu favorable à leurs proliférations.



Figure 66 apparition des algues et dislocation des pièces de faïence
Source : auteur

II.2. Synthèse :

L'ensemble de ces désordres entraînent un dysfonctionnement des éléments structuraux, leurs causes sont liées principalement à :

1. L'activité sismique du nord de l'Algérie, notamment Alger
2. Absence du chaînage au niveau des maçonneries.
3. L'action de l'eau.

4. L'âge de la villa, plus de 300ans se qui engendre le problème de vieillissement des matériaux.
5. Le problème de l'humidité, (dû à la proximité de la mer)
6. Utilisation des matériaux non adéquats.

Conclusion :

Après avoir diagnostiqué la villa ABDELTIF, nous constatons qu'elle souffre de certains désordres structuraux. Actuellement ces derniers ne sont pas important, et ne représente pas un grand risque, mais ils pourront provoquer de grave conséquence sur la bâtisse, notamment qu'on est dans un pays fortement soumis aux sollicitations sismiques.

Nous constatons aussi que l'intervention qui a été faite sur la villa consiste à une opération de restauration plus qu'une opération de confortement

III. Proposition d'approches pour le renforcement de la villa

Introduction :

L'intervention sur un monument historique dans le domaine de renforcement vis-à-vis des sollicitations sismiques diffère de l'intervention sur le bâti ordinaire. Elle est particulière, sensible, dépend de plusieurs paramètres, se base principalement sur la connaissance de toutes les caractéristiques et les particularités de l'édifice, afin de la réussir et d'atteindre l'objectif du renforcement.

Généralement les monuments historiques sont très anciens, et date de plusieurs siècle, ils sont souvent bâti avec des matériaux et des systèmes constructifs non parasismique, tels que les maçonneries non chaînées, en compagnie d'éléments fragiles au niveau des couvertures notamment les systèmes de couvertures en voûtes. Contrairement dans le cas des constructions de type traditionnel, qui est déjà avantage car elles sont basées principalement sur le patio et la symétrie ; créant ainsi l'excentrement entre le centre de gravité et le point d'application de l'effort sismique ou centre de torsion¹¹⁰

Ces interventions doivent faire objet d'une réflexion particulière où plusieurs paramètres doivent être pris en compte, d'abord les matériaux introduits doivent être définis en fonction des matériaux déjà existants car une interaction entre eux peut aggraver la situation et augmenter la vulnérabilité de l'édifice en question. Puis certains matériaux doivent être évités car ils s'accroissent l'humidité au niveau des parois tel que le ciment.

III.1. Approches pour le renforcement de la villa :

A partir du chapitre précédent, qui est un relevé des différents désordres et dommages que subi la villa ABDELTIF, nous allons d'abord développer, puis procéder par la proposition d'une approche de renforcement pour chacun de ses éléments structurels selon son comportement face aux vibrations sismiques et son état actuel.

L'état général du fort est vétuste, caractérisé par plusieurs lézardes et déformations dus aux secousses telluriques.

III.1.1. Approches pour le renforcement des arcs et des voûtes :

¹¹⁰ Abdelaziz BADJADJA, Algérie Les techniques de réhabilitation : renforcer les structures, l'Université de Constantine

1. Etat des lieux des arcs et des voûtes :

Problèmes structuraux manifestés sous formes de fissurations multiples et variées au niveau des arcs et des couvertures (les voûtes). Ces désordres sont liés principalement aux efforts cisailant (les tremblements de terre), ainsi au manque d'informations sur le système constructifs nécessaires sur ce type de construction traditionnelle (les villas fahs).

Les arcs et les voûtes (en berceau et les voutes d'arête) qui couvrent les différents espaces du RDC (la sqiffa et les différentes salles au niveau de RDC), sont en maçonnerie de pierre. Les éléments constitutifs de ces voûtes, à savoir les claveaux, travaillent essentiellement en compression. Lors d'un ces derniers subissent des accélérations (agissent d'une manière alternée) et qui entraînent une dislocation des claveaux surtout au niveau des sommets et ses environs.

Les désordres structuraux d'origines sismiques au niveau des voûtes se manifestent sous forme de fissurations horizontales, qui se développent parallèlement à la cime de la voûte, ces désordres se trouvent au niveau des voûtes *qui couvre les espaces du RDC*.



Figure 67 : fissuration au niveau de l'intrados de la voûte
Source : Auteur

Un autre désordre structurel réside au niveau des arcades, où se localisent des fissurations majeures. Elles sont presque identiques, se développant du bas vers le haut d'une manière verticale, et se tend à une inclinaison de 45° vers les angles, avec un maximum d'écartement de 03 cm. Les origines de ces lézardes sont les efforts cisailant engendrés par les secousses sismiques.



Figure 68 fissuration au niveau des arcades
Source : auteur

2. Proposition d'approches pour le renforcement des arcs et des voûtes :

La voûte est constituée de plusieurs éléments, dont l'ensemble forme une unité structurelle homogène et souple : « Ouvrage de maçonnerie cintré couvrant un espace entre des appuis et formé, en général, d'un assemblage de claveaux, qui s'appuient les uns sur les autres. » (Larousse)

Nous apercevons des fissures à l'intrados des arcs et des voûtes couvrant les différents espaces du RDC. Ces pathologies peuvent être dues aux charges supplémentaires (ajout d'un étage supérieur) ou à des phénomènes sismiques (mouvements de terrain), ainsi l'absence du chaînage dans cette maçonnerie.

Pour ce cas et afin de réparer ces désordres et optimiser la résistance et la stabilité de ces éléments (les arcs et les voûtes en berceau), la technique (l'approche) de renforcement qui nous semble être la plus convenable est : FIBREBUILD FRCM (fiber reinforced cementitious matrix) technique de la « chape armée ».

1. Le renforcement des arcs et des voutes :

Avant de le renforcer on propose d'abord sa réparation, et ceci d'abord par l'injection d'un mortier composite à base de fibre, après les avoir colmatées on propose un gainage de l'arc avec un profilé métallique



Figure 69 renforcement des arcs
Source : Auteur

Après les avoir colmatées on propose un gainage de l'arc avec un profilé métallique en forme de U épousant la forme de l'intrados de l'arc.

Ce dispositif renforce par des tirants perforés dans l'épaisseur de l'arc fixé par des systèmes d'ancrage modifiable

Notre proposition

FIBREBUILD FRCM (fiber reinforced cementitious matrix) technique de la « chape armée » :

L'effet de consolidation généralisé donné par le renforcement de la voûte en chape armée, fait l'une des interventions les plus efficaces, car il garantit des incréments adéquats des propriétés mécaniques de la structure voûtée.

