

41020054/001

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme

epau

Laboratoire Architecture et Environnement



Mémoire
Pour l'obtention du diplôme de
MASTER EN ARCHITECTURE
Option: Architecture et Environnement



Thème

Réduction de la vulnérabilité des édifices historiques

**Analyse du diagnostic de la restauration de
la mosquée Ali Betchine**

(La Casbah d'Alger)

Présenté et soutenu par
Melle MECHOUARI Zineb

Mémoire dirigé par :
Dr ATTARI Nassereddine / EPAU

Jury :

Président de jury : Dr ATHAMENA Khaled Enseignant EPAU

Examineur : M. AMRAOUI Belabbes Enseignant EPAU

Examinatrice : Mme BERNOU Semha Enseignante EPAU

Novembre 2016

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, pour l'affection qu'ils me portent et les efforts consentis ayant permis d'évoluer dans mes études. Qu'ils trouvent, ici, l'expression de mon amour filial, de ma gratitude et de mon profond respect.

À mes frères et sœurs, pour leurs encouragements, leur présence et leur soutien.

*À tous mes amis, pour les bons moments que nous avons partagés ensemble, ainsi que les moments durs que nous avons surpassés ...
Ces moments qui ont soudé notre relation.*

Remerciements :

Je remercie Dieu de m'avoir donné la force et la volonté, et m'avoir guidé vers l'accomplissement de ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à mon encadreur Dr. ATTARI Nassereddine qui m'a orienté dans le suivi des étapes de ma recherche... Je tiens à le remercier pour la confiance, la disponibilité, et le bon encadrement avec les précieux conseils enrichissants et encouragements qu'il m'a apporté.

Je remercie également les membres du jury qui ont pris le soin d'examiner ce modeste travail.

Je tiens à remercier M. MEHRI Amine le chef de BET « 3D Dimensions » qui n'a pas hésité à m'aider et me donner toute la documentation nécessaire. Sans oublier de remercier le personnel de la DARQ.

Je tiens aussi à remercier M. RAHAL Nahed et sa fille, ma chère copine Manel, pour tout le temps consacré pour m'aider.

J'adresse également mes vifs remerciements, au personnel de la bibliothèque de l'EPAU.

Je remercie ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

Résumé :

L'Algérie est un pays riche en termes de patrimoine, témoin de l'histoire et de la richesse du savoir-faire d'une époque donnée. Cependant, ce patrimoine est dans un état de dégradation inquiétant. Aujourd'hui, l'état et les collectivités locales y ont apporté leur attention en s'inscrivant dans une stratégie de sauvegarde et de préservation de ce dernier.

La restauration des monuments historiques est une pratique qui consiste à suivre plusieurs principes et recommandations spécifiques dégagés et formulés sur le plan international, et qui doivent être appliqués avec soin dans tout projet de restauration. Cette opération nécessite une recherche approfondie sur la base de données fiable sur l'édifice, tout en visant la restitution des caractéristiques d'authenticité de l'objet de restauration.

La problématique des monuments historiques en Algérie, est orientée vers les procédures de conservation et l'importance des conditions et des principes à respecter dans un projet de restauration. Depuis, des mesures ont été prises en vue de préserver la mémoire de la ville d'Alger, ce site ayant une grande charge historique, a connu plusieurs opérations de réhabilitation des édifices, notamment la mosquée Ali Betchine, le cas d'étude de cette recherche.

Ayant comme objectif principal de cette recherche la réduction de la vulnérabilité des édifices en maçonnerie et leur mise en valeur, la nouvelle forme de préservation et de restauration du patrimoine, doit intégrer les notions de développement durable, et l'impact qu'elle va générer sur l'environnement. Dans le but d'assurer sa pérennité dans le temps pour le transmettre aux générations futures.

Enfin, la présente recherche se traduit par un diagnostic de la restauration de la mosquée Ali Betchine, dans ses différentes phases, allant de l'état des lieux avant la restauration, suivi du projet de restauration, aboutissant à l'état actuel de la mosquée.

Mots clés : Patrimoine, sauvegarde, préservation, monuments historiques, conservation, restauration, ville d'Alger, la mosquée Ali Betchine, vulnérabilité, diagnostic.

Abstract:

Algeria is a rich country in terms of wealth, which witnesses the rich history and the knowledge of that time. However, this heritage is in an alarming condition of degradation. Currently, the state and local authorities are giving their attention to this heritage, by registering in a backup strategy to preserve it.

The restoration of historical monuments is a practice in which consists in the respect of several specific principles. These principles and recommendations, which are internationally identified and formulated, must be applied with care in any restoration project. It requires extensive research on the basics of reliable data of the building, while seeking the return of authenticity of the restoration object characteristics.

The problem of historical monuments in Algeria is being oriented toward conservation procedures and the importance of the conditions and principles, in which must be observed in a restoration project. Since then, measures to preserve the memory of the city of Algiers, this site of great historical burden, has undergone several operations and rehabilitation of buildings, including the mosque Ali Betchine, the case study of this research.

The primary objective of this research to reduce the vulnerability of buildings in masonry, and set values to them, the new form of heritage preservation and restoration, should integrate the concepts of sustainable development, and the impact it will generate on the environment. In order to ensure its durability in time for the transmission to future generations.

Finally, this research is a diagnostic of the restoration of the mosque Ali Betchine, in their different phases, ranging from statements of places before the restoration, the restoration project, and arriving on the current condition of the mosque.

Keywords: heritage, saving, preservation, historical monuments, conservation, restoration, city of Algiers, mosque Ali Betchine, vulnerability, diagnostic.

المخلص :

يعد التراث العمراني أحد الرموز الأساسية لتطور الإنسان عبر التاريخ، ويعبر عن القدرات التي وصل إليها الإنسان في التأقلم مع بيئته المحيطة به. إن التراث العمراني القائم حاليا في الجزائر يبرز لنا صورة متكاملة، بكل ما يحتويه من حلول جيدة عكست ظروف البيئة المحلية، وكذلك ما يحتويه من حلول تصميمية منسجمة مع احتياج الفرد والمجتمع من حيث العادات والتقاليد. ومع ذلك، فهو في حالة تدهور مقلقة، مما جعل السلطات المحلية والولائية تولي اهتمامها به، في إطار تنظيم استراتيجية لحفظه وترميمه.

إن ترميم الآثار التاريخية عملية معقدة، تقوم على مبادئ وتوصيات محددة، تمت صياغتها وتثبيتها على الصعيد الدولي، التي يجب تطبيقها بحذافيرها في أي مشروع للترميم. بحيث يتطلب إجراء بحوث واسعة على أسس وبيانات موثوقة تخص المبنى موضوع الترميم، للسعي نحو إعادة ترميم خصائصه الأولى التي بني عليها.

مشكلة المعالم التاريخية في الجزائر، وجهت نحو القيام بإجراءات للحفاظ عليها كتوحيد الجهود الإدارية والتنظيمية لتمكين الهيئة من تنفيذ مهامها والمسؤوليات المترتبة عليها في المحافظة على التراث العمراني الوطني بالتعاون مع الجهات المختلفة من القطاعين العام والخاص والمجتمعات المحلية، كما نصت على أهمية الشروط والمبادئ التي يتعين مراعاتها في أي مشروع للترميم. ومنذ ذلك الحين، تم اتخاذ التدابير اللازمة للحفاظ على ذاكرة المدن من بينها مدينة الجزائر، هذه المدينة العتيقة تاريخيا، تحمل من المباني ما يجعلها من بين المدن ذات الأولوية للحفاظ على تراثها العمراني. ولهذا، خضعت لعدة عمليات ترميم وإعادة تأهيل للمباني، بما في ذلك مسجد علي بننشين موضوع هذا البحث.

إن الهدف الأساسي لهذا البحث هو الحد من تعرض المباني للهشاشة، والحفاظ عليها وترميمها، واتباع الاستراتيجية الحديثة للحفاظ على التراث وترميمه، مع دمج مفاهيم التنمية المستدامة، وتأثير عملية الترميم على البيئة، من أجل ضمان فترة حياتية لإيصالها إلى الأجيال القادمة.

أخيرا، هذا البحث هو تشخيص لعملية الترميم التي شهدتها مسجد علي بننشين، في مراحلها المختلفة: انطلاقا من الحالة التي كان عليها قبل عملية الترميم، مرورا بمشروع الترميم، والوصول في الأخير إلى الوضع الحالي للمسجد.

الكلمات المفتاحية: التراث، المعالم التاريخية، الحفاظ عليها، الترميم، مدينة الجزائر، مسجد علي بننشين، الهشاشة،

تشخيص.

Table des matières

Dédicace	I
Remerciements	II
Résumé	III
Abstract	IV
الملخص	V

CHAPITRE INTRODUCTIF :

Introduction générale.....	1
Problématique spécifique.....	3
Les hypothèses	3
Les objectifs de la recherche	3
La méthodologie de la recherche.....	4
La structure du mémoire.....	4

PREMIERE PARTIE : DONNEES THEORIQUES DE LA RECHERCHE

Chapitre 01 : APPROCHE CONCEPTUELLE DE LA RECHERCHE :

1.1. Introduction.....	06
1.2. Les concepts qualifiant le bâti existant.....	06
1.3. Les modes d'intervention sur le patrimoine bâti.....	08
1.4. La restauration à travers les chartes et les normes internationales.....	11
1.5. Le cadre réglementaire de la restauration en Algérie.....	17
1.6. Conclusion.	21

CHAPITRE 2 : LES PATHOLOGIES DES EDIFICES HISTORIQUES EN MAÇONNERIE :

2.1. Introduction.....	22
------------------------	----

2.2. Les pathologies des structures en bois.....	22
2.3. Pathologies liées aux structures en maçonneries de pierre	26
2.4. Conclusion.	38

Chapitre 3 : ALGER ET LE PHENOMENE SISMIQUE

3.1. Introduction.....	39
3.2. Le phénomène sismique.....	39
3.3. L'historique de la sismicité en Algérie.	42
3.4. L'activité sismique en Algérie.	43
3.5. Les dispositifs juridiques et la vulnérabilité	44
3.6. Evaluation de l'aléa sismique au site d'Alger et ses environs.	46
3.7. Facteurs affectant la vulnérabilité sismique des bâtiments.	49
3.8. Méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique.	50
3.9. La prévention et la réduction du risque sismique.	51
3.10. Conclusion.....	52

DEUXIEME PARTIE : CAS D'ETUDE : LA MOSQUEE ALI BETCHINE

Chapitre 4 : CAS D'ETUDE : LA MOSQUEE ALI BETCHINE :

4.1. Introduction.....	54
4.2. Situation de la Casbah d'Alger.....	54
4.3. Historique de la Casbah d'Alger.....	56
4.4. Situation de la mosquée Ali Betchine.....	59
4.5. Historique de la mosquée Ali Betchine.....	60
4.6. Description de la mosquée Ali Betchine.....	64
4.7. Conclusion.	67

Chapitre 5 : ETAT DES LIEUX DE LA MOSQUEE ALI BETCHINE AVANT LA RESTAURATION :

5.1. Introduction.....	68
5.2. Diagnostic pathologique :	68
5.2.1. Espaces voûtés du sous-sol (magasins)	68
5.2.2. Espaces annexes du sous-sol (La salle d'ablutions et les sanitaires)	69
5.2.3. Dépôt.....	70
5.2.4. Salle de prière (niveau RDC)	70
5.2.5. La Sedda des femmes.....	73
5.2.6. Le mihrab.....	74
5.2.7. Le minaret.....	74
5.2.8. La terrasse.....	76
5.2.9. Les façades.....	76
5.3. Dossier graphique de la mosquée Ali Betchine.....	78
5.4. Conclusion.	89

Chapitre 06 : LES TRAVAUX DE RESTAURATION DE LA MOSQUEE ALI BETCHINE :

6.1. Introduction.....	90
6.2. Le commencement des travaux de restauration de la mosquée Ali Betchine.....	90
6.3. Les travaux de restauration de la mosquée Ali Betchine.. ..	91
6.4. L'extension de la mosquée Ali Betchine.....	102
6.5. Conclusion.	103

Chapitre 07 : METHODES DE RENFORCEMENT :

7.1. Introduction.....	104
7.2. La lutte contre l'humidité.....	104
7.3. Consolidation des fondations.....	107

7.4. Consolidation des murs en maçonnerie de pierre.....	110
7.5. Traitement de fissures des murs en pierres.....	111
7.6. La réhabilitation des planchers.....	113
7.7. La réhabilitation des toitures	114
7.8. Renforcement sismique	114
7.9. Conclusion.....	115
CONCLUSION GENERALE.....	116
Bibliographie.....	120
Tables des figures.....	124
Annexes.....	128

CHAPITRE INTRODUCTIF

Introduction générale :

La casbah d'Alger rentre dans le plan stratégique d'Alger métropole 2029, une ville emblématique considérée comme étant un centre historique, représente l'identité patrimoniale de l'Algérie. La première phase du plan en question intitulée : *plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur du secteur protégé de La Casbah (2009-2014)*, a pris en charge la réhabilitation du centre historique d'Alger, la restauration des équilibres écologiques, le réaménagement urbain de certains quartiers implantés autour des grands équipements publics, la mise en œuvre d'un plan d'éclairage moderne et le macro maillage du transport urbain en commun.

Contrairement à certains pays européens, l'Algérie est un pays jeune dans le domaine de la conservation et de la restauration du patrimoine historique bâti. Un manque d'expérience évident dans ce domaine a amené les spécialistes à chercher les solutions liées aux méthodes et aux techniques d'interventions, à travers l'expérience européenne, laquelle a subi de nombreux bouleversements par rapport à l'attitude scientifique à adopter face aux problèmes posés par la dégradation des monuments et sites historiques. Cette expérience européenne venant notamment des désastres causés par la deuxième guerre mondiale, nous a appris que le prétexte de sauvetage d'un monument menacé de ruine ne peut en aucun cas justifier l'utilisation systématique de structures rigides et irréversibles tel que le béton armé coulé (solution rapide et moins coûteuse)¹. De nos jours l'utilisation de ce matériau peut être acceptable dans certain cas, en s'assurant de la compatibilité de cette solution technique avec l'édifice ancien en question, ceci après avoir procédé à des analyses approfondies liées à : la typologie structurelle des édifices anciens (rigides-flexibles) et la compatibilité physico-chimique (matériaux nouveaux – matériaux anciens).

Ces vérifications doivent réunir des connaissances diverses : structure, comportement physique et chimique des matériaux, dans un travail d'équipes pluridisciplinaires, et doivent également tenir compte non seulement des résultats immédiats, mais aussi des risques à long terme.

Dans le cas de l'Algérie, plusieurs édifices ont subi des travaux de restauration et de réhabilitation dans le cadre de la conservation du patrimoine bâti. Certains travaux de restauration représentent des expériences à revoir, tel que le cas du « Bastion 23 », quant au choix des solutions techniques structurelles adoptées, en effet, l'utilisation systématique du béton armé pour la consolidation des structures de cet édifice, en prévision des futures surcharges d'exploitation peut

1 : *Les cahiers de l'EPAU, Revue semestrielle d'architecture et d'urbanisme N°5, 1996, Alger 65p.*

engendrer des problèmes de stabilité liés à l'incompatibilité du système ancien, avec le nouveau système à cage rapide.

« Dans cette sphère, le patrimoine religieux occupe une place importante, puisque une grande partie des biens culturels classés et considérés comme patrimoine sont de nature religieuse, ceci peut être expliqué par le développement même de la notion de patrimoine tel qu'on la connaît aujourd'hui, une notion qui puise ses racines dans le concept religieux, du culte des objets sacrés (reliques, icônes,...), cette vénération étant un des fondements de la notion de patrimoine »².

La spécificité du patrimoine religieux réside dans le fait qu'en plus de la valeur d'ancienneté et la valeur d'usage, les objets religieux ont des valeurs liées aux croyances des fidèles et à une sacralité qui suscite la vénération. Cette spécificité implique la prise en compte des valeurs liées à ce type de patrimoine dans toute intervention³.

Parmi les édifices qui représentent un patrimoine religieux en Algérie, la mosquée Ali Betchine. Classée parmi les vingt et une plus anciennes mosquées de la Casbah d'Alger de l'époque Ottomane et nommée comme patrimoine par l'UNESCO. Sa construction remonte selon les archives, à 1622 (vers 1032 de l'hégire). Elle a été financée par l'œuvre caritative du renégat vénitien italien *Piccinino* (ce qui a certainement entraîné la déformation de l'appellation pour devenir : Betchine), converti à l'Islam, et qui avait pris le soin de doter la mosquée de boutiques dont le revenu devait être affecté aux dépenses de la mosquée⁴.

Lors de l'ère coloniale, la mosquée fut transformée en pharmacie par l'armée française avant d'être affectée en 1843 au culte catholique sous l'appellation de «Notre Dame des Victoires». A l'indépendance du pays, elle fut reversée au fonds des biens patrimoniaux musulmans.

L'édifice d'origine a subi d'importants dégâts dus aux diverses affectations qu'ils lui ont été attribuées, la destruction de son minaret ainsi qu'aux activités du *souk* voisin qui ont contribué à sa dégradation. Un projet de restauration tente depuis 1988 de réhabiliter la mosquée en respectant les plans architecturaux d'origine. Les travaux de restauration de la mosquée Ali Betchine prirent fin seulement en septembre 2010 après plus de douze années de fermeture. Cela nous mène à poser notre problématique.

2 : Nedjari Samir, 2012. Conversion des lieux de culte à Alger du XVIIIème au XXème siècle. Cas de la mosquée/cathédrale Ketchaoua. Master recherche : patrimoine et conservation- restauration. Université Paris I Panthéon- Sorbonne, 162p.

3 : Ideem.

4 : Chergui Samia, 2011, *Les mosquées d'Alger ; construire, gérer et conserver (XVI-XIX siècles)*, 1^{ère} éd., P U De Paris-Sorbonne, Paris, 371p.

Problématique spécifique :

Pour la restauration ou la consolidation des structures anciennes, il est indispensable de tenir compte de la compatibilité mécanique, chimique et physique de nouveaux précédés avec l'édifice ancien. Ainsi que la prise en charge de la durabilité et les risques sismiques et l'impact de la restauration en post-travaux.

A travers ces conditions, et dans le cadre de la préservation du patrimoine architectural national, les recherches sur le développement des techniques et des outils utilisés au niveau des opérations de restauration sont très variées. Cependant, le problème qui se pose au niveau de ces opérations est l'apparition d'autres menaces et/ou problèmes après l'intervention. Ces dernières sont dues à l'inadaptabilité des techniques et des matériaux utilisés au cours de l'intervention avec ceux de l'édifice concerné. Tout cela nous amènera à poser notre question qui constitue le point de départ de notre recherche :

Comment la durabilité ainsi que le phénomène sismique ont été pris en charge lors de la restauration de la mosquée Ali Betchine ?

Les hypothèses :

En vue de répondre à notre problématique, nous avons proposé les hypothèses suivantes :

Hypothèse 01 : La restauration a été bien faite globalement, mais il reste toujours des aspects et des parties à améliorer pour garantir la durabilité de l'édifice face aux risques sismiques.

Hypothèse 02 : Les techniques et les matériaux qui ont été utilisés pendant le déroulement de l'opération de restauration ne sont pas adéquats avec les matériaux utilisés dans la construction de la mosquée Ali Betchine. Aussi, les risques sismiques n'ont pas été pris en charge pendant les travaux.

Les objectifs de la recherche :

Notre recherche a comme objectif d'élaborer un diagnostic sur les travaux de restauration de la mosquée Ali Betchine, afin de montrer comment nous pouvons appliquer une opération qui répond aux normes de restauration sur un édifice historique classé.

Nous voulons également montrer l'importance des opérations de restauration dans le cadre de préservation du patrimoine national avec la prise en charge de la dimension environnementale et l'aspect de durabilité de l'édifice, tout en mettant le doigt sur l'adaptabilité des techniques de restauration et des outils avec les matériaux utilisés pour la construction de la mosquée.

Etant donné que notre cas d'étude « la mosquée de Ali Betchine » se situe dans la basse Casbah d'Alger, zone sismique numéro trois, notre but est de limiter les risques sismiques face à une catastrophe naturelle imprévisible, irréversible et inévitable et diminuer la vulnérabilité de la structure de la mosquée face à ces aléas.

La méthodologie de recherche :

Afin d'atteindre notre objectif de recherche, la nature de notre thème d'étude nous dicte, de suivre une démarche qui couvre la question de notre problématique. Nous allons utiliser **la méthode mixte**⁵ (méthode quantitative et méthode qualitative) qui combine les autres méthodes de collecte et d'analyse des données. Cette méthode a été choisie grâce à l'importance du sujet qui touche plusieurs aspects et qui nécessite une compréhension sur différentes échelles.

Il s'agira donc, d'effectuer une recherche théorique concernant notre thème de recherche (réduction de la vulnérabilité des édifices en maçonnerie), et des sorties sur terrain (cas d'étude), qui constitueront un moyen d'observation directe et de constatation sur la restauration. Nous réaliserons des entretiens, avec l'architecte concepteur des études et celui chargé du suivi du projet de restauration de la mosquée Ali Betchine.

Les diverses informations collectées lors de l'étude théorique ainsi que les investigations effectuées sur terrain, vont nous servir de support pour diagnostiquer la pertinence de la restauration de la mosquée, et de fait, vérifier les hypothèses supposées dans le cadre de notre recherche.

La structure du mémoire :

Notre recherche sera organisée dans le présent mémoire comme suit :

- Une introduction générale formulant et définissant notre sujet de recherche.

5 : Messaoudène Maha, 2014, Les cours de Méthodologie de recherche, EPAU.

- Une première partie constituée de trois chapitres, où nous présenterons les données théoriques inhérentes à notre sujet de recherche :
 - ✓ Dans le premier chapitre, nous traiterons principalement les différents concepts en rapport avec notre champ de recherche.
 - ✓ Dans le deuxième chapitre, nous aborderons les pathologies touchant les structures en maçonnerie de pierre.
 - ✓ Dans le troisième chapitre, nous évoquerons le phénomène sismique dans la ville d'Alger.

- Une deuxième partie constituée de quatre chapitres, consacrée à notre cas d'étude la mosquée Ali Betchine :
 - ✓ Dans le quatrième chapitre, nous présenterons notre cas d'étude.
 - ✓ Dans le cinquième chapitre, nous aborderons les états des lieux de la mosquée avant les travaux de restauration.
 - ✓ Dans le sixième chapitre, nous évoquerons les travaux de restauration de la mosquée, avec leur état actuel.
 - ✓ Le septième chapitre, sera consacré à proposer des méthodes de renforcement.

- Une conclusion générale, où sera dressé un récapitulatif de notre étude, ainsi que les résultats atteints dans le cadre de cette recherche.

PREMIERE PARTIE :

DONNEES THEORIQUES DE LA RECHERCHE

Chapitre 01 : APPROCHE CONCEPTUELLE DE LA RECHERCHE :

- 1.1. Introduction,
- 1.2. Les concepts qualifiant le bâti existant,
- 1.3. Les modes d'intervention sur le patrimoine bâti,
- 1.4. La restauration à travers les chartes et les normes internationales,
- 1.5. Le cadre réglementaire de la restauration en Algérie,
- 1.6. Conclusion.

1.1. Introduction :

Ce présent chapitre a pour objectif de fournir les différentes définitions des concepts qui ont une relation directe avec notre champ de recherche. Il s'agira d'exposer les modes d'intervention sur le bâti, et leurs définitions issues de la loi, tout en précisant notre thème de recherche «la restauration».

Ce chapitre évoque aussi la restauration à travers les chartes et les normes internationales tel que la Charte d'Athènes, la Charte de Venise... Toutefois, rien ne remplacera une bonne prise en compte du cadre réglementaire de la restauration en Algérie.

1.2. Les concepts qualifiant le bâti existant :

Le bâti est le produit culturel d'un peuple, qui diffère d'un endroit à un autre. A travers la lecture du bâti existant, on pourra faire une catégorisation qui se basera sur plusieurs concepts :

1.2.1. Le patrimoine :

Le mot patrimoine vient du latin *patrimonium* qui signifie littéralement « l'héritage du père ». A l'origine, il désigne l'héritage transmis du père à ses enfants.

La notion de patrimoine dans son acception de bien collectif peut se définir comme l'ensemble des richesses d'ordre culturel (matérielles et immatérielles) appartenant à une communauté, héritage du passé ou témoin du monde actuel. Le patrimoine est aussi bien naturel que culturel. Il est considéré comme indispensable à l'identité et à la pérennité d'une communauté donnée et comme étant le résultat de son talent. A ce titre, il est reconnu comme digne d'être sauvegardé et mis en valeur afin d'être partagé par tous et transmis aux générations futures¹.

1.2.2. Le patrimoine bâti :

C'est l'ensemble des monuments historiques, appliqué à des petits groupes choisis de monuments ou de sites, dont ils représentent une valeur.

Néanmoins, la définition du patrimoine bâti a été élargie pendant les années trente en termes de typologie. En 1964, et avec l'approbation du texte de la charte de Venise, la notion de monument

1 : Fiche enseignant: « La notion de patrimoine », Service pédagogique Château Guillaume le Conquérant - 14700 Falaise. Lien : <http://www.chateau-guillaume-leconquerant.fr/web/pdf/service-pedagogique/dossiers-thematiques/fiche-patrimoine.pdf>. Date de consultation : décembre 2015.

historique a été étendue pour contenir aussi, les œuvres modestes ayant acquis avec le temps une signification culturelle.

De nos jours, la définition de patrimoine bâti désigne :

- ✓ Les monuments,
- ✓ Les bâtiments, les sites archéologiques et autres sites,
- ✓ Les zones urbaines,
- ✓ Les paysages culturels.

1.2.3. Le patrimoine architectural :

Selon l'article 01 de « *La convention pour la sauvegarde du patrimoine architectural* » de l'Europe, l'expression **Patrimoine architectural** est considérée comme comprenant les biens immeubles suivants:

Les monuments : toutes réalisations particulièrement remarquables en raison de leur intérêt historique, archéologique, artistique, scientifique, social ou technique, y compris les installations ou les éléments décoratifs faisant partie intégrante de ces réalisations.

Les ensembles architecturaux : groupements homogènes de constructions urbaines ou rurales remarquables par leur intérêt historique, archéologique, artistique, scientifique, social ou technique et suffisamment cohérents pour faire l'objet d'une délimitation topographique.

Les sites : œuvres combinées de l'homme et de la nature, partiellement construites et constituant des espaces suffisamment caractéristiques et homogènes pour faire l'objet d'une délimitation topographique, remarquables par leur intérêt historique, archéologique, artistique, scientifique, social ou technique.

1.2.4. Vieux bâti :

C'est l'ensemble du patrimoine immobilier réalisé durant la période coloniale française. Il est composé d'immeubles d'habitation et aussi d'ensembles d'habitat social, dont la gestion est confiée pour la grande partie de ce patrimoine à l'OPGI (Offices de Promotion et de Gestion Immobilières).

1.2.5. Le monument :

C'est un ouvrage d'architecture ou de sculpture, édifié en mémoire d'une personne ou d'un évènement, et qui est remarquable par sa taille et sa valeur architecturale ou historique².

Le sens premier du monument est plus étroit : « par monument, au sens le plus ancien et véritablement original du terme, on entend une œuvre créée de la main de l'homme et édifiée dans le but précis de conserver toujours présent et vivant dans la conscience des générations futures le souvenir de telle action ou telle destinée »³.

Par la suite, le sens du mot s'élargi. Voire une double extension : d'une part, les actions ou les destinées à conserver vivantes dans la mémoire étant d'abord celle des puissants, et l'aspect imposant étant un moyen efficace de lutter contre l'érosion et l'oubli, l'idée de monument a fini par être associée à celle de grandeur, et l'adjectif monumental devenir synonyme d'imposant.

1.2.6. Monument historique :

Selon la Charte de Venise 1964, le monument historique est une création architecturale (grande ou modeste qui a acquis une signification culturelle), isolée ou groupée, qui porte témoignage d'une civilisation particulière, d'une évolution significative ou d'un évènement historique⁴.

1.2.7. La ville historique :

Une ville historique est le reflet des collectivités humaines qui ont vécu ou sont passées par un milieu donné, façonné et perfectionné par la main des hommes, et qui y ont laissé des traces matérielles de leurs habitudes, rites et traditions. Les villes qui ont pu survivre, en tout ou en partie, avec ce caractère dans leur unité d'environnement à nos jours, sont des villes de type historique.

1.3. Les modes d'intervention sur le patrimoine bâti :

« L'architecture mineure devient partie intégrante d'un nouveau monument, l'ensemble urbain ancien : une ville historique qui constitue en soi un monument, par sa structure topographique comme par son aspect paysager, par le caractère de ses voies comme par l'ensemble de ses édifices majeurs et mineurs, aussi comme pour un monument individuel, il conviendra de lui

2 : <http://www.cnrtl.fr/definition/monument>

3 : Choay Françoise, 1992, *L'allégorie du patrimoine*, 1^{ère} éd., Editions du seuil, Paris, 276 p.

4 : Palmerio Giancarlo, 1993, *Cours de restauration*, 1^{ère} éd., CENTROANALISI Sociale Progetti, Rome, 115p.

appliquer identiquement les lois de protection et les mêmes critères de restauration, de dégagement, de réfection et d'innovation »⁵.

Le mode d'intervention sur un tissu existant se diffère d'un édifice à un autre, selon le type d'édifice (religieux, militaire, administratif...), l'époque de construction de l'édifice (ottomane, coloniale ...), la valeur qui la représente (d'ordre architectural, culturel...) et surtout s'il s'agit d'un patrimoine classé ou non.