Elles se trouvent au niveau de la sqifa du RDC. Un des éléments significatifs du point de vue des interventions historiques et architecturaux qui nécessitent un renforcement



Figure 70 renforcement de la voûte en chape armée

Source :

4.1. Sa mise en œuvre :

1. Etayer la voûte de l'intérieur.
2. Dégager le remblai à l'extrados de la voûte.
3. Nettoyer en dépoussiérant l'extrados.
4. L'intervention FIBREBUILD-FRCM prévoit l'utilisation de mortiers pour enduit à faible module, de préférence à base de chaux, armés avec treillis et des connecteurs et accessoires en GFRP de préférence combinés avec des mortiers à base de chaux préformés appliqués à l'intrados ou l'extrados de la voûte avec un poids et une épaisseur réduite (environ 3 cm).

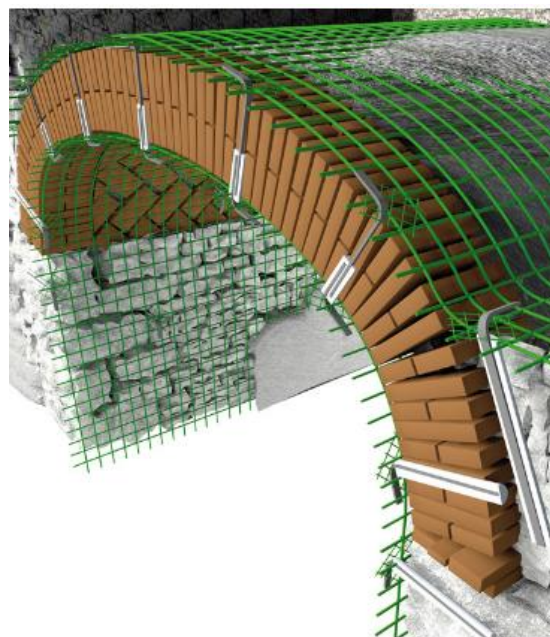


Figure 71 renforcement de la voûte en chape armée

La mise en œuvre de ce dispositif de renforcement se fait après avoir colmater les fissurations par un mortier composite à base de fibres, de même nuance que les blocs déjà existants. Après durcissement ce mortier assure une bonne liaison des claveaux grâce à la pénétration des fibres.

La mise en œuvre de ce dispositif de renforcement se fait après avoir colmater les fissurations par un mortier composite à base de fibres, de même nuance que les blocs déjà existants. Après durcissement ce mortier assure une bonne liaison des claveaux grâce à la pénétration des fibres.

Cette intervention permet d'obtenir une amélioration structurelle homogène et généralisée, avec des caractéristiques mécaniques élevées, durabilité et une faible rigidité.

2.2. Caractéristiques :

- Grand rapport résistance mécanique/poids
- Grande résistance à la corrosion et compatibilité avec des mortiers de différents types (mortiers chaux, ciment, pouzzolanes, etc.
- Légèreté et épaisseur réduite.

2.3. Avantage :

- Durabilité et efficacité de l'intervention
- Amélioration mécanique diffuse et homogène
- facilité et rapidité d'application
- réduction du cout total d'intervention

III.1.2. Approches pour le renforcement des murs :

1. Les murs de la façade ouest :

Actuellement Les murs de la villa semble être en bon état, ils sont de type porteur en maçonnerie de pierre non chaînées, d'une épaisseur importante (varie entre 45 85). Ces murs subissent des vibrations brusques alternées et sont soumis à des forces principalement hori zontales (Les

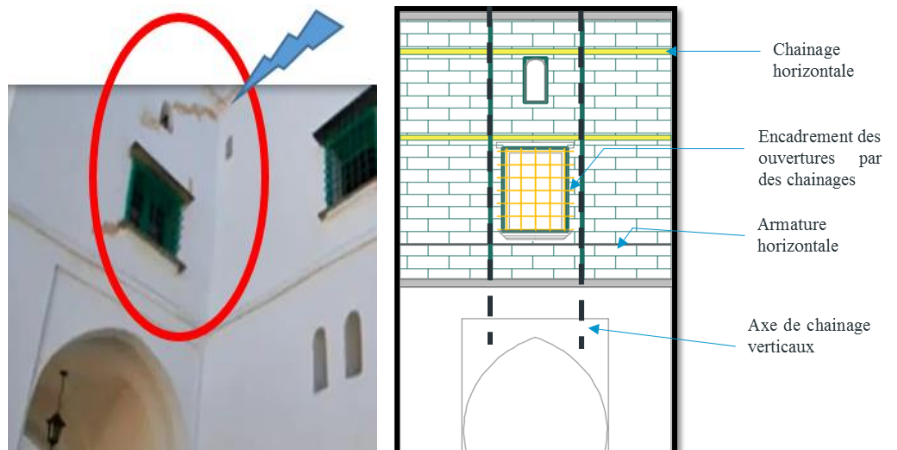


Figure 72 fissurations au niveau de la surélévation
(La façade ouest)
Source : auteur

tremblements de terre). Ces différents mouvements ont engendré des déformations et des altérations au niveau de ces murs (*fig 72*).

Face à la présence des ouvertures au niveau de cette façade, et l'absence du chaînage dans cette maçonnerie, nous avons opté pour ce cas par l'introduction de barres d'acier qui assurent le rôle d'un chaînage transversal. Elles assurent la liaison entre les différentes parties disjointes et renforce la résistance du mur affaibli par l'ouverture, après colmatage avec un mortier. Ou encore injection un fluide d'origine époxydique

2. Les murs de la façade sud :

On remarque aussi niveau de cette façade (la façade sud) l'apparition des fissures plus au moins importantes qui se développe le long de la surélévation de haut vers le bas, d'une manière verticale avec tendance à une inclinaison de 45° vers l'angle de la villa.

Afin d'assurer une bonne résistance ainsi qu'une stabilité générale à la villa, la technique de renforcement qui nous semble être la plus efficace dans notre cas est le renforcement par des contreventements latéraux en acier sur la façade fissurée (façade sud), (*fig :73*), et cela par la mise en place d'un ensemble de panneaux de contreventement en acier, qui atteint une grande rigidité.