1.3.1. La réhabilitation:

La réhabilitation est une intervention qui vise à sauvegarder des édifices anciens devenus obsolètes (fonctionnellement et physiquement), et qui peuvent être requalifiés pour jouer encore un rôle important de la ville et de ses centres urbains. C'est une « mise à jour » du cadre bâti qui permet de sauvegarder des surfaces planchées encore en activité dans la ville, pour les reverser dans les modalités de vie urbaine actuelle.

La réhabilitation est devenue depuis quelques années l'un des moyens importants de la politique urbaine. Pour les villes moyennes, elle constitue un outil de revitalisation économique, sociale et culturelle.

1.3.2. La restauration immobilière:

La restauration est une intervention qui vise à restituer et à reconsidérer l'identité artistique des objets (qu'il s'agisse d'édifices architecturaux, d'ensemble monumentaux, ou de l'environnement, de partie de villes, de centres urbains entiers ou de tout le territoire) légués par l'histoire et endommagés par le temps et par l'homme, afin de faciliter leur lecture et de les transmettre aux générations futures.

Elle vise à régénérer les tissus anciens présentant un intérêt historique, artistique, ou culturel dans le respect de la trame existante et de l'architecture des bâtiments qui doivent être remis en état. Les éléments destinés à remplacer les parties manquantes doivent s'intégrer harmonieusement à l'ensemble, faisant appel aux techniques modernes de conservation et de construction dont l'efficacité a été démontrée par des données scientifiques et garantie par l'expérience et le principe de lisibilité et distinguabilité afin que l'intervention ne falsifie pas le document d'art et d'histoire dans sa lecture⁶.

Pour cela il est important de :

5 : Idem.

6 : Bendali-Hacine Abderrazak, 2014, Les cours de Droit et Instruments d'Urbanisme, 4eme année s7, EPAU

- Etudier de manière directe le monument en se basant sur des documents sûrs, sur les relevés et les restitutions historiques documentées.
- Eviter le dogmatisme, travailler avec patience et modération.
- Considérer l'œuvre architecturale comme le résultat de remaniements, de transformations, de changements partiels et seulement rarement comme une construction unitaire et fidèle à l'aspect primitif.

1.3.3. La sauvegarde :

C'est une action qui ne vise pas seulement à fixer l'état existant mais à créer aussi une certaine animation sociale à l'intérieur de la ville traditionnelle, tout en lui conservant sa valeur culturelle et symbolique, à travers la volonté de conserver le plus possible de maisons d'habitation, on traduit le reflet de cette sauvegarde qui permettra de servir de larges couches sociales cela une fois que leur mise en valeur est faite.

1.3.4. Rénovation :

« La rénovation est une intervention qui vise à démolir des édifices anciens devenus obsolètes (fonctionnellement et physiquement), et qui ne peuvent pas être requalifiés pour jouer encore un rôle important de la ville et de ses centres urbains en leur forme actuelle. Elle vise à leur redonner une structure et une architecture compatible avec les exigences de l'hygiène et de l'esthétique. Elle n'autorise pas d'effectuer n'importe quelle transformation et se fait dans le respect de la vocation de l'ensemble à rénover »⁷.

1.3.5. La préservation :

C'est une action globale de protection du patrimoine architectural et naturel, contre l'action destructrice des hommes, par une législation appropriée et sa conservation dans le temps à l'aide des techniques d'entretien, de consolidation et de restauration, pouvant elles aussi ressortir une codification légale.

1.3.6. La restructuration :

C'est une intervention très lourde qui vise à raser un morceau de ville en entier et à considérer ses édifices et sa structure (viaire et parcellaire) comme obsolète. C'est faire table rase de l'existant,

7 : Bendali-Hacine Abderrazak, 2014, Les cours de Droit et Instruments d'Urbanisme, 4eme année s7, EPAU

pour construire en site presque qualifié de vierge, nonobstant les édifices ou parties de quartier à préserver⁸.

Définitions issues de la loi :

Réhabilitation : toute opération qui consiste en l'intervention sur un immeuble ou un groupe d'immeubles en vue de leur restituer leurs aspects initiaux et d'améliorer le confort et l'usage des équipements d'exploitation.

Restauration immobilière : toute opération permettant la mise en valeur d'immeubles ou groupe d'immeubles présentant un intérêt architectural ou historique, sans préjudice des dispositions contenues dans la loi n° 98-04.

Rénovation urbaine : toute opération physique qui, sans modifier le caractère principal d'un quartier, constitue une intervention profonde sur le tissu urbain existant pouvant comporter la destruction d'immeubles vétustes et le cas échéant, la reconstruction, sur le même site, d'immeubles neufs.

Restructuration : elle peut être totale ou partielle, elle concerne aussi bien les réseaux de viabilité que les immeubles ou groupes d'immeubles. Elle peut comporter une destruction partielle d'îlots et une modification des caractéristiques du quartier par des transferts d'activités de toute nature et la désaffectation des bâtiments en vue d'une autre utilisation.

1.4. La restauration à travers les chartes et les normes internationales :

Afin d'accompagner les politiques de préservation et de sauvegarde initiées à l'égard du patrimoine bâti, dans les différents pays à travers le monde, des chartes et des conventions ont été ordonnées à l'échelle internationale depuis la première moitié du XXe siècle.

Les normes à observer dans les interventions de restauration⁹:

- 1- Différence de style entre le nouveau et l'ancien,
- 2- Différence des matériaux de construction,
- 3- Suppression de profils et d'ornements,
- 4- Exposition des anciens morceaux enlevés dans les parages du monument,

8 : Idem.

9 : Palmerio Giancarlo, 1993, *Cours de restauration*, 1ere éd.,CENTROANALISI Sociale Progetti, Rome, 115p.

- 5- Inscription, sur chaque pièce rénovée, de la date de la restauration et d'un signe conventionnel,
- 6- Epigraphe descriptive gravée sur le monument,
- 7- Description et prise de vue photographiques des différentes phases du travail, consignées à l'intérieur du bâtiment ou dans un lieu proche de celui-ci ou bien publication de cette description,
- 8- Notoriété.

Dans l'ensemble, ces principes peuvent être considérés comme la première Charte de la restauration, et ont pour but d'éviter d'induire en erreur les générations présentes et à venir et de conserver au monument son aspect ancien.

1.4.1. La Charte d'Athènes, 1931 :

L'intérêt de cette Charte est d'étudier et coordonner les différentes façons de veiller à la protection et à la conservation et la mise en valeur des monuments d'art et d'histoire.

Au cas où une restauration apparaît indispensable par suite de dégradation ou de destruction, elle recommande de respecter l'œuvre historique et artistique du passé, sans proscrire le style d'aucune époque. Elle recommande de maintenir l'occupation des monuments qui assure la continuité de leur vie en les consacrant toutefois à des affectations qui respectent leur caractère historique ou artistique, tout en mettant des législations dont le but est de protéger ces monuments appartenant aux différentes nations. Elle souhaite que l'Office international des Musées publie un recueil et un tableau comparé des législations en vigueur dans les différents Etats et les tiennent à jour¹⁰.

Elle recommande la suppression de toute publicité, de toute présence abusive de poteaux ou fils télégraphiques, de toute industrie bruyante, même des hautes cheminées dans le voisinage des monuments d'art ou d'histoire.

Les experts approuvent l'emploi judicieux de toutes les ressources de la technique moderne et plus spécialement du ciment armé. Ils spécifient que ces moyens confortatifs doivent être dissimulés sauf impossibilité, afin de ne pas altérer l'aspect et le caractère de l'édifice à restaurer. Ils les recommandent plus spécialement dans les cas où ils permettent d'éviter les risques de dépose et de repose des éléments à conserver.

10 : Palmerio Giancarlo, 1993, *Cours de restauration*, 1ere éd., CENTROANALISI Sociale Progetti, Rome, 115p.

La Charte recommande la collaboration dans chaque pays des conservateurs de monuments et des architectes avec les représentants des sciences physiques, chimiques et naturelles, pour parvenir à des méthodes applicables aux cas différents. Elle recommande aussi, à l'Office international des Musées de se tenir au courant des travaux entrepris dans chaque pays sur ces matières et de leur faire une place dans des publications.

1.4.2. La Charte de la restauration italienne, 1931 :

Le Conseil supérieur pour les Monuments anciens et les Beaux-Arts énonce les principes essentiels d'une théorie de la restauration architecturale, donnant vigueur à un document qui est désormais connu sous le nom de « *Charte de la restauration italienne* », ces normes sont beaucoup plus détaillées et spécifiques à la restauration des monuments que celles contenues dans la « *Charte d'Athènes* ».

Le Conseil a informé de la nécessité de maintenir et de parfaire toujours davantage la suprématie incontestable que notre pays détient dans cette activité faite de science, d'art et de technique, convaincu de la responsabilité multiple et très lourde qu'engendre toute œuvre de restauration en garantissant la stabilité d'éléments délabrés, en conservant ou en ramenant le monument à sa fonction artistique, en mettant la main sur un ensemble de documentation d'histoire et d'art traduits en pierre et qui ne sont pas moins précieux que ceux que l'on conserve dans les musées ou dans les archives, en permettant des études analytiques qui peuvent avoir comme résultat de nouvelles déterminations dans l'histoire de l'art et de la construction¹¹.

Il retient qu'après plus de trente ans d'activité dans ce domaine, qui a donné lieu, dans son ensemble à des résultats magnifiques, on puisse tirer de ces résultats un ensemble de leçons concrètes pour confirmer et préciser une théorie de la restauration désormais établie avec continuité dans les délibérations du Conseil supérieur et dans la ligne suivie par la plupart des Directions des Monuments anciens et de l'Art médiéval et moderne et énonce les principes essentiels de cette théorie vérifiée par la pratique.

Il affirme donc¹² :

1. que, comme premier objectif, il faut accorder la plus grande importance aux soins assidus d'entretien et aux travaux de consolidation visant à rendre au monument la résistance et la longévité qui lui ont été enlevées par les infirmités ou les désagrégations,

11 : Palmerio Giancarlo, 1993, *Cours de restauration*, 1ère éd., CENTROANALISI Sociale Progetti, Rome, 115p.

12 : Idem.

2. que le problème de la réfection dictée par des motifs d'art et d'unité architecturale associés au critère historique, ne peut se poser que lorsqu'il se fonde sur des données absolument certaines fournies par le monument à remettre en état et non sur des hypothèses, sur des éléments en grande partie existants et non sur des éléments principalement neufs,
3. que, pour les monuments désormais éloignés de nos usages et de notre civilisation comme le sont les monuments anciens, il faut exclure en général, tout travail de complément et que seule l'anastylose est envisageable, c'est-à-dire la reconstitution de parties existantes mais démembrées avec adjonction éventuelle d'éléments neutres qui constituent le minimum nécessaire pour rétablir la continuité des formes du monument et assurer ses conditions de conservation,
4. que, pour les monuments que l'on peut considérer comme vivants, on peut admettre uniquement les affectations qui ne soient pas trop éloignées des destinations d'usage primitives de façon à ne pas causer à l'édifice, par les aménagements nécessaires, des altérations fondamentales,
5. que tous les éléments ayant un caractère artistique ou de souvenir historique, quelle que soit l'époque à laquelle ils appartiennent, soient conservés sans que le désir d'unité de style et de retour à la forme primitive n'interviennent pour en exclure certains éléments au détriment d'autres, seuls peuvent être enlevés des éléments comme les murages de fenêtres et d'ouvertures d'arcades qui, dépourvus d'importance et de signification, représentent des défigurements inutiles, mais que le jugement sur la valeur des éléments en question et la décision sur les éliminations à opérer doivent être soigneusement pesés et ne peuvent dépendre du seul auteur du projet,
6. que le respect pour le monument et pour des différentes phases doit aller de pair avec celui du milieu environnant qui ne doit pas être altéré par : des isollements inopportuns, la construction aux alentours de nouveaux édifices envahissants par leur volume, leur couleur, leur style,
7. que, en ce qui concerne les adjonctions qui s'avèreraient nécessaires, soit pour obtenir la consolidation, soit pour atteindre le but d'une réintégration totale ou partielle, soit pour l'utilisation pratique du monument, le critère essentiel à respecter doit être non seulement de les limiter au minimum possible mais aussi de leur donner un caractère de simplicité nue et de respecter l'équilibre de la construction et que l'on ne peut admettre des styles semblables que

pour la prolongation de lignes existantes dans les cas où s'il s'agit d'expressions géométriques dépourvues de caractère décoratif,

8. que de telles adjonctions doivent en l'occurrence être indiquées de façon soignée et évidente, soit par l'utilisation d'un matériau différent de l'original, soit par l'adoption d'encadrements simples et dépourvus d'ornements, soit encore par l'application de sigles et d'épigraphes de sorte qu'une restauration ne puisse jamais induire en erreur les chercheurs et constituer une falsification de document historique,
9. que, dans le but de renforcer la cohésion brisée d'un monument ou d'en réintégrer la masse, toutes les techniques de construction les plus modernes peuvent fournir une aide précieuse et il est opportun d'y faire appel lorsque les moyens de construction traditionnels se sont révélés inadéquats, que, de la même façon, les apports expérimentaux des différentes sciences doivent être mis à contribution pour tous les autres aspects, délicats et complexes, de conservation des structures délabrées où les procédés empiriques doivent désormais céder le pas à des techniques rigoureusement scientifiques,
10. que, dans les fouilles et les explorations qui mettent au jour des œuvres anciennes, le travail de dégagement doit être immédiatement et systématiquement suivi d'un travail d'aménagement des ruines et d'une protection permanente des œuvres d'art découvertes qui peuvent être conservées in Situ,
11. que, tant pour les fouilles, que pour la restauration des monuments, il est essentiel et obligatoire qu'une documentation précise accompagne les sous forme de rapports analytiques consignés dans un journal de la restauration et illustrés de dessins et de photographies, de sorte que tous les identifiés dans la structure et dans la forme du monument, toutes les phases travaux de reconstitution, de dégagement, de complément soient acquises de manière permanente et sûre.

1.4.3. La Charte de Venise, 1964 :

Le texte de la charte internationale de la restauration, connue sous le nom de « *Charte de Venise* » (1964) a été approuvé et promulgué en conclusion des travaux du IIe Congrès International des Architectes et des Techniciens des Monuments Historiques réuni à Venise du 25 au 31 mai 1963. Son objectif est de mettre à jour et d'élargir la portée des principes de la restauration contenus dans la Charte d'Athènes à la lumière de principes plus vastes en plus complexes.

Il est dès lors essentiel que les principes qui doivent présider à la conservation et à la restauration des monuments soient dégagés en commun et formulés sur un plan international, tout en laissant à chaque nation le soin d'en assurer l'application dans le cadre de sa propre culture et de ses traditions.

Le Congrès a été conclu par l'approbation des seize articles qui touchent le domaine de la conservation, la restauration, les sites monumentaux, les fouilles, la documentation et la publication et qui doit préciser sous forme de rapports analytiques et critiques toutes les opérations (y compris le document graphique et photographique) et qui doit être publié dans les archives d'un organisme public et mis à la disposition des chercheurs.