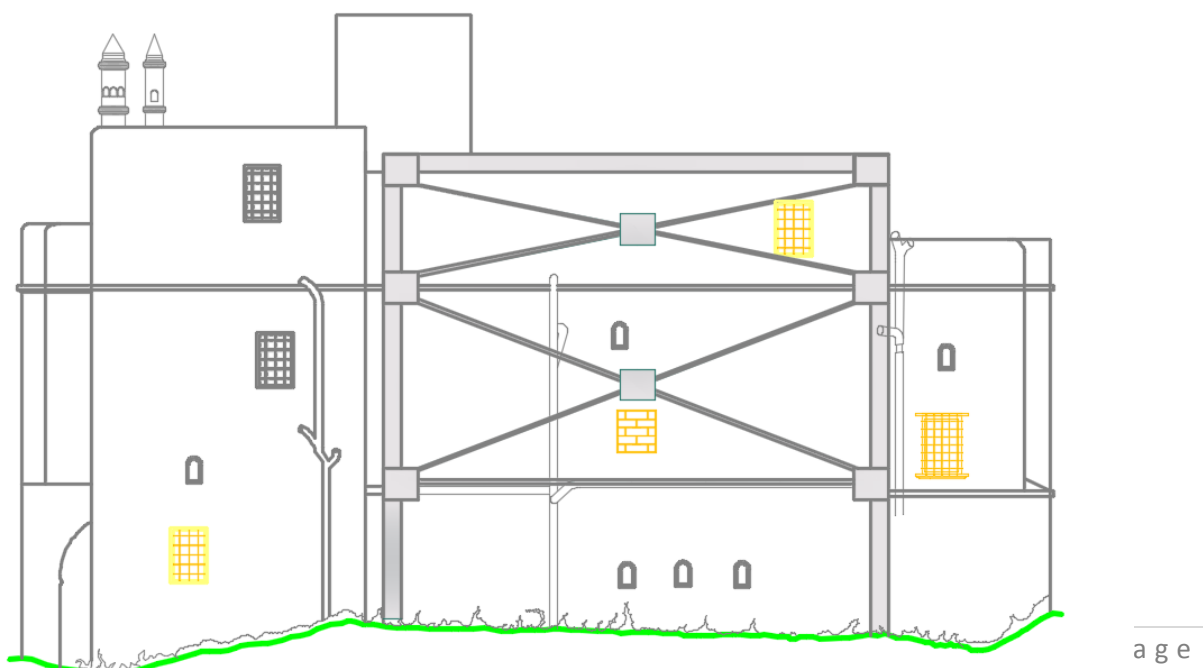


Figure 73 renforcements par des contreventements latéraux
Source : Auteur

Une méthode non destructive, sa mise en œuvre ne touche pas à la structure existante et ne présente aucun risque ou dommage, ayant même des fondations indépendantes.

Conclusion :

La villa ABDELTIF représente un monument historique et patrimonial, un héritage que l'Homme reçoit de ses ancêtres, dont il est responsable de transmettre aux descendants. Et pour cela il doit d'abord connaître sa valeur et puis le protéger et le préserver. Il constitue une richesse en soi, que l'Homme doit exploiter et en bénéficier à fin de promouvoir son économie et son développement. En intégrant ce patrimoine dans la planification urbaine aussi en le prenant comme une composante essentielle du domaine touristique.

Dans notre étude, nous sommes intéressés à la protection de ce patrimoine contre le risque sismique dont souffre notre pays. Nous avons parlé du risque sismique en Algérie, et des mesures à prendre pour renforcer le patrimoine vis-à-vis ce risque tout en gardant son authenticité et sa spécificité.

Perspectives de recherche

A travers notre étude nous avons tenté de proposer des approches pour le renforcement de cette villa, tout en étant le plus transparents et le plus intégrés possible.

Certes les méthodes que nous avons proposées présentent de multiples avantages, cependant elles ne sont pas les seules.

Le renforcement vis-à-vis des sollicitations sismiques constitue un pilier essentiel pour les actions de réhabilitation et de restauration du patrimoine bâti. Or les recherches et les études dans le domaine du renforcement du bâti en général et du vieux en particulier restent timides, prétendent des prises en charge et des vulgarisations.

Ainsi notre étude se veut une ébauche pour la sensibilisation au confortement du bâti en général et de l'ancien en particuliers. À travers laquelle nous avons tenté de construire un outil de travail et une base de données, qui servira dans la pratique du renforcement.

Cependant ce domaine reste vaste, vue l'étendu des sites et des monuments historiques pouvant faire objet d'une telle étude, à savoir plus d'avancées abordant d'autres aspect, donnent plus de détails, dans d'autres cadre de recherche.

Conclusion générale :

L'Algérie jouie d'une richesse patrimoniale inestimable, qu'elle doit prendre en charge et mettre en valeur, et cela par ça protection contre les différents risques. Ces derniers ont des d'origines diverses entre autre l'activité sismique. En effet les secousses sismiques engendrent des désordres importants sur le patrimoine bâti, et mènent à son effondrement.

Notre pays est à l'instar des pays du nord de l'Afrique, se situe dans une zone à forte sismicité, notamment le nord algérien, une activité sismique intense, vu sa situation géologique sur une zone de convergence de deux plaques tectoniques, ce qui fait qu'elle soit active sismiquement et qu'elle connut de multiples séismes.

Le risque sismique est l'un des facteurs majeurs, qui menacent le patrimoine bâti, mais aussi on trouve d'autres pathologies, qui peuvent engendrer des dégradations sur les matériaux et la structure de ce dernier. Les principales causes de dégradations des matériaux sont dues aux présences d'eau et d'humidité sous toutes ses formes ; ces dégradations peuvent être dû à des actions chimique (efflorescences et salpêtres, champignons et moisissures), physico-chimique (gel-dégel), physique et/ou une augmentation de l'action mécanique associé à une réduction (surexploitation, capacité de portance du sol réduite, séismes).

L'état de conservation du bâti guidera le choix et la nature de l'intervention, la pérennité de cette architecture n'est assurée que par l'application d'un entretien régulier. Une intervention qui vise à stabiliser le bâti et augmenter ses chances de survie, tout en conservant ces valeurs architecturales authentiques inscrites dans la typologie du bâti. En utilisant pour cela des techniques traditionnelle / moderne par une consolidation selon les règles de l'art.

Les technique du renforcement sont multiples se varient en fonction des structures des systèmes constructif des matériaux, ...etc.

L'Algérie et notamment Alger se caractérise par une richesse inestimable en terme de constructions traditionnelle de l'époque ottoman, cette dernière recèle des caractéristiques et des valeurs architecturales, inestimables des typologies organisationnelles, spatiales hiérarchisées et riches, ainsi que des typologies structurelles variées, dont nous citons la villa ABDEL TIF, qui fait objet de notre recherche.

Dar Abdellatif, demeure de style arabo-mauresque, est située sur les hauteurs de Mohamed-Belouizdad, dans l'ancien Fahs du Hamma (domaine de campagne). Son architecture ressemble beaucoup à celle de la Casbah avec ses "patios" et "s'qifas", mais se distingue par ses fenêtres donnant sur l'extérieur.

La villa ABDELTIF a subi un grand choc après le séisme de 2003, suite à ce dernier elle a fait l'objet d'une grande opération de restauration qui a été lancée en 2006, sous la prise en charge de la direction de la culture de la wilaya d'Alger.

Cette restauration, 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.

Dans notre étude, nous sommes intéressés à la protection de cette villa contre le risque sismique dont souffre notre pays. Nous avons proposé des approches pour le renforcement des différentes parties endommagées de la villa.