1.4.4. La Charte de la restauration, 1972 :

Cette charte est le résultat de la théorie exprimée par la culture de la restauration critique. Elle traite la restauration et la conservation du patrimoine artistique, elle est valable aussi pour la protection des monuments archéologiques, des biens architecturaux, des sites et centres historique.

L'article 1 de cette charte résume leur contenu :

« Toutes les œuvres d'art de toutes les époques, dans l'acception la plus large, qui va des monuments architecturaux à ceux de la peinture et de la sculpture, même à l'état de fragments, et des vestiges paléolithiques aux expressions figuratives des cultures populaires et de l'art contemporain, quelle que soit la personne ou quel que soit l'organisme auxquels elles appartiennent, font l'objet, aux fins de leur sauvegarde et de leur restauration, des instructions qui suivent, et qui prennent le nom de « Charte de la Restauration 1972 ». »

1.4.5. Les organisations internationales chargés de la protection du patrimoine culturel (UNESCO, ICOMOS,...) :

L'ICOMOS : Le conseil international des monuments et des sites ou ICOMOS (*International Council on Monuments and Sites*) est une association mondiale des professionnels non gouvernementale. Il a été créé en 1965 à Varsovie après l'élaboration de la charte de Venise. Son objectif est la conservation et la protection des monuments, les ensembles et les sites qui représentent un patrimoine culturel. Son activité principale est de promouvoir les théories, les méthodes et les techniques appliquées à la conservation, la protection et la mise en valeur des monuments et des sites historiques. L'ICOMOS a participé dès sa création à l'annonce des

recommandations dictées par les chartes et les conventions qui traitent de différents aspects de la gestion du patrimoine.

L'UNESCO : L'Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture rassemble plusieurs pays du monde, dont le but est d'identifier les lieux culturels et naturels qui représentent une valeur patrimoniale, et qui méritent d'être préservés à l'humanité.

En 1972, L'UNESCO a adopté la convention concernant la protection du patrimoine mondial, culturel et naturel.

L'ONU : L'Organisation des Nations Unies a exprimé depuis longtemps, le souci de préserver le patrimoine culturel dans un environnement bâti ou naturel harmonieux, on peut le voir déjà dans la recommandation concernant la préservation des biens culturels mis en péril par les travaux publics ou privés du 19 Novembre 1968 ou encore la recommandation concernant la sauvegarde de la beauté et du caractère des paysages et des sites du 11 Décembre 1962.

1.5. Le cadre réglementaire de la restauration en Algérie :

Dans l'intérêt de notre recherche, il est important de connaître le contexte des dispositions relatives à la restauration et le sauvegarde du bâti existant qui sont dictées par les textes législatifs et réglementaires algériens.

1.5.1. La loi 98/04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel :

La loi 98-04 du 15 juin 1998, constitue la « pièce maîtresse » du système de protection des abords des monuments historiques. Elle a pour objet de définir le patrimoine culturel de la nation, d'édicter les règles générales de sa protection, sa sauvegarde et sa mise en valeur et de fixer les conditions de leur mise en œuvre.

Le contexte : la loi 98/04 constitue la législation actuelle en vigueur en matière de protection du patrimoine culturel. Elle représente l'aboutissement d'une réflexion entreprise depuis des années, pour la mise en place d'une législation purement algérienne, en mesure de prendre en charge les différents aspects inhérents à la législation du patrimoine culturel national. En effet, l'ordonnance 67/281 était beaucoup plus le produit d'un contexte marqué essentiellement par l'urgence de doter l'Algérie après son indépendance, d'un moyen législatif, lui permettant d'affronter et d'empêcher toutes sortes de détériorations sur le patrimoine historique, artistique et archéologique.

Il devenait par la suite nécessaire de confectionner un texte qui va au-delà de cet objectif, ce dernier devait définir essentiellement les fondements de la politique nationale en matière de tutelle patrimoniale, en fonction des exigences réelles découlant de la nature propre du patrimoine culturel national, de l'identité nationale, passant du concept «*Monuments et Sites historiques*» au concept «*Patrimoine Culturel*» dans le sens de l'appropriation et de l'intégration culturelle et socio-économique. En vue d'apporter les réponses nécessaires aux questions d'ordre tutélaire qui s'y posent¹³.

La loi 98/04 évoque à travers le souci de fixer les conditions de mise en valeur des règles arrêtées, la nécessité de donner une suite pratique aux procédures réglementaires proposées, avec une insinuation à l'exigence de promulguer les décrets exécutifs d'application. Avec cette intention, cette loi vise au dépassement de la principale lacune de l'ordonnance 67/281 représentée par le fait qu'elle n'ait jamais été suivie par des textes d'application.

L'article 2 définit le *patrimoine culturel national* comme :

« Aux termes de la présente loi, sont considérés comme patrimoine culturel de la nation tous les biens culturels immobiliers, immobiliers par destination et mobiliers existant sur et dans le sol des immeubles du domaine national, appartenant à des personnes physiques ou morales de droit privé, ainsi que dans le sous-sol des eaux intérieures et territoriales nationales légués par les différentes civilisations qui se sont succédées de la préhistoire à nos jours. Font également partie du patrimoine culturel de la nation, les biens culturels immatériels produits de manifestations sociales et de créations individuelles et collectives qui s'expriment depuis des temps immémoriaux à nos jours».

1.5.2. Définition des biens culturels immobiliers sujets au régime des abords dans la loi 98/04 :

Les biens culturels immobiliers et les modalités de leur protection sont fixés par l'article 8 qui stipule :

« Les biens culturels immobiliers comprennent :

- Les monuments historiques,
- Les sites archéologiques,
- Les ensembles urbains ou ruraux.

13 : Touil Amel, 2003. Les abords des biens culturels immobiliers : concepts, législation, délimitation et mesures de protection. Thèse de Magister : préservation et mise en valeur des sites et monuments historiques. EPAU. ALGER, 169p.

Les biens culturels immobiliers quel que soit leurs statut juridique, peuvent être soumis à l'un des régimes de protection ci-dessous énoncé en fonction de leur nature et la catégorie à laquelle ils appartiennent :

- *L'inscription sur l'inventaire supplémentaire,*
- *Le classement,*
- *La création en secteurs sauvegardés ».*

La loi 98/04 réalise un véritable exploit en reconnaissant les ensembles urbains ou ruraux en tant que figure tutélaire gérée par un instrument spécifique qui est le secteur sauvegardé. Ceci représente le fruit de travail de plusieurs années, sur la nécessité de doter l'arsenal juridique national, d'un outil adéquat pour la reconnaissance et la sauvegarde des ensembles historiques en tant qu'unité patrimoniale distincte à valeur architecturale et urbaine certaine et véritable vecteur de développement social et économique à l'échelle régionale et nationale.

1.5.3. Procédé de délimitation des abords selon la loi 98/04 :

La servitude des abords est applicable sur les biens culturels immobiliers. Elle est désignée par la notion de zone de protection qui accompagne tout monument historique ou site archéologique classé. Tout comme l'ordonnance 67/281, cette servitude s'applique automatiquement au classement du monument historique ou le site archéologique, sans la nécessité d'une procédure supplémentaire. Elle agit sur les immeubles définis dans la zone de protection à savoir le classement.

La notion des abords est définit avec les monuments historiques, à travers l'article 17 qui fixe aussi le procédé de délimitation de la zone de protection qui en découle :

«Les monuments historiques se définissent comme toute création architecturale isolée ou groupée qui témoigne d'une civilisation donnée, d'une évolution significative et d'un événement historique. Sont concernés, notamment les œuvres monumentales architecturales, de peinture, de sculpture, d'art décoratif, de calligraphie arabe, les édifices ou ensembles monumentaux à caractère religieux, militaire, civil, agricole ou industriel, les structures de l'époque préhistorique, monuments funéraires, cimetières, grottes, abris sous-roche, peintures et gravures rupestres, les monuments commémoratifs, les structures ou les éléments isolés ayant un rapport avec les grands événements de l'histoire nationale. Ils sont soumis au classement par arrêté du ministre chargé de la culture après avis de la commission nationale des biens culturels, sur sa propre initiative ou de toute personne y ayant intérêt. L'arrêté de classement s'étend aux immeubles bâtis ou non bâtis

situés dans une zone de protection qui consiste en une relation de visibilité entre le monument historique et ces abords desquels il est inséparable.

Le champ de visibilité dont la distance est fixée à un minimum de deux cents (200) mètres peut être étendu afin d'éviter notamment la destruction des perspectives monumentales comprises dans cette zone, son extension est laissée à l'appréciation du ministre chargé de la culture sur proposition de la commission nationale des biens culturels ».

La délimitation des abords des monuments historiques proposée par l'article 17 reflète la conscience et préméditée par le législateur qui veut liquer à la commission nationale des monuments historique, le soin d'établir pour chaque cas de monument historique classé la délimitation appropriée.

1.5.4. Les mesures mises en œuvre pour l'intervention sur l'espace des abords :

Les travaux de conservation, de restauration, de remise en état, d'adjonction, de changement et d'urbanisation dans le secteur protégé du monument doivent avoir un avis favorable auprès de l'administration concernée, notamment les services du ministère de la culture. Le législateur met l'accent sur les travaux risquant d'affecter l'aspect extérieur du monument historique concerné, ainsi que les travaux portant atteinte à l'aspect architectural de ce dernier.

Toute intervention ou travaux au niveau des abords des monuments classés doit être soumis à l'autorisation préalable des services du ministère de la culture comme cité dans l'article 21 de la loi :

« Sont soumis à l'autorisation préalable des services du ministère chargé de la culture tous les travaux de conservation, de restauration, de remise en état, d'adjonction, de changement et d'urbanisme à entreprendre sur les sites historiques proposés au classement ou classés ou sur les immobiliers dans la zone de protection.

Sont également soumis à l'autorisation préalable des services du ministère chargé de la culture, les travaux ci-après, à entreprendre dans la zone de protection du monument historique, classé ou proposé au classement:

- ✓ *Les travaux d'infrastructures tels que l'installation des réseaux électriques et téléphoniques, aériens ou souterrains, des conduites de gaz, d'eau potable et d'assainissement, ainsi que tous travaux susceptibles de constituer une agression, visuelle portant atteinte à l'aspect architectural du monument concerné,*
- ✓ *L'implantation d'industries ou de grands travaux publics ou privés,*

- ✓ *Les travaux de déboisement ainsi que de reboisement lorsque ceux-ci sont de nature à affecter l'aspect extérieur du monument concerné ».*

1.6. Conclusion :

La présentation de ce chapitre nous a aidés à comprendre les données théoriques qui ont une relation directe avec notre recherche. Elle nous a révélé surtout, que la problématique de la réduction de la vulnérabilité des édifices, à savoir la restauration du patrimoine bâti ancien dans le but de le conserver est une problématique à l'échelle internationale et qui a déjà été traitée dans plusieurs Chartes, et dictée par des lois réglementaires.

Le patrimoine bâti, de par sa complexité, sa variété d'usage et la multiplicité des fonctions qu'il remplit, fait sans doute partie des objets patrimoniaux qui subissent le plus de transformation au cours de leur existence. L'Algérie en tant que pays riche de patrimoine bâti mais malheureusement endommagé, est dans l'obligation de mettre en œuvre toutes les dispositions et mécanismes nécessaires, dans le but de promouvoir la restauration en tant que mode d'intervention visant, la conservation du patrimoine bâti.

CHAPITRE 2 :

LES PATHOLOGIES DES EDIFICES HISTORIQUES EN MAÇONNERIE :

- 2.1. Introduction,
- 2.2. Les pathologies des structures en bois,
- 2.3. Pathologies liées aux structures en maçonneries de pierre ,
- 2.4. Conclusion.

2.1. Introduction :

Toute construction avec le temps connaît des pathologies touchant les matériaux qui la constituent. Une maçonnerie est un empilage de blocs (pierre, terre cuite, béton... etc.), bien liés entre eux par du mortier et souvent couverte d'un enduit. Visant la durabilité d'un bâtiment, on mélange plusieurs matériaux d'une manière homogène, afin d'avoir une structure résistante aux différentes actions qu'elle va subir au fil du temps.

L'art de construire avec la maçonnerie est très ancien, il remonte aux siècles passés. Cependant, l'utilisation de ce type de construction n'est plus la même aujourd'hui, on constate : des blocs creux légers de faible résistance, des blocs de béton poreux faisant du retrait, les pierres sont mises en œuvre dès leur extraction, encore humides, les briques creuses gonflent, les enduits font trop de retrait ...etc.

Afin de comprendre les dégradations des structures, il faut d'abord comprendre les pathologies. L'étude des pathologies est une étape primordiale pour l'élaboration d'un projet de réhabilitation. Ces pathologies se manifestent généralement en surface des éléments constructifs, mais il arrive parfois où le matériau de construction est affecté de l'intérieur. Il convient donc de prêter une attention particulière sur les différents éléments structurels et constructifs liés à ces typologies d'édifice, ainsi qu'à son environnement¹.

Les observations qui ont été faites par les scientifiques et les spécialistes dans ce domaine, sur l'état de dégradation des maçonneries, ont permis de constater la déformation des éléments par détachement de particules des matériaux utilisés tels que les dégradations occasionnant l'érosion superficielle ou profonde, les phénomènes de dégradations des éléments en bois... etc.

Dans le présent chapitre on essaiera d'évoquer les différents types de dégradations qui touchent les constructions en maçonnerie.

2.2. Les pathologies des structures en bois :

Les structures en bois ont démontré leur capacité résistance à travers les siècles, malgré la diversité de leur utilisation d'un domaine à l'autre. Le bois est un matériau que l'on retrouve sous différentes formes. Dans les travaux de maçonnerie, il est utilisé sous forme d'un chaînage

1 : M. Mamillan, *Pierre de carrière et produits manufactures*. Centre Technique et de documentation .Cated.2003.

horizontal. En charpenterie ou en menuiserie, ce matériau forme l'ossature du plancher, ainsi que la plupart des éléments ouverts (portes, fenêtres, balustrades et autres).

La pathologie des structures en bois provient essentiellement de la méconnaissance des règles de conception, de calcul et de mise en œuvre d'ouvrages en bois. Le bon sens de ces règles est étroitement lié aux propriétés physiques et mécaniques du bois. Si les ouvrages sont réalisés en harmonie avec ces propriétés, le bois permet de réaliser des ouvrages très audacieux, pérennes et esthétiques.

Les principaux dégâts constatés sur certaines parties de la structure en bois, lors des investigations menées sur terrain, sont la pourriture et les fissures. Ils sont dus aux variations de température et d'humidité, suite à des causes biologiques et à des problèmes structurels. Plus que ça, 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 que²:

- Les agents abiotiques : la radiation solaire, le froid (variations de température),
- La pluie (variation d'humidité : entre l'intérieur et l'extérieur, par les tensions qui donnent naissance à des déformations).