Listes des figures

Figure 1 Schéma explicite de la naissance et de propagation des ondes sismiques.....	17
Figure 2 l'effet du séisme sur la construction	17
Figure 3 carte1 sismicité du nord Algérien.....	18
Figure 4 Carte2 : La tectonique du Nord Algérien.....	21
Figure 5 carte 3 : zonage sismique en Algérie	22
Figure 6 : contexte géologique algérois (les différentes failles).....	22
Figure 7 localisation de la faille de Zemmouri et la zone d'intensité maximale du séisme de 21 mai 2003.....	22
Figure 8 localisation de la faille de Zemmouri et la zone d'intensité maximale du séisme du 21mai 2003.....	22
Figure 9 Efflorescence sur un mur.....	22
Figure 10 fléchissement du bois.....	22
Figure 11 Pourriture blanche cause de	22
Figure 12 Présence de mousses / à une présence au moins temporaire d'eau.....	22
Figure 13 Présence de plantes (le figuier) dans un mur.....	22
Figure 14 Prolifération de salissures vertes due à une humidité permanente	22
Figure 15 Développement de champignons altérant le bois	22
Figure 16 Réfection de l'enduit à base de mortier de ciment.....	22
Figure 17 maison squattée (palais de la casbah d'alger)	22
Figure 19 reprise en sous-sol.....	22
Figure 32 reconstruction de la partie lézardée	22
Figure 33 renforcement par épingle ancré dans le mur.....	
Figure 34 renforcement par des agrafes métallique.....	
Figure 35 les différentes étapes de la mise en œuvre de la technique du remplacement partiel.....	
Figure 36 vue globale sur la villa.....	
Figure 37 situation géographique de la villa.....	
Figure 38 maquette globale montre les différentes composantes de la villa.....	
Figure 39 espaces d'exposition à voute en berceau.....	
Figure 40 porche d'entrée.....	
Figure 41 faille de lumière a l'intérieure des pièces.....	
Figure 42 voutes d'arrête couvrant les escaliers.....	
Figure 43 type de porte et de fenêtre au niveau de l'étage.....	
Figure 44 les rondin en bois.....	
Figure 45 terrasse accessible.....	
Figure 46 articulation en tête des chapiteaux	
Figure 47 renforcement des murs.....	
Figure 48 Vue sur un mur.....	
Figure 49 brique de terre cuite.....	
Figure 50 Rondins de thuya.....	
Figure 51 menuiserie des pièces intérieures.....	
Figure 52 détail du plancher.....	
Figure 53 vue détail planché.....	
Figure 54 vue sur la terrasse.....	
Figure 55 composition structurelle apparente d'une maison en ruine.....	
Figure 56 détail escalier.....	

Figure 56 détail escalier.....	.....
Figure 57 le studio d'habitation.....	.....
Figure 58 schéma de restitution (plan de masse) .....	.....
Figure 59 Restauration des arcades de la villa (vue nord-ouest sur la façade du El Riyad .....	.....
Figure 60 la montagne à droite (façade sud de la villa) .....	.....
Figure 61 fissuration au niveau des arcades.....	.....
Figure 62 fissuration au niveau des voutes .....	.....
Figure 63 Fissuration au niveau de la coupole.....	.....
Figure 64 fissuration au niveau des façades (façade ouest) .....	.....
Figure 65 apparition des salpêtres sur élévation.....	.....
Figure 66 apparition des algues et dislocation des pièces de faïence.....	.....
Figure 67 : fissuration au niveau de l'intrados de la voûte.....	.....
Figure 68 fissuration au niveau des arcades.....	.....
Figure 69 renforcement des arcs.....	.....
Figure 70 renforcement de la voûte en chape armée.....	.....
Figure 71 renforcement de la voûte en chape armée.....	.....
Figure 72 fissuration au niveau de la surélévation (la façade ouest) .....	.....
Figure 73 renforcement par des contreventements latéraux.....	.....

Bibliographie:

Livre:

COLIN G, Corpus des inscriptions arabes et turques de l'Algérie, Paris, 1901

DEKHMOCHE Mouloud, Procèdes de renforcement du vieux bâti, Office des Publications Universitaire, Alger, 2007

Henri KLEIN, Feuillet d'El-Djzair, Tome I, édition Comité du vieil Alger, 1910

LESTUZZI Pierino, Séismes et Construction : éléments pour non spécialistes, Presse Polytechnique et Universitaire Romande, Italie, 2008

MILAN Zacek, Construire parasismique, Parenthèses, 1996

Mohamed BELAZOUGUI, Acte des assises nationales de l'urbanisme, Ministère de l'habitat et de l'urbanisme, Alger, Juin 2011

MOKRANE A ; AIT MESSAOUD A ; A SEBAI ; N MENIA ; A AYOUDI et M BEZZEGHOUD ; Les séismes en Algérie de 1365 à 1962, publication C.R.A.A.G, Alger 1994

NICOLAS Tailleur, Renforcement du bâti existant vis-à-vis de l'action sismique, CSTB, 2011

PIETRO Brenda, bâtiment en maçonnerie Analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidation, Cento analisi sociale progetti S.R.L , Rome, 1993

Thèse de doctorat :

ABDESSEMAD-FOUFA A, Contribution pour la redécouverte des techniques constructives traditionnelles sismo résistante adoptés dans les grandes villes du Maghreb : Alger, Fès, Tunis durant le XVIII siècle, EPAU, Alger, 2007

BELDJOUDI Hamoud, étude de la sismicité du nord de l'Algérie, Tlemcen, 2011

MOUHAMED SOFIANE IDIR, Valorisation du patrimoine, tourisme et développement territorial en Algérie : cas des régions de Bejaia en Kabylie et Djanet dans le Tassili n'Ajjer, Université de Grenoble, 2006

Mémoire de Magister :

ABDESSEMAD-FOUFA A, évaluation de la vulnérabilité et réduction du risque sismique dans les centres urbains coloniaux, cas de Tipaza, EPAU, Alger, 1996

ACHAB SAMIA, Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (habitat) de la période Ottomane, Tizi-Ouzou, 2012

BEN ABD-EL-FATAH MOUHAMED, Intégration des exigences parasismique dans le processus de conception du projet architectural, EPAU, Alger, 2010

BOUANANE-KENTOUCHE N, le patrimoine et sa place dans les politiques urbaines Algériennes Université de Mentouri ; Constantine, Avril 2008

NECISSA YAMINA, Le patrimoine outils de développement territorial, cas d'étude la wilaya de Médéa, EPAU, Alger, 2005

Article:

Fatima AMIRECHE, La réhabilitation sismique du bâti existant, mai 2011

Lien :