Ainsi que des problèmes structurels causés par des dégâts liés à la dégradation de la matière, ayant pour cause les agents biotiques (les insectes (fig01), les champignons) ainsi que d'autres processus biologiques pouvant causer des dégâts et provoquer la dégradation des parties en bois.



Fig 01: Dégradation de la structure en bois à cause des insectes.

Source : Pathologies des ouvrages en bois, 2012.

2 : Soukane Samira, 2010. Présentation du patrimoine colonial (habitat) su 19eme 20eme siècle : Présentation d'un guide technique de réhabilitation. Thèse de Magister : Architecture et développement durable. Université Mouloud Mammri Tizi-Ouzu, 172p.

Ces dits problèmes font la que la pourriture se produit généralement au niveau des parties affectées par l'eau et en particulier celles qui sont encastrées dans les murs. Les problèmes survenant dans les structures en bois peuvent également provenir de la contraction physique du bois lorsqu'il sèche ainsi que la perte non uniforme d'humidité.

A cela peuvent être ajoutés les nombreux séismes qu'a connu l'Algérie, les tremblements de terre posent des problèmes de prévention et exigent pour les destructions même partielles qu'ils causent, des interventions de restaurations importantes.

2.2.1. Les pathologies d'origine biologique :

Elles sont dues en général à l'action des champignons, qui entraînent une pourriture du bois et réduisent de façon importante sa résistance, lorsque les conditions d'humidité et de températures sont favorables suivi d'un manque de ventilation. Les symptômes de pourriture peuvent se manifester avant même qu'ils ne soient visibles, ils peuvent se présenter sous forme de fissures, de taches brunes et d'un changement de couleur et d'odeur³.

Les endroits propices à la prolifération des pourritures sont les points d'accumulation d'eau, comme les surfaces horizontales ou les fentes dans le bois. Le bois qui est en contact direct avec le mur ou d'autres éléments de la structure est également vulnérable, tout comme les points où deux éléments en bois ou plus sont assemblés de façon jointive (planchers). On peut trouver d'autres types de dégradations causées par d'autres sortes de champignons (fig02) tel que les moisissures qui se développent à la surface du bois, ainsi que les champignons de la carie, qui pénètrent la structure cellulaire, endommageant ainsi le contenu et les parois des cellules, et induisant la résistance, la sureté et plus précisément la durabilité du bois.



Fig 02 : Les altérations biologiques des bois à cause des champignons.

Source : Pathologies des ouvrages en bois, 2012

3 : Soukane Samira, 2010. Présentation du patrimoine colonial (habitat) su 19eme 20eme siècle : Présentation d'un guide technique de réhabilitation. Thèse de Magister : Architecture et développement durable. Université Mouloud Mamri Tizi-Ouzu, 172p.

2.2.2. Les pathologies d'origine mécanique :

a- Sollicitation excessive du bois : La défaillance structurelle se produit lorsque la structure en bois est soumise à des niveaux de contrainte qui dépassent sa résistance. Les indicateurs de défaillance structurelle incluent : le fléchissement, le fendillement ou le tassement des éléments en bois, l'affaissement des structures et l'apparence de nouvelles ouvertures (fissures) ou des interstices entre différentes parties d'une structure⁴.

b- Rupture des assemblages : Les assemblages de bois représentent le point le plus sensible d'une structure, une surcharge ou une insuffisance de résistance peuvent entraîner la ruine de l'assemblage et une mauvaise conception vis-à-vis des efforts de traction transversale ou des retraits du bois peuvent à leur tour entraîner une fissuration conséquente (fig03). Des fissures peuvent avoir comme origine les éléments métalliques d'assemblage (clou) mal positionnés ou très proches les uns des autres⁵.

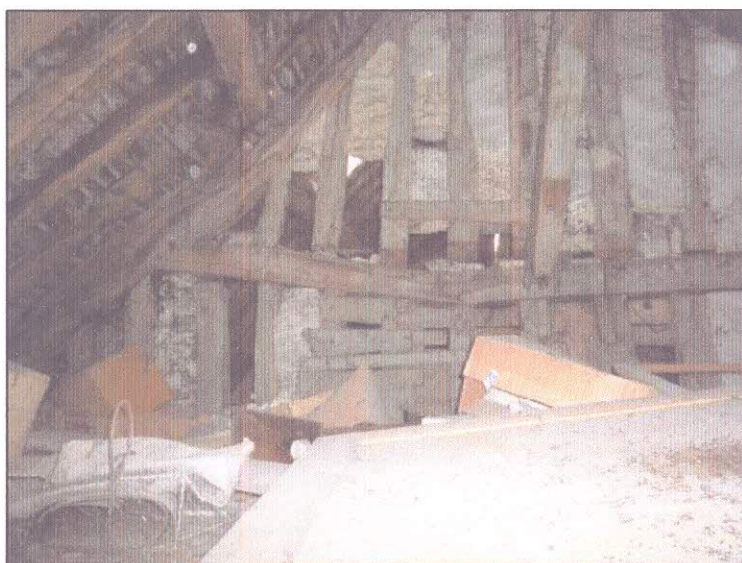


Fig 03 : Surcharge du plancher et rupture des assemblages.
Source : Pathologies des ouvrages en bois, 2012

2.2.3. Les pathologies d'origine physique :

Retrait du bois : Le changement des conditions d'humidité et de température entraîne l'expansion (gonflement) ou la contraction (retrait) du bois qui peut se courber, voire se déformer en cas de charges permanentes. De plus, lorsque le retrait est empêché par des assemblages, le bois a tendance à se fendre. Ces fentes de retrait peuvent être soit réparties en petites tailles ou bien

4 : Achab Samia EP Chernai, 2012. Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (habitat) de la période Ottomane. Thèse de Magister : Architecture et 7développement durable. Université Mouloud Mammri Tizi-Ouzou, 177p.

5 : Idem.

singulières avec des profondeurs assez élevées. Le souci majeur que provoquent ces fentes réside dans la formation de piège à eau qui favorise le développement des champignons et autres substances néfastes à cette structure en bois.

2.3. Pathologies liées aux structures en maçonneries de pierre⁶ :

Les constructions en maçonnerie de pierre rencontrent des problèmes provenant de la détérioration et la dégradation du matériau de construction. Cette dégradation est provoquée par l'adhésion des particules qui la constituent aux différentes conditions : atmosphériques et environnementales, et/ou sous différentes actions physiques, chimiques et biologiques.

La dégradation de la construction peut provenir du manque d'entretien du bâtiment, cependant, les principales causes de dégradation sont les suivantes⁷ :

- **Humidité** découlant des infiltrations d'eau de pluie. La condensation de cette humidité dans un endroit précis peut engendrer des répercussions sur les éléments argileux et pierreux et par conséquent conduit à la cristallisation des sels dans sa microstructure provoquant des contraintes internes. L'humidité apparaît généralement dans la partie inférieure du mur. La présence d'eau et d'humidité peut avoir des répercussions sur les éléments en pierre,
- **Les causes mécaniques** (charges et pression), qui forcent la solidité des éléments en pierre. Ces désordres sont aussi dus en partie à l'action de l'homme à travers des remaniements effectués pendant la période de vie de l'édifice.

2.3.1. Remaniement effectué sur les murs :

Sur certains murs, on note des traces de remaniement au niveau des contours de baie en "période française", par encastrement et scellement en mortier de ciment. Souvent à l'endroit de l'élargissement ou rétrécissement des percées, il devait y avoir une baie ou une percée en "période ottomane"⁸. Nous remarquons aussi que plusieurs de ces constructions, notamment les palais ont subi quelques transformations à savoir même des surélévations illicites par les squatteurs, des cloisonnements ainsi que l'exécution de certaines ouvertures comme les portes en bois, dont elles

6 Achab Samia EP Chernai, 2012. Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (habitat) de la période Ottomane. Thèse de Magister : Architecture et développement durable. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 177p.

7 : Ideem

8 : Soukane Samira, 2010. Présentation du patrimoine colonial (habitat) su 19eme 20eme siècle : Présentation d'un guide technique de réhabilitation. Thèse de Magister : Architecture et développement durable. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 172p.

sont munies, datent pour la plupart de la période coloniale française. Les perturbations dans les murs le prouvent.

2.3.2. Dégradation de la pierre due à la présence d'eau et d'humidité :

Plusieurs facteurs d'ordre physique, chimique ou bien même mécanique, provoquent les effets destructeurs de la structure en maçonnerie de pierre. La principale cause de l'altération des éléments en pierre est liée directement à l'action de l'eau. Les caractéristiques de la microstructure conditionnent le mouvement ou la rétention des eaux des roches par gonflement, c'est-à-dire les espaces internes accessibles à l'eau, qui crée de façon directe l'érosion des éléments de pierre, et de façon indirecte par le biais du transfert des sels solubles et de leur cristallisation. L'effet du changement continu d'humidité et de sécheresse (rythme d'humidité) est l'une des causes principales de la formation de croûtes.

2.3.2. a. Actions de l'eau :

L'eau qui remonte par capillarité dans les roches, véhicule des sels provenant des sols, ou du terrain avec lequel elle est en contact, qui sont transportés et déposés sur la partie superficielle lors de l'évaporation. La présence de ces sels existant dans les pores de la pierre, près de la surface peut avoir des effets différents plus ou moins graves. Leur présence se manifeste sous forme de taches ou d'efflorescences blanchâtres. La cristallisation de ces sels peut entraîner des conséquences plus graves. Lors de la cristallisation, le volume des sels augmente ce qui bouche en partie les pores, (fig04). La tension importante ainsi créée sur les parois des pores et dans les pores eux même conduit à la dégradation de la pierre. La cristallisation peut provoquer des tensions mécaniques, réduction de la surface de la pierre, séparation de petites parties de la pierre et craquellement⁹.

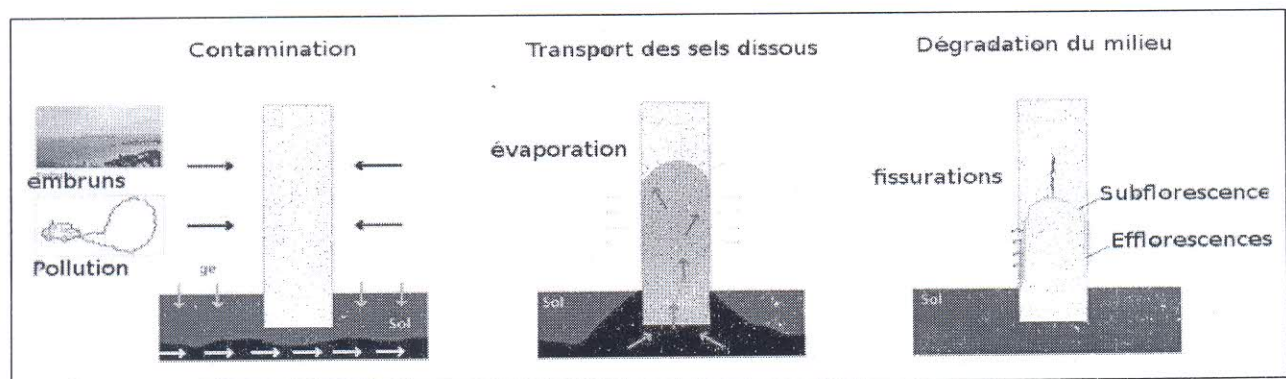


Fig 04 : Phénomène de cristallisation des sels au sein d'une paroi.

Source : L'humidité dans le bâtiment, 2012

9 : Yves Benoit, Danièle Dirol, Jacques Holveck, Jacques Putatti, 2002, *Les pathologies des ouvrages de bâtiment*, 1^{ère} éd, WEKA, Paris.

La concentration des sels dans la surface de la pierre due au déplacement continu de l'eau vers les surfaces externes du matériau, provoque en outre la détérioration des éléments de pierre, la dégradation des enduits et des mortiers à savoir un développement de tensions en surface, formation de petites fissures, enduits séparés de la pierre et destruction graduelle.

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 hygroscopique¹⁰ : 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 retenus 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 appelée aussi efflorescence. (fig 05)



Fig 05 : Humidité par condensation hygroscopique
Source : <http://www.dictionary.com/browse/facade>, Décembre 2015.

D'humidité provenant de sources de vapeur¹¹ : les sous-sols attirent vers eux la vapeur d'eau du terrain, qui les entoure en plus de l'eau condensée et des points de pénétration d'eau de pluie. Ces espaces auparavant 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 pathologies dues à la condensation manifestée 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, angles... etc.),

¹⁰ : Achab Samia EP Chernai, 2012. Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (habitat) de la période Ottomane. Thèse de Magister : Architecture et Développement durable. Université Mouloud Mammri Tizi-Ouzou, 177p.

¹¹ : Idem.

L'humidité par filtration d'eau de pluie, pénètre dans le parement par l'intermédiaire de deux mécanismes :

- L'absorption et la succion à travers les pores du matériau, ou bien par filtration à travers les joints (fig06), les pathologies commencent à apparaître lorsque les mortiers de fixation ou de joint se détériorent.
- Ou par remontée capillaire : l'augmentation du volume par l'absorption d'eau, entraîne l'apparition de forces mécaniques dans sa composition qui désorganise la pierre.



Fig 06 : L'eau de pluie absorbée par le terrain

Source : <http://obvaj.org/les-bonnes-pratiques/leau-de-pluie-et-de-ruissellement/>, Décembre 2015

2.3.2. b. Action de du gel-dégel¹²:

La dégradation de l'élément en pierre par le gel-dégel est provoquée lorsque la teneur en eau dans les pores atteint la valeur critique. Elle se manifeste lorsque la quantité d'eau contenue dans la roche se transforme en glace suite à une baisse de température (fig07), ce changement de phase engendre une augmentation de volume dans les pores ou exerçant une pression destructrice, car il n'existe plus suffisamment d'espace vide dans les capillaires pour permettre l'expansion.

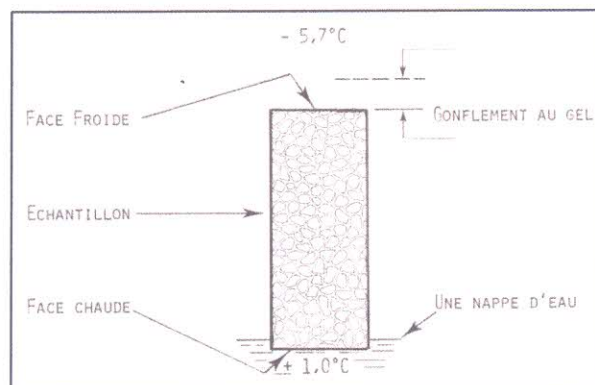


Fig 07 : Le principe de gel/dégel

Source : http://www.persee.fr/doc/ingeo_0020-0093_1949_num_13_3_5457, Décembre 2015

12 : M. Mamillan, Pierre de carrière et produits manufactures. Centre Technique et de documentation .Cated.2003.

La répétition des séquences, de gel/dégel entraîne une diminution de la cohésion de la pierre. Lors du gel, l'eau augmente de 9% de volume¹³, ce phénomène entraîne des tensions mécaniques dues à la glace provoquant des ruptures, d'abord microscopiques et ensuite macroscopiques. La dégradation de l'élément de pierre, résulte de l'atteinte de valeur de la teneur en eau dans les pores dite «critique», au-delà de laquelle le matériau subit des altérations, cette valeur critique, varie selon les caractéristiques de structures poreuses de 60% à 100% du volume total des vides. Le mécanisme de gélification dépend des conditions climatiques, des propriétés du milieu poreux de la pierre, de la situation des pierres dans la construction, et enfin de pierre sèche ou fortement imbibée d'eau.

2.3.3. Les altérations par des organismes biologiques :

Des organismes biologiques peuvent s'amplifier sur les murs en maçonnerie de pierre, tels que les algues, les mousses, les lichens et les végétaux supérieurs. Ils peuvent, à travers leurs fonctions, leurs métabolismes, ou leurs manifestations visibles, créer des altérations physiques, chimiques ou des pathologies de la pierre, qui dépendent de la constitution des roches et du milieu environnant.

2.3.3. a. Action des algues et lichens¹⁴ :

Les lichens sont des organismes que l'on retrouve sur les façades. Ils apparaissent et se développent dans un milieu humide à température adéquate, à forte ou faible lumière, sur des fissurations et des supports poreux. Il existe plusieurs types de lichens, on les retrouve le plus souvent dans les zones où la pollution est peu importante car certaines espèces sont sensibles particulièrement aux oxydes de soufre et aux polluants communs, les lichens sont ainsi utilisés comme indicateurs de polluants (bio-indicateurs). Dans les constructions, ces microorganismes peuvent entraîner des dégradations mécaniques causées par leurs micro-racines car celles-ci pénètrent en profondeur dans le matériau et provoquent des éclatements de la matière, plus le matériau est poreux, plus le milieu est favorable au développement de ce type d'organismes.

Les parements sont souvent recouverts par des algues et des divers micro-organismes. Cette constatation est toujours liée à la présence d'humidité, ou par le manque et l'insuffisance d'éclairage de l'endroit. L'existence de cette végétation est principalement visible dans les soubassements des façades ou dans les zones en contact avec le sol, du fait qu'ils restent humides

13 : F.virolleaud. *Le ravalement : Guide technique, réglementaire et juridique*. Le moniteur 1990.

14 : Soukane Samira, 2010. Présentation du patrimoine colonial (habitat) su 19eme 20eme siècle : Présentation d'un guide technique de réhabilitation. Thèse de Magister : Architecture et développement durable. Université Mouloud Mammri Tizi-Ouzou, 172p.

par remontée des eaux par capillarité. Les champignons et/ou la présence d'algues sur un parement est parfois significative pour localiser l'humidité sur un élément (fig08). 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 évaporation¹⁵. 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 ces racines qui lui permettent de s'accrocher aux murs.



Fig 08 : Le développement d'algues sur les murs en pierre à cause de la présence d'humidité.
Source : <http://bricolage.linternaute.com/forum/affich-7917-nettoyage-d-une-terrasse>, Décembre 2015

À l'emplacement où se développent les algues, les pierres ont une humidité souvent supérieure à la teneur en eau d'équilibre, car la végétation a besoin d'eau, (qui est engorgé dans le mur) pour se croître. 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.

2.3.3. b. Action des végétaux supérieurs (arbres et plantes)¹⁶:

La présence d'humidité dans les joints conjugués aux paramètres de l'environnement tel que la lumière, l'oxygène et le gaz carbonique, ainsi que les sels provenant des matériaux pierreux favorisent la croissance des végétaux et d'arbres sur les parements des édifices (fig09). Par défaut d'entretien, des algues et des mousses, sur lesquelles les pollens des végétaux supérieurs trouvent un milieu favorable à leur prolifération se développent. En général les racines posent la détérioration des maçonneries, et peuvent faire éclater les roches elles-mêmes ou les joints par pression continue, ce 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 milieu, accentuant son altération.

15 : F.virolleaud. *Le ravalement : Guide technique, réglementaire et juridique*. Le moniteur 1990.

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



Fig 09 : Présence de plantes dans un mur
Source : Chernai, page 81, 2012

2.3.4. Dégradation de la pierre due à la pollution atmosphérique et aux facteurs biologiques :

2.3.4. a. Action de la pollution atmosphérique:

La pollution d'origine industrielle cause des transformations de l'environnement atmosphérique, qui a un apport direct (soit à l'état sec ou humide) sur la pierre mènera à leur dégradation et la réduction de leur résistance au fils de temps. Cette pollution modifie les propriétés minéralogiques de sa couche superficielle des parements en pierre avant même que ces altérations n'apparaissent (fig 10).

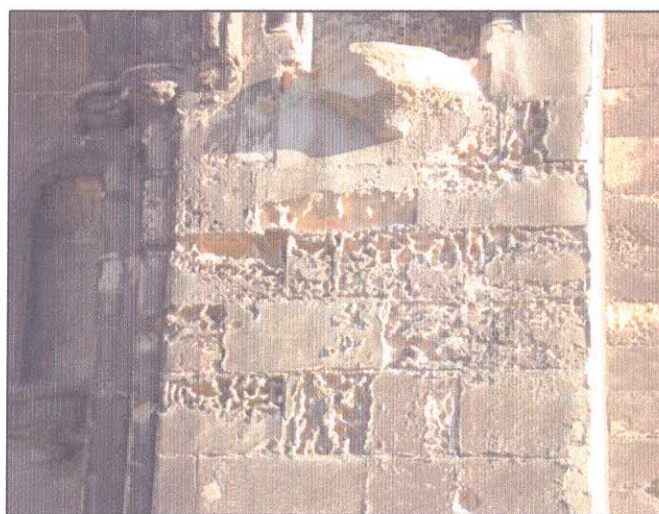


Fig 10 : La pollution entraîne avec le temps la production d'une couche noirâtre (le sulfure) qui bouche les pores des pierres et l'empêche de respirer.
Source : Caroline, 2009.

Dans le milieu rural, il se forme sur les pierres calcaires une couche plus dure, due à la cristallisation en surface des sels dissous dans l'eau après évaporation. Cette couche superficielle constituée de carbonate de calcium, assure une protection naturelle des parements en pierre.

En atmosphère urbaine ou industrielle, la composition de la couche superficielle est modifiée par la conjugaison de plusieurs facteurs comme la pluie, le brouillard et les particules humides qui, en surface contiennent une concentration variable.

Les solutions qui contiennent cet acide pénètrent jusqu'à une certaine profondeur qui est en fonction de la microstructure poreuse du matériau. La solution acide en contact avec le calcaire constituant les capillaires séduits sur carbonate et il s'ensuit une transformation en sel soluble, le sulfate de calcium (CaSO_4)¹⁷.

Les principaux polluants atmosphériques responsables des dégradations de la pierre sont:

- **Les dioxydes de soufre SO_2** : c'est un polluant fondamental impliqué dans la déchéance de la pierre. Dans un milieu rural moins pollué (après l'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 (CaSO_4). Contrairement à un parement de pierre, exposé à une atmosphère plus polluée en milieu urbain et industriel.
- **Le dioxyde de carbone (CO_2)** : entraîne des modifications dans la pierre calcaire tout en expliquant la décohésion de plaque à sa surface exposée aux intempéries.

Il existe d'autres polluants comme : les oxyde d'azote NO_2 , l'azote O_3 , les hydrocarbures HC, les composés organiques volatils, ... etc. Ces gaz agissent soit directement, soit dissous dans l'eau.

2.3.4. b. Action des agents biologiques¹⁸ :

La biodégradation des éléments en pierre est plus ou moins importante suivant la constitution des roches et le milieu environnant. Les climats chauds et humides favorisent le développement de ce mécanisme d'altération. Les organismes microscopiques, la croissance des plantes, sont aussi générés par ce milieu. Les biologistes ont identifié les microorganismes non visibles à l'œil, où plusieurs spécialistes de l'altération des pierres pensent que leurs effets se produisent après la dégradation physicochimique. Ils estiment en effet que sous une croûte qui s'exfolie, si le milieu est

17 : Soukane Samira, 2010. Présentation du patrimoine colonial (habitat) su 19eme 20eme siècle : Présentation d'un guide technique de réhabilitation. Thèse de Magister : Architecture et développement durable. Université Mouloud Mammri Tizi-Ouzou, 172p.

18 : Idem.

humide et la température adéquate, les bactéries disposent d'un milieu favorable à leur développement.

2.3.5. Dégradation de la pierre due aux charges et aux tensions mécaniques :

2.3.5. a. Action des charges :

Quand les éléments en pierre sont sollicités d'une façon trop importante, des contraintes trop élevées sont exercées, en provoquant des fissurations, des éclatements et même des ruptures des éléments. Plusieurs facteurs influent sur la résistance mécanique des éléments en pierre, parmi eux¹⁹ :

- **Jointoiment des blocs** : La résistance des murs porteurs en pierre dépend aussi de la qualité du mortier, ou du remplissage des joints utilisés. L'assemblage des éléments en pierre s'effectue par la création des joints, espacés entre chaque bloc, qui sont remplis au mortier à base d'un liant (chaux hydraulique, chaux aérienne, ciment...), dont le rôle est d'assurer la liaison et la répartition sur l'ensemble des blocs. Si le joint n'est pas suffisamment bourré (fig11), ou bien sa qualité de collage ou de cohésion est trop faible, les tensions transmises d'un bloc se produisent. Si ces tensions locales sont trop élevées, ce poinçonnement entraîne des fissures et des ruptures au niveau des blocs car la surface du mur n'est pas uniformément sollicitée.



Fig 11 : Jointement des blocs mal fait provoque l'apparition des fissures
Source : Caroline, 2009.

- **La pierre posée en délit** : certaines pierres s'affaiblissent lorsqu'elles sont sollicitées parallèlement aux lits de stratification naturelle,

19 : M. Mamillan, Pierre de carrière et produits manufactures. Centre Technique et de documentation .Cated.2003.

- **La teneur en eau dans les pierres tendres** : les résistances mécaniques des pierres poreuses saturées d'eau sont plus faibles que celles des pierres sèches.
- **Action de la température** : les écarts thermiques provoquent une expansion et une contraction volumiques variables selon la nature des minéraux qui composent la roche. Sous l'effet de fortes variations de température entre le jour et la nuit, répétées des milliers de fois, une fatigue se produit. Il en résulte, après des dizaines d'années, une décohésion interne et un cisaillement entre les cristaux. L'altération se manifeste sous forme d'éclatement de la matière, de fissuration, et d'écaillage. Si plusieurs éléments sont associés les uns aux autres, les changements de température entraînent des variations de longueur propre à chaque partie, si l'assemblage ne permet pas que les mouvements s'effectuent librement (absence de joints souples...), des tensions naissent dans les matériaux. Le dépassement des valeurs limite de déformation ou de résistance entraîne des ruptures.

2.3.5. b. Action mécanique :

Les ruptures dans la structure des murs en maçonnerie de pierre peuvent se traduire par certaines fissures, exprimant l'ajustement de ses éléments, à son poids propre, à ses surcharges et aux réactions des fondations. Les réorganisations structurelles du mur (tel que : translation, rotation, naissance d'arcs... etc.) sont permises grâce à la résistance à la traction du mortier de chaux par sa plasticité.

b. 1. Fissuration des murs en maçonnerie²⁰ :

L'interaction entre les murs et les planchers (y compris les planchers-terrasses et les toitures en pente) provoque des fissures, qui se traduisent par des mouvements différentiels. Leur origine soit dans des régimes thermiques différents des deux parties d'ouvrage, soit dans des déformations sous charge, de fluage notamment, différent pour des ouvrages diversement sollicités. Ces fissures peuvent se lire directement sur les enduits anciens en trois cas :

- Un désordre structurel limité entre mur et fondations : il reste contenu dans le plan vertical,
- Un désordre peut provoquer des réactions secondaires au niveau des planchers, des escaliers ou des charpentes, surtout si ces déformations secondaires sont situées au niveau de leurs appuis (fig12). Le déplacement est accompagné par des déformations avec des creux et/ou des bosses apparents sur la planéité du mur,

20 : M. Mamillan, Pierre de carrière et produits manufactures. Centre Technique et de documentation .Cated.2003.

- Des désordres plus importants peuvent apparaître correspondants à la convergence des effets successifs assez complexes dont certaines seront énumérées ci-dessous:
 - Tassement des fondations et éventuellement des ruptures localisées,
 - Altération du mur en maçonnerie par les eaux,
 - Rupture d'un linteau résultant d'un tassement,
 - Des poussées qui résultent d'un désordre dans un plancher, un escalier ou une charpente,
 - Fissures entre deux parties d'un mur en alignement au niveau d'un coup de sabre (appareillage défectueux, rajout tardif dont la liaison est mal faite, remaniement sur façade).

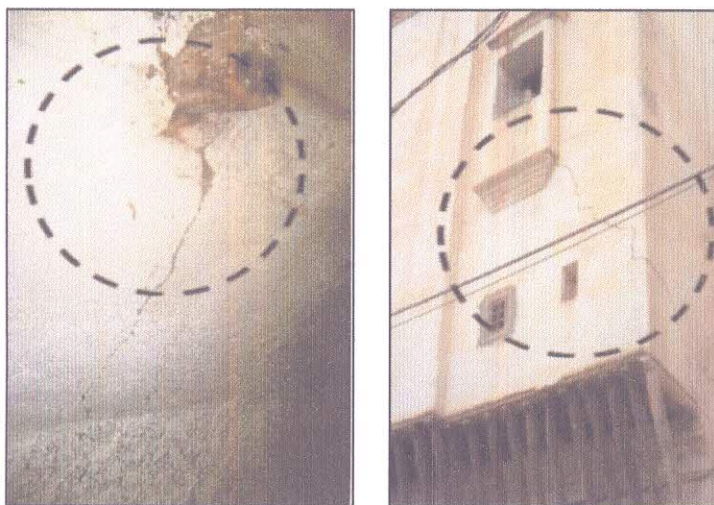


Fig 12 : L'apparition des fissures dans les murs en pierre au niveau des planchers
Source : Chernai, page 89, 2012.

b. 2. Fissuration des murs résultat des déformations des planchers :

Il s'agit de la capacité plus ou moins grande des ouvrages en maçonnerie à supporter les sollicitations engendrées par les ouvrages adjacents, en l'occurrence les planchers et les mouvements différentiels entre les deux catégories d'ouvrages. Certes, tous les planchers quels que soit leur type fléchissent, mais cela n'a pas de conséquence tant que les planchers sont en bois et les murs en maçonnerie de forte épaisseur. Cependant, l'évolution a permis de passer à une association entre des maçonneries de plus faible épaisseur et des planchers en béton armé. Ce type de plancher est le siège de déformation de plusieurs origines :

- Une flèche instantanée au moment du décoffrage,
- Les déformations dues aux charges d'exploitation de courte durée,

- Enfin, les déformations de fluage qui résultent du poids propre de la construction et des charges d'exploitation de longue durée. Il arrive donc, lorsque ces déformations cumulées dépassent les capacités de déformation des murs en maçonnerie qui sont bien moins résistants à ce type de sollicitation que les planchers, des fissures apparaissent dans les murs (fig13).