<http://umc.edu.dz/vf/images/ville%20et%20sante/TEXTES%20COLLOQUE%20LAUTES%20Avr%20Mai%202011/AXE%205%20Ville%20et%20risque%20urbain/AMIRECHEFATIMA.pdf>

Consulté le :

20/12/2014

Yanis Younsi, des immeubles se dégradent et menacent ruine, Le vieux-bâti source de danger, Alger Hebdo n° 278 - Semaine du 7 au 13 mai 2011

Lien : <http://www.algerhebdo.com/uploads/images/AHN278/AHN278.pdf>

Consulté le :20/12/2014

Franck GAUTHIER, risque sismique : Renforcer le bâti existant, Qualité Construction n°125- Mars Avril 2011

Lien :

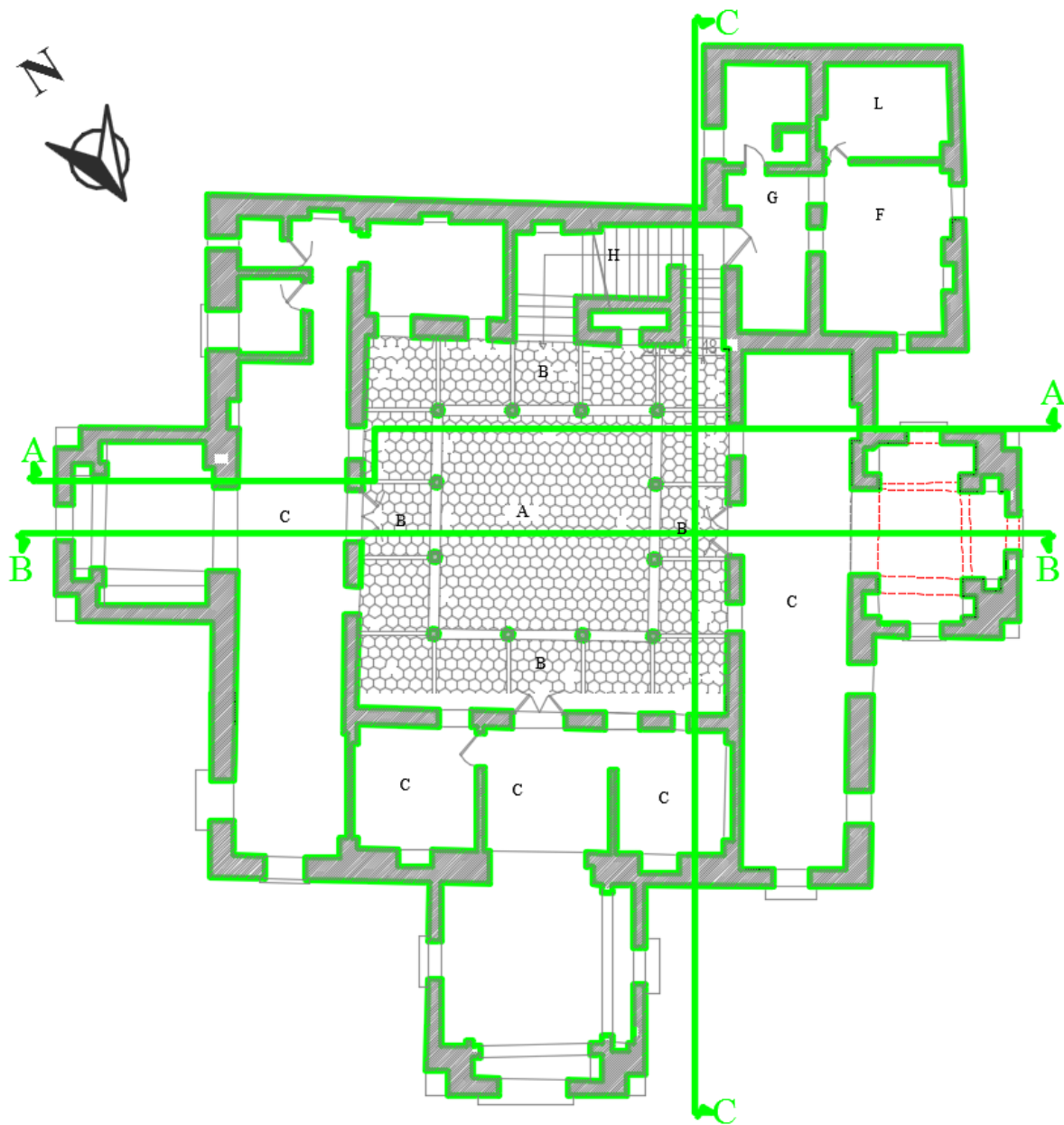
http://www.google.dz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.qualiteconstruction.com%2Ffileadmin%2Fmedia%2Frevue%2Fgratuits%2F125%2Fqc125-07.pdf&ei=5f3YVP_cPJflapjPgJgD&usg=AFQjCNFkMEobGYWCb86-2QM7hIvXHaUipg&bvm=bv.85464276,d.d2s

Consulté en Aout 2016 :

Annexes

RELEVÉS METRIQUES :

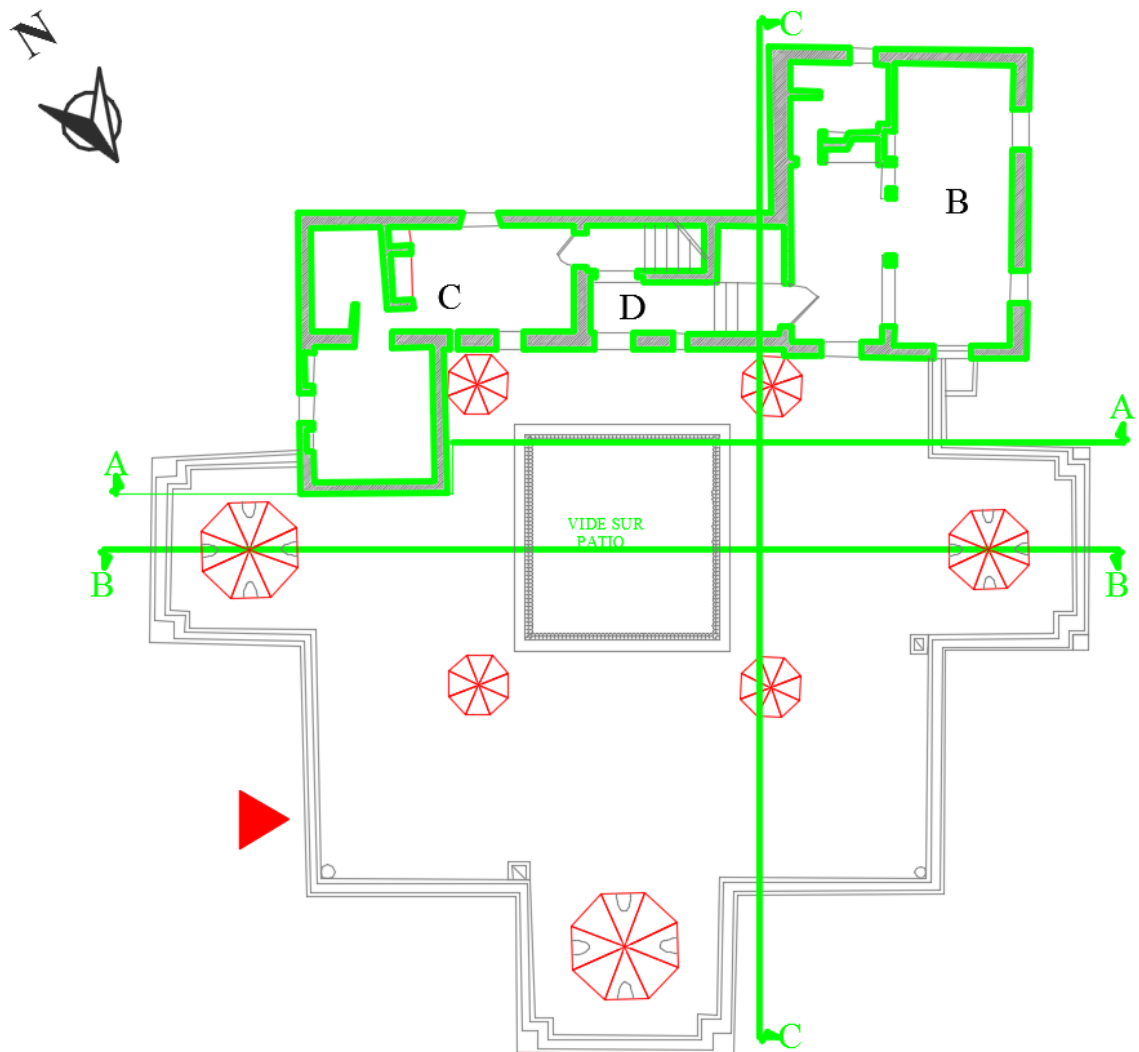
Plan de 1^{er} étage (Niv : 5.40) Ech : 1/200



Source : Cabinet d'Architecture de design et des technologies de construction «A.D.T"
(Restauration de la villa ABDELTIF 2006/2008)

RELEVES METRIQUES :

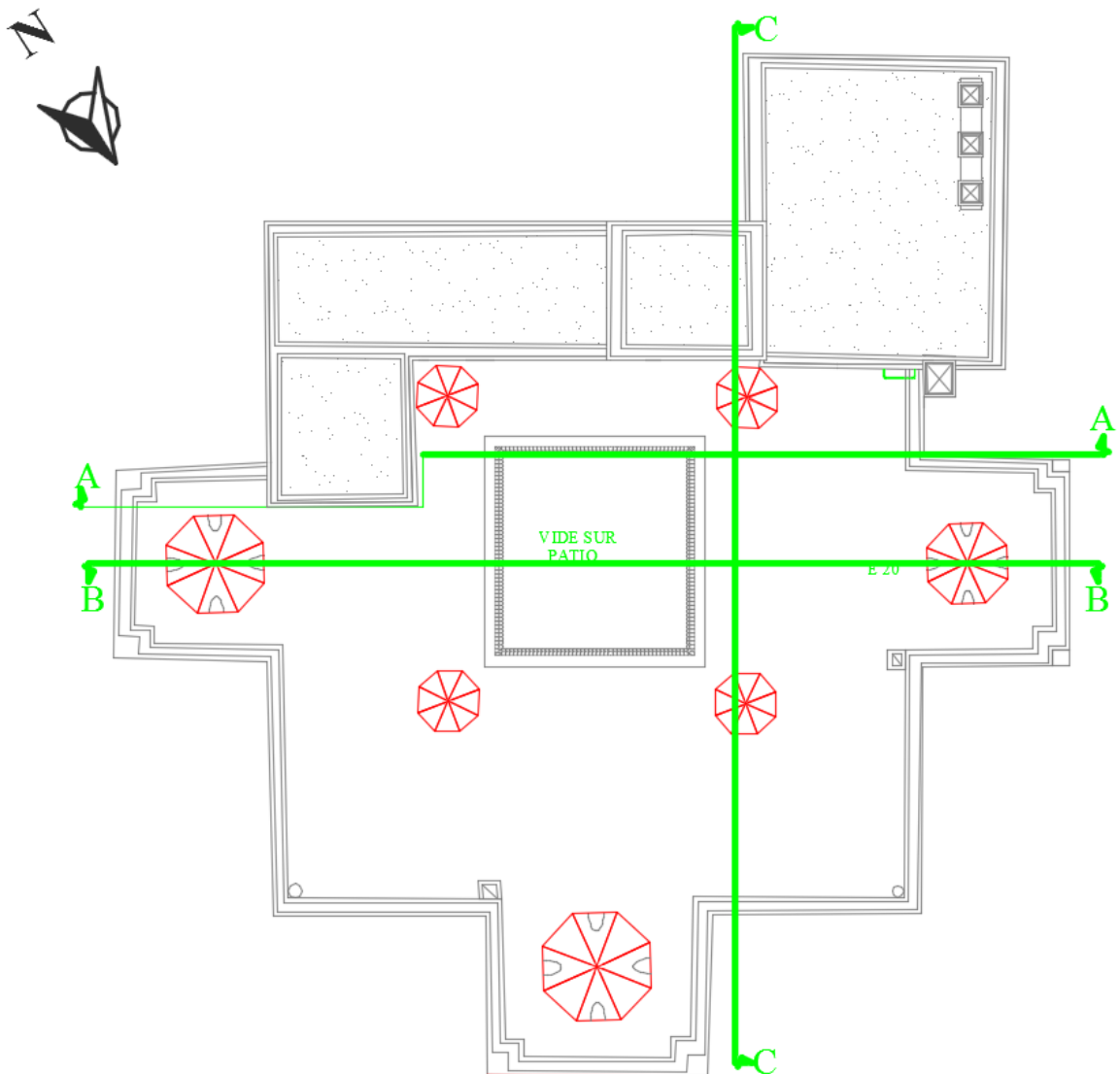
Plan de 2eme étage (Niv : 10.28) Ech : 1/200



Source : Cabinet d'Architecture de design et des technologies de construction «A.D.T"
(Restauration de la villa ABDELTIF 2006/2008)

RELEVÉS METRIQUE :