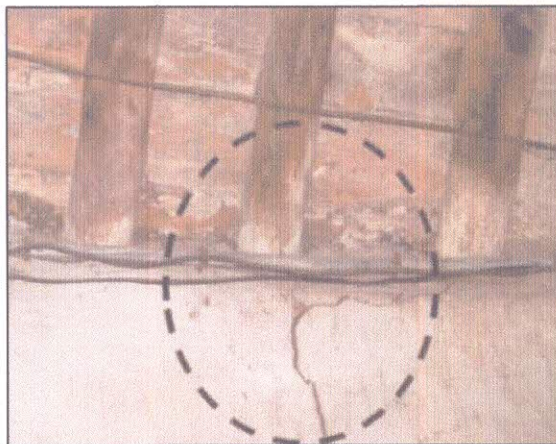


Fig 13 : Fissures démarrant à la hauteur du plancher
Source : Chernai, page 87, 2012.

b. 3. Désordres résultat de l'interaction entre murs et charpentes²¹ :

Ces désordres sont dus à la poussée des charpentes en bois massif dont les sections sont largement dimensionnées sur les murs porteur en maçonnerie qui se traduisent par des fissurations généralement ouvertes au voisinage des angles.

2.3.6. Autres formes de dégradation²² :

Les éléments de pierre utilisés dans l'appareillage des murs, sont assemblés avec des mortiers à la chaux. Les altérations sur les pierres bordant les joints sont très réduites car, les chaux utilisées sauf exception sont des chaux aériennes ou à faible indice d'hydraulicité. Ces mortiers à la chaux, sont dépourvus de sels nocifs et sont très perméables, ils ne font pas obstacle à la continuité hydrique entre les pierres, contrairement au mortier moderne à base de ciment silicaté imperméable, riche en sels ou en chaux fortement hydraulique, utilisé dans les chantiers de restauration pour parer à des problèmes sans connaissances requises sur le savoir-faire (incompatibilité physico-chimique), pensant à la rapidité dans l'intervention et non à sa durabilité dans le temps, du fait que ce mortier conduit à un creusement rapide avec le départ d'une plaque ou en désagrégation sableuse.

21 : M. Mamillan, Pierre de carrière et produits manufactures. Centre Technique et de documentation .Cated.2003.

22 : Achab Samia EP Chernai, 2012. Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (habitat) de la période Ottomane. Thèse de Magister : Architecture et 7développement durable. Université Mouloud Mammri Tizi-Ouzou, 177p.

2.4. Conclusion :

Les structures en maçonnerie subissent avec le temps des détériorations causées par divers facteurs. Ces détériorations sont aussi bien externes (par conséquent visibles) qu'internes nécessitant alors des recherches plus approfondies.

Le comportement structurel dépend du type de matériau utilisé, de la forme du bâtiment, de la taille de la structure, des connexions entre les éléments ainsi que les conditions environnementales qui entourent le bâtiment. On peut résumer les causes de dégradation des structures en : l'effet de vieillissement de la matière, le manque d'entretien, l'influence de l'humidité, les infiltrations des eaux et le phénomène de capillarité.

Les différentes structures sont endommagées, à des degrés différents, selon l'importance des causes, qui sont multiples et dues à plusieurs actions. Par conséquent, des fissures et une perte de solidité, des actions physiques dues aux variations de températures qui causent des retraits et des gonflements, et enfin des actions mécaniques dues essentiellement aux charges sismiques ou bien à des surcharges d'exploitations des structures qui exercent des contraintes provoquant ainsi des affaissements, des flèches exagérées. Ces facteurs agissant souvent en combinaison et conduisent à la vulnérabilité des édifices.

Dans le cas d'une réhabilitation d'un édifice, un diagnostic technique total doit être établi avant l'intervention proprement dite. L'intervention sur le tissu ancien dépend au premier lieu du type de bâtiment (classé ou non classé) et en deuxième lieu, du type de structure, et son état d'endommagement.

2.4. Conclusion :

Les structures en maçonnerie subissent avec le temps des détériorations causées par divers facteurs. Ces détériorations sont aussi bien externes (par conséquent visibles) qu'internes nécessitant alors des recherches plus approfondies.

Le comportement structurel dépend du type de matériau utilisé, de la forme du bâtiment, de la taille de la structure, des connexions entre les éléments ainsi que les conditions environnementales qui entourent le bâtiment. On peut résumer les causes de dégradation des structures en : l'effet de vieillissement de la matière, le manque d'entretien, l'influence de l'humidité, les infiltrations des eaux et le phénomène de capillarité.

Les différentes structures sont endommagées, à des degrés différents, selon l'importance des causes, qui sont multiples et dues à plusieurs actions. Par conséquent, des fissures et une perte de solidité, des actions physiques dues aux variations de températures qui causent des retraits et des gonflements, et enfin des actions mécaniques dues essentiellement aux charges sismiques ou bien à des surcharges d'exploitations des structures qui exercent des contraintes provoquant ainsi des affaissements, des flèches exagérées. Ces facteurs agissant souvent en combinaison et conduisent à la vulnérabilité des édifices.

Dans le cas d'une réhabilitation d'un édifice, un diagnostic technique total doit être établi avant l'intervention proprement dite. L'intervention sur le tissu ancien dépend au premier lieu du type de bâtiment (classé ou non classé) et en deuxième lieu, du type de structure, et son état d'endommagement.

Chapitre 3 : ALGER ET LE PHENOMENE SISMIQUE

- 3.1. Introduction,
- 3.2. Le phénomène sismique,
- 3.3. L'historique de la sismicité en Algérie,
- 3.4. L'activité sismique en Algérie,
- 3.5. Les dispositifs juridiques et la vulnérabilité,
- 3.6. Evaluation de l'aléa sismique au site d'Alger et ses environs,
- 3.7. Facteurs affectant la vulnérabilité sismique des bâtiments,
- 3.8. Méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique,
- 3.9. La prévention et la réduction du risque sismique,
- 3.10. Conclusion.

3.1. Introduction :

La ville d'Alger est composée d'un riche patrimoine bâti, résultant de l'action des diverses civilisations qui ont contribué à son évolution urbaine, à travers son histoire spécifique. Dans les dernières années, une partie importante du patrimoine bâti d'Alger se dégrade et tombe en ruine, il s'agit surtout, du patrimoine bâti ancien que l'on appelle aussi vieux bâti, qu'on retrouve majoritairement dans les anciens quartiers de la ville tels que la Casbah d'Alger.

Plus que l'intervention de l'homme sur bâti le dégrade, les phénomènes naturels ont parfois un impact destructeur. Parmi ces phénomènes « **le séisme** » qui est un phénomène imprévisible, irréversible et inévitable et qui augmente la vulnérabilité des structures des édifices. Les séismes entraînent des pertes en vies humaines, destruction du patrimoine immobilier et des moyens de production. Il est considéré comme un risque fatal auquel on ne peut s'opposer.

Dans le présent chapitre on essayera d'évoquer ce phénomène afin de le comprendre tout en visant notre objectif : celui de la réduction de la vulnérabilité des édifices.

3.2. Le phénomène sismique :

3.2.1. Définition du séisme¹ :

Le séisme est le résultat des efforts tectoniques qui peuvent occasionner des déplacements au niveau d'une faille (foyer), tout en libérant des énergies brutales provoquant la vibration du sol. On appelle « épicentre » le point situé à la verticale du foyer. Ce dernier peut être situé à faible profondeur (quelques kilomètres), il s'agit d'un séisme superficiel, ou à grande profondeur (plusieurs dizaines, voire centaines de kilomètres), il s'agit donc d'un séisme profond. L'énergie dégagée lors d'un séisme peut atteindre des niveaux cataclysmiques, une puissance dix millions de fois plus importante que la bombe lâchée sur Hiroshima en 1945. Les effets des séismes peuvent être ressentis et être destructeurs à plusieurs centaines de kilomètres de l'épicentre.

Si le mécanisme du séisme est aujourd'hui mieux connu, tant du point de vue de son origine que de sa propagation, il reste encore un phénomène imprévisible. C'est donc par une approche statistique probabiliste que le problème est appréhendé. Plus encore que pour les autres catastrophes naturelles, la connaissance des phénomènes passés est la clef de l'avenir.

1 : Hervé Philip, Jean-Claude Bousquet, Frédéric MASSON, 2007, *séismes et risques sismiques (approche sismotectonique)*, 1ère éd., DUNOD, Belgique, mars 2007, 340p.

3.2.2. Le danger des séismes² :

Le séisme est le risque naturel majeur le plus meurtrier, tant par ses effets directs (chutes d'objets, effondrements de bâtiments) que par les phénomènes qu'il peut engendrer (mouvements de terrain, raz-de-marée, etc.). Au-delà des victimes, un très grand nombre de personnes se retrouvent blessées, ensevelies, déplacées ou sans abri, et dans un état psychologique très endommagé. Il cause aussi des dégâts considérables aux biens.

Un séisme peut aussi, engendrer la destruction des infrastructures (ponts, routes, voies ferrées, etc.), des usines, ainsi que la rupture des réseaux. Le séisme de San Francisco du 18 avril 1906 a provoqué l'incendie d'une grande partie de la ville, le feu a été entretenu par des fuites importantes des conduites de gaz.

3.2.3. Le risque sismique et la vulnérabilité des constructions³ :

Le séisme à nos jours est considéré comme un phénomène naturel, et pour bien gérer le risque provoqué par le séisme, une bonne connaissance de cette gestion ainsi que ses caractéristiques est primordiale, car le côté catastrophique est plutôt lié à la gestion du risque par l'homme. Le concept de risque sismique était clairement défini après la rencontre internationale de l'UNDRO (United Nations Disaster Relief Office) en 1979 : « *c'est la probabilité de perte (en terme de vie humaine, de bâtiments, de richesses ...etc.) dans un site déterminé, pendant un intervalle de temps défini d'exposition et sous l'action d'un séisme potentiellement sévère* ».

3.2.3. a. Définition du concept « risque » par rapport au concept « aléa » et « vulnérabilité »⁴ :

Le risque a été défini comme l'identification d'un danger éventuel plus ou moins prévisible, dont la notion de danger est associée à celle du risque. La source du danger est caractérisée alors par l'aléa qui s'abat sur tout ce qui est vulnérable.

3.2.3. b. Définitions des concepts (fig14):

2 : Philippe DUMAS, Alexandre MACAIRE, André CHAVAROT, Christo DIMITROV, Christian QUEFFELEC, Denis LAURENS, Henri LEGRAND, Xavier MARTIN, *ETUDE SUR LES ALEAS NATURELS ET LEURS ENJEUX* 2005, edit Liberté-égalité-fraternité, Paris, 68p

3 : Ben Abdelfettah Mohamed, 2010. Contribution méthodologique : L'intégration des exigences parasismiques architecturales dans le processus de conception du projet architectural. Thèse de Magister : Architecture et Environnement. EPAU. ALGER, 169p.

4 : Hervé Philip, Jean-Claude Bousquet, Frédéric MASSON, 2007, *séismes et risques sismiques (approche sismotectonique)*, 1ere éd., DUNOD, Belgique, mars 2007 ,340p.

- **L'aléa** : est la manifestation d'un phénomène naturel d'occurrence et d'intensité donnée, qui survient dans l'environnement naturel ou l'environnement créé par l'homme, et affecte négativement la vie humaine, les biens ou les activités, au point de créer une catastrophe.
- **L'enjeu** : est l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel.
- **Le risque** : est la conséquence d'un aléa d'origine naturelle ou humaine, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionner des dégâts importants et dépasser les capacités de réaction des instances directement concernées.

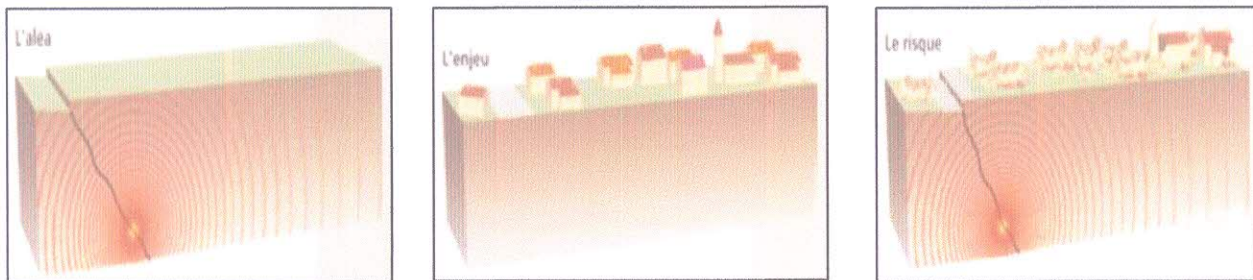


Fig 14 : Photos illustratives des différents concepts.
Source : Les séismes, 2004

3.2.3. c. Le concept d'un aléa sismique :

C'est la probabilité pour un site donné dans un moment donné d'être exposé à un séisme, dont les caractéristiques sont exprimées autant que possible sous forme de paramètres tels que : intensité macrosismique, épicentre, accélération, vitesse, déplacement, spectre du signal temporel.

3.2.3. d. Le concept de vulnérabilité :

La vulnérabilité d'un bâtiment est définie par la sensibilité de ce bâtiment vis-à-vis l'action aléatoire. Elle est caractérisée par un indice lié à la géométrie (dimensions, hauteur, forme en plan, caractéristiques architecturales), mais aussi à la qualité des matériaux de construction. Cette notion de vulnérabilité inclut l'importance des bâtiments en termes de coût, de valeur immatérielle et de vies humaines menacées.

3.2.3. e. Le couple aléa/vulnérabilité⁵ :

Le risque majeur est le résultat d'une confrontation d'un aléa avec plusieurs enjeux vulnérables. C'est l'accident d'une gravité très élevée dont la probabilité d'occurrence est très

5 : Ben Abdelfettah Mohamed, 2010. Contribution méthodologique : L'intégration des exigences parasismiques architecturales dans le processus de conception du projet architectural. Thèse de Magister : Architecture et Environnement. EPAU. ALGER, 169p.

faible. Le risque sismique est lié à l'impact de l'aléa pas seulement sur les constructions, mais aussi sur la vie humaine et du nombre de personnes blessées, du coût économique lié à la perturbation ou l'arrêt de l'activité de certaines entreprises, du coût social résultant des populations ayant perdu leur logement, ...etc.

3.2.4. L'impact des séismes sur l'environnement :

Les séismes ont des impacts sur l'environnement parfois destructeurs. Ils peuvent provoquer des désordres dans les constructions par leur destruction ou déstabilisation, on arrive parfois à des chaos dans les villes touchées par le séisme comme c'était le cas après le séisme de 1980 qui a touché la ville d'el Asnam (Chlef actuellement).

Quand le séisme est plus fort, le jeu des failles peut faire apparaître des dénivellations ou des décrochements de plusieurs mètres, et parfois un changement total de paysage. Cette tectonique des plaques dite séisme, a des risques contre lesquels l'homme ne peut que se protéger de manière passive, par la diminution de la vulnérabilité des enjeux.

3.3. L'historique de la sismicité en Algérie⁶ :

L'histoire de l'Algérie est jalonnée d'évènements sismiques importants dont de très nombreuses villes du nord en particulier, ont été complètement rasées et causé des dizaines de milliers de morts, de lourdes pertes en vies humaines, ainsi que des dégâts considérables sur les constructions et les diverses infrastructures. Le premier séisme majeur de l'Algérie indépendante fut celui de Chlef (ex- El Asnam) en date du 10 octobre 1980.

D'après le CRAAG (le Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique), l'activité sismique du nord d'Algérie remonte au 02 janvier 1365, date à laquelle s'est produit le séisme à Alger. Depuis, de nombreux séismes se sont produits, parmi eux certains violents et meurtriers. Les investigations de paléosismicité effectuées après le séisme d'El Asnam ont permis de révéler l'existence de traces d'anciens séismes qui ont autrement affecté cette région depuis au moins 600 ans, et ont donné la possibilité aux chercheurs d'estimer la récurrence des évènements sismiques. Le dernier séisme du 21 mai 2003 d'Alger-Boumerdès a touché la zone la plus sensible du territoire national, il a laissé des traces marquantes aussi bien sur le bâti ancien que sur les

6 : Ben Abdelfettah Mohamed, 2010. Contribution méthodologique : L'intégration des exigences parasismiques architecturales dans le processus de conception du projet architectural. Thèse de Magister : Architecture et Environnement. EPAU. ALGER, 169p.

nouvelles constructions. (Voir annexe 01 : Le tableau des principaux évènements sismiques importants en Algérie depuis 1980).

3.4. L'activité sismique en Algérie :

Le territoire tellien est connu par sa forte concentration de population et la densité des activités. Il est considéré comme étant un espace tectoniquement complexe à vulnérabilité sismique naturelle élevée.

Zonage sismique : D'après le document réglementaire concernant les règles parasismiques algériennes le territoire national est divisé en cinq zones de sismicité croissante (fig 15) :

Zone 0 : est caractérisée par une sismicité non nulle mais négligeable. Dans la zone zéro, les règles parasismiques ne sont donc pas obligatoires.

Zone I : est caractérisée par une sismicité faible à très faible.

Zone IIa : est caractérisée par une sismicité moyenne.

Zone IIb : est caractérisée par une sismicité moyenne.

Zone III : est caractérisée par une forte sismicité.

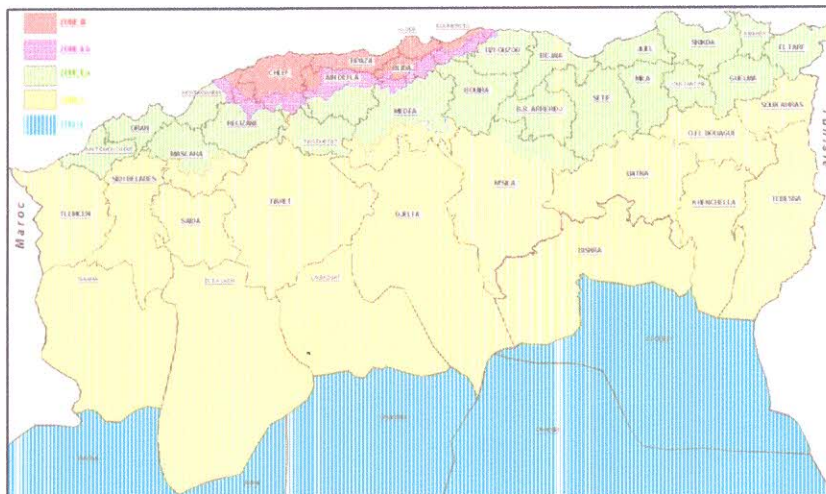


Fig 15 : Classification sismique des wilayas d'Algérie.
Source : RPA, 2003

Les zonages sismiques du territoire algérien élaborés montre toujours que la bande tellienne notamment dans sa grange littorale est soumise au degré d'aléa sismique le plus élevé.

Le niveau minimal de protection sismique accordé à un ouvrage dépend de sa destination et de son importance vis-à-vis des objectifs de protection fixés par la collectivité.

Tout ouvrage qui relève du domaine d'application des règles parasismiques algériennes R.P.A (édition 99) modifié et complété, doit être classé dans l'un des groupes définis ci-dessous :

Groupe 1A : ouvrage d'importance vitale.

Groupe 1B : ouvrage de grande importance.

Groupe 2 : ouvrage courant d'importance moyenne.

Groupe 3 : ouvrage de faible importance.

Les pouvoirs publics se sont préoccupés de la prise en compte du risque sismique par l'établissement des règles de construction parasismique suite au tremblement de terre d'El Asnam. Des règles de construction parasismique ont été édictées depuis 1992, dont l'objectif principal est de préserver la vie humaine au niveau de l'intensité sismique prévue par ces zonages, et de garantir la pérennité et le bon fonctionnement des bâtiments destinés à l'organisation des secours et à la gestion de crise.

3.5. Les dispositifs juridiques et la vulnérabilité :

3.5.1. La politique d'urbanisme et usage des sols :

L'Algérie a enregistré dans les dernières années un nombre important de catastrophes naturelles. Cela a conduit les autorités à mettre une perception de la vulnérabilité du bâti face aux risques naturels notamment le risque sismique, et à établir un nombre de lois afin de mieux gérer ces phénomènes :

- a- **La loi 90-29 du 12-01-1990**, relative à l'aménagement et l'urbanisme a institué le PDAU et le POS. Dans son onzième article, la loi précise que les instruments d'urbanisme doivent « *définir les conditions d'aménagement et de constructions en prévention des risques naturels* », elle a quatre décrets datant du 28 mai 1991. Cette loi est modifiée et complétée par : **la loi 04-05 du 14-08-2004** : Elle constitue un amendement qui a suivi le séisme de Boumerdès 2003, elle s'est présentée comme une mesure réactionnelle par rapport à une urgence.
- b- **La loi 01-20 du 12-12-2001**, relative à l'aménagement et au développement durable du territoire. Elle définit un développement harmonieux et durable de l'ensemble des territoires

selon les spécificités et les atouts de chaque région, et retient comme finalité dans l'article 4 :
« *la protection des territoires et des populations, contre les risques liés aux aléas naturels* ».

- c- **Le décret exécutif n° 91-75 du 28 mai 1991** définit les règles générales d'urbanisme et de construction, il précise aussi que « *lorsque la construction ou l'aménagement est projeté sur un terrain exposé à un risque naturel tel que l'inondation, l'érosion, l'affaissement, l'éboulement, le séisme, l'avalanche, le permis de construire ou de lotir, peut être refusé ou n'être accordé qu'à des conditions spéciales requises par les lois en vigueur* ».
- d- **La loi 90-08 du 07-04-1990**, relative à la commune et confère les prérogatives en matière d'urbanisme. L'article 91 de cette loi éclaire sur le fait que « *la commune s'assure du respect des affectations des sols et des règles de leur utilisation et veille au contrôle permanent de la conformité des opérations de construction* ».

3.5.2. La politique de gestion des risques majeurs :

- a- **La loi 04-20 du 25-12-2004**, relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable. Elle constitue la fondation de la réglementation parasismique algérienne, en s'inscrivant directement dans la démarche intégrée du développement durable, tout en mettant les jalons d'une politique nationale de gestion des risques et en se plaçant dans une logique de gestion coordonnée de maîtrise de ces risques. Après les dernières catastrophes lors des deux événements majeurs : les inondations de Bab-El-Oued en 2001 et le séisme de Boumerdès en 2003, le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement a élaboré cette loi dans ce contexte particulier suite aux défauts de prévention et de gestion de ces catastrophes. La loi a été adoptée et promulguée par le parlement. En effet, elle fixe comme objectifs:
- Le principe d'interdiction de construction dans les zones exposées aux risques, pour les risques naturels, il s'agit des zones de failles sismiques, les terrains de risque géologique et les terrains inondables, et les lits d'oueds...etc.
 - La loi s'appuie aussi dans l'article 8, sur des principes porteurs, tel le principe de précaution et de prudence, le principe de concomitance, le principe de participation ...etc.
 - La loi établit des prescriptions particulières en matière de prévention pour chaque risque majeur qu'elle identifie dans l'article 10.
- b- **Le décret exécutif n° 04-191 du 24-06-2004**, portant création de la commission de communication liée aux risques naturels et technologiques majeurs.

Selon FERNINI H.A (enseignante chercheur à l'EPAU), dans son mémoire de magistère en architecture et environnement intitulé « Evaluation méthodologique de la vulnérabilité urbaine face aux risques majeurs naturels » en Mai 2008, le concept de la vulnérabilité est toujours mentionné dans les textes législatifs, de même les actions sont précises et bien ciblées. Cependant, elles resteront uniquement citées dans les textes et totalement occultées dans la réalité.

Bien qu'il existe un fossé culturel entre l'architecte et le chercheur-scientifique, dans les domaines de la résistance des bâtiments, dû principalement aux caractéristiques de la formation de l'un et l'autre, il rend difficile la communication entre les deux champs de performance. Tous cela permet de constater le manque de méthodes et les outils destinés aux architectes en particulier, pour les aider dans leurs activités de concevoir sans la nécessité d'avoir recours à des connaissances pointues du génie parasismique durant la conception des projets, afin de prendre en pensée les exigences de sécurité et de prévention aux risques. Pourtant la prise en compte de la vulnérabilité offre en aval une opportunité certaine de limitation des effets des catastrophes naturelles en général, et sismiques en particulier.

3.6. Evaluation de l'aléa sismique au site d'Alger et ses environs :

L'Algérie est située sur la bordure de la plaque africaine, qui est en mouvement perpétuel 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 matérielles.

Comme nous avons susmentionné, le risque sismique peut être défini en une simple forme comme la convolution de l'aléa et la vulnérabilité, on peut alors réduire le risque en évaluant l'aléa et en réduisant la vulnérabilité des éléments à risque.

L'aléa sismique, exprimé en termes de probabilité de dépassement de l'accélération de pointe, est calculé pour des durées de vie économiques de la structure de 10, 50 et 100 ans. L'accélération absolue pour une période de retour donnée est aussi déterminée. En rapport avec l'insuffisance des enregistrements des mouvements forts du sol, aucune loi d'atténuation n'a été développée pour le territoire algérien.

Selon M. BENOUAR Djillali⁷, l'analyse de l'aléa sismique est réalisée en utilisant un modèle simple d'arrivée des séismes, dont le processus du phénomène sismique n'est pas encore compris, il

7 : M. BENOUAR Djillali : professeur enseignant chercheur et membre de laboratoire de recherche : le Bâti dans l'environnement, USTHB.

est supposé que les séismes futurs se reproduiront dans les zones où ils se sont déjà produits dans le passé.

L'évaluation de dommages causés par les séismes des constructions existantes constitue un élément primordial dans la philosophie de réduction des effets sismiques. Pour concrétiser cela, l'utilisation des facteurs de vulnérabilité a été récemment proposée et acceptée dans plusieurs pays dans le monde.

Dans la plupart des régions sismiques à travers le monde, les constructions existantes, anciennes, construites initialement sans la prise en compte du risque sismique et plus grave encore, n'ayant souvent pas fait l'objet d'études préalables d'engineering ou de contrôle d'exécution, présentent certainement un risque très important tant du point de vue économique que celui des pertes en vies humaines.

Le projet de recherche, domicile à l'EPAU s'inscrit dans la problématique de la « **Vulnérabilité et la réhabilitation du bâti existant** » avec une attention toute particulière aux constructions traditionnelles qui se trouvent, de fait, les plus exposées au risque sismique. Cette recherche tente, par les défaillances (vulnérabilité, pathologie) des constructions endommagées durant les séismes, à les modéliser, et par conséquent identifier les indices de vulnérabilité, qui pourront servir à proposer des mesures préventives de réduction de risque sismique.

Les résultats de cette recherche devront constituer un moyen fondamental pour guider les pouvoirs publics dans la formulation d'une stratégie de développement et de prise de décision pour les mesures de réduction du risque sismique du patrimoine bâti.

Les constructions existantes, anciennes, à travers le monde peuvent avoir des défaillances qui doivent être identifiées et évaluées par les architectes et les ingénieurs avant toute prise de décision relative aux mesures de réduction du risque sismique. Chaque défaillance doit être évaluée avec une grande prudence, car un ensemble de problèmes particuliers complexes peut amener à la décision économique que la construction nouvelle peut être le seul choix viable. Un listing général, non exhaustif, représentatif de quelques pathologies observées dans certains bâtiments anciens, qui peuvent être résolues par une stratégie de dimensionnement par les architectes et les ingénieurs, comprend ce qui suit⁸ :

8 : La revue Vies des Villes in « Faire face aux risques majeurs en ville » n°10, 2008

- ✓ Configuration de base,
- ✓ Matériaux de construction,
- ✓ Rigidité relative,
- ✓ Capacité de portance,
- ✓ Joints/ connections,
- ✓ Chainages verticaux,
- ✓ Poteaux courts,
- ✓ Vétusté /âge /intempéries,
- ✓ Mauvaise réparation.
- ✓ Site / fondation,
- ✓ Continuité verticale,
- ✓ Excentricité,
- ✓ Eléments non structuraux,
- ✓ Diaphragmes horizontaux,
- ✓ Ouvertures dans les murs,
- ✓ Absence d'entretien,
- ✓ Négligence.

Le risque sismique peut être considérablement réduit en Algérie comme dans d'autres pays en zone sismique, seulement si des mesures sont prises pour protéger les bâtiments anciens, à maçonnerie non chaînée et non calculée, lesquels entraînent des dommages du bâti existant dans la zone concernée doit être évalué.

BENOUAR a rajouté dans son entretien pour la revue vie des villes « **Faire face aux risques majeurs en ville** » : pour réduire la vulnérabilité et donc le risque (conséquences), les autorités publiques et les différents acteurs dans le domaine de la prévention et l'intervention ont besoin d'informations fiables sur les intensités probables du futur séisme qui pourrait frapper la ville d'Alger. Bien que la carte sismo-tectonique de la région d'Alger ait été complétée récemment, le processus du phénomène sismique est jusqu'à aujourd'hui mal compris. Par conséquent, l'aléa sismique à Alger peut être évalué par une approche probabiliste en utilisant un modèle de prédiction stochastique simple. Cet aléa sismique peut être exprimé en termes de probabilité de dépassement de l'accélération