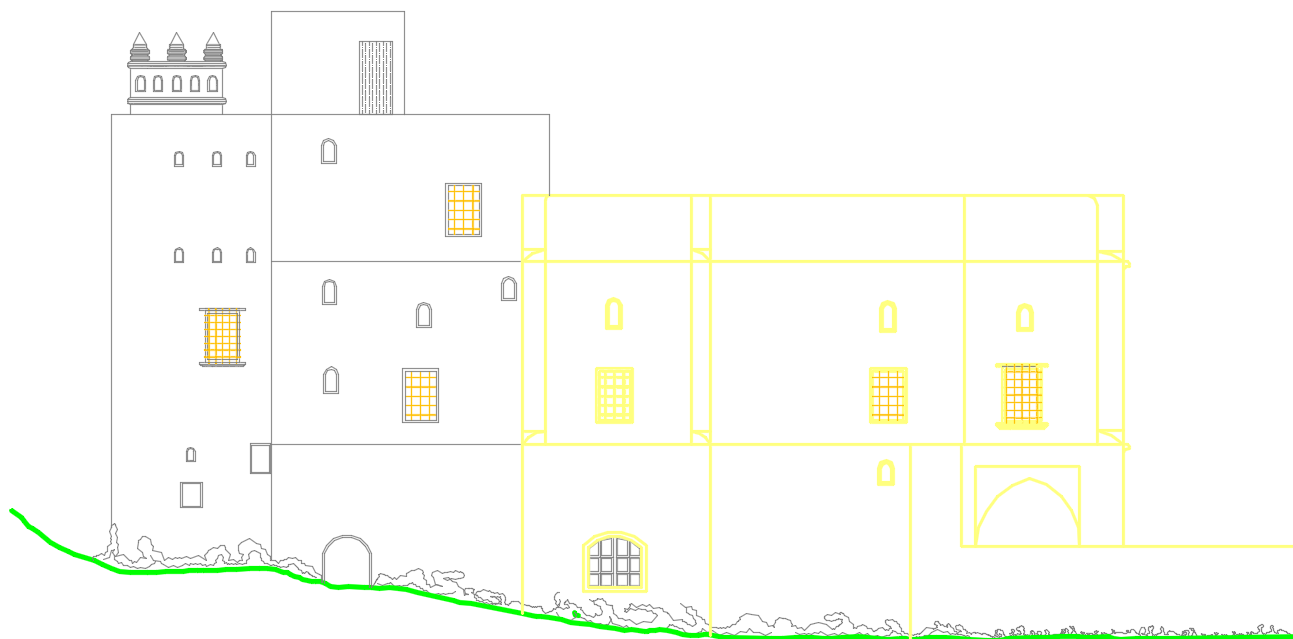
Plan de toiture Ech : 1/200



Source : Cabinet d'Architecture de design et des technologies de construction «A.D.T"
(Restauration de la villa ABDELTIF 2006/2008)

RELEVÉS METRIQUES :

Façade Est Ech : 1/200



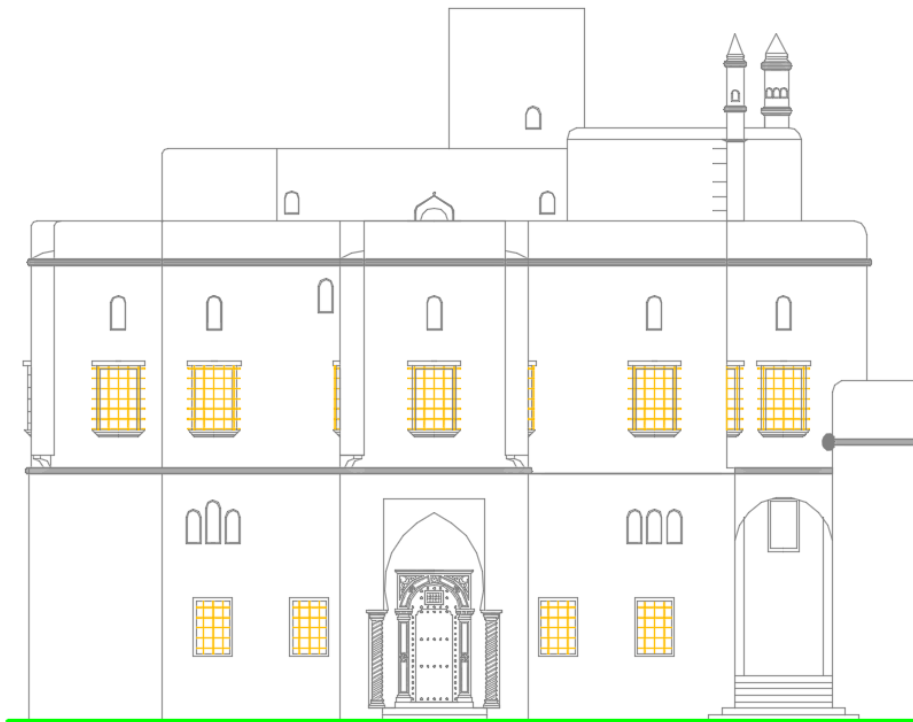
Source : Cabinet d'Architecture de design et des technologies de construction «A.D.T"
(Restauration de la villa ABDELTIF 2006/2008)

RELEVES METRIQUES :

Façade Sud Ech : 1/200



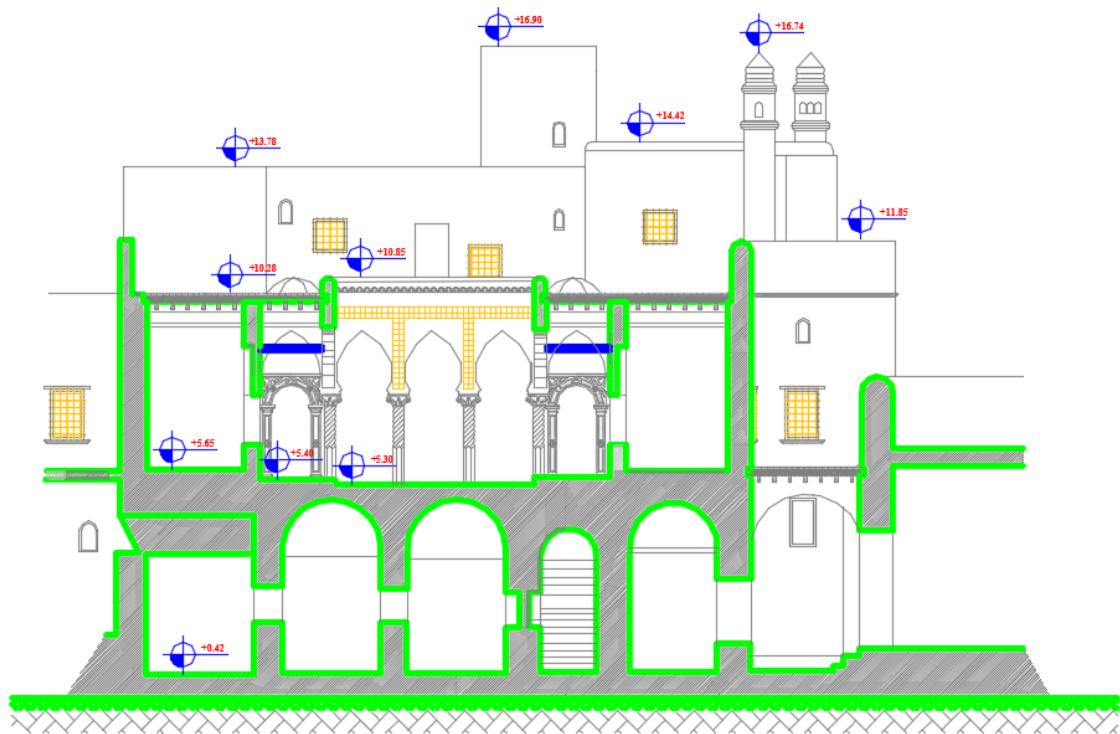
Façade Nord Ech : 1/200



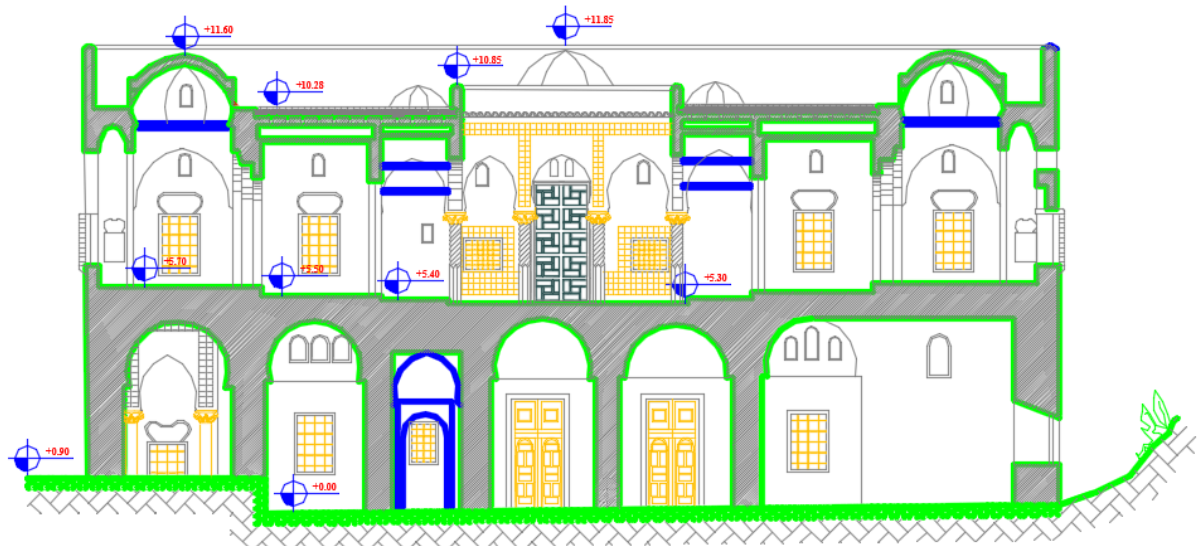
Source : Cabinet d'Architecture de design et des technologies de construction «A.D.T"
(Restauration de la villa ABDELTIF 2006/2008)

RELEVES METRIQUES :

Coupe AA : 1/200



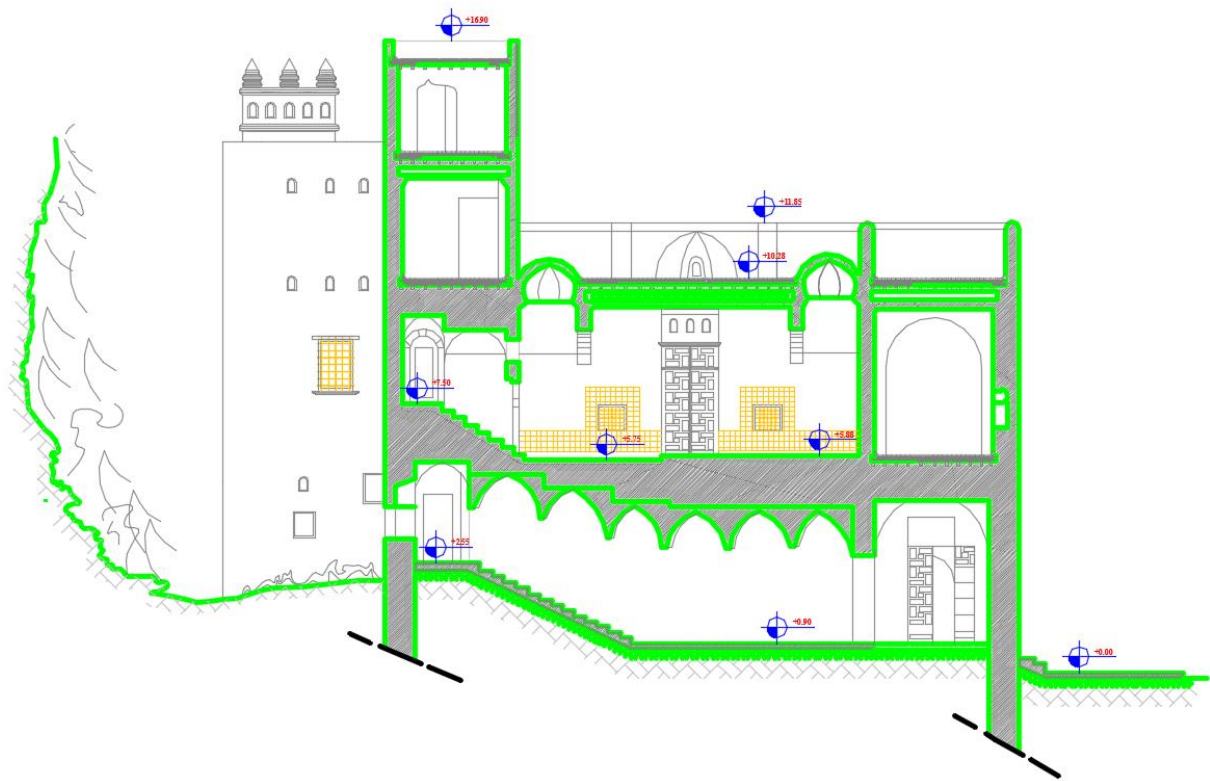
Coupe BB : 1/200



Source : Cabinet d'Architecture de design et des technologies de construction «A.D.T"
(Restauration de la villa ABDEL TIF 2006/2008)

RELEVES METRIQUES :

Coupe CC : 1/200



Source : Cabinet d'Architecture de design et des technologies de construction «A.D.T"
(Restauration de la villa ABDELTIF 2006/2008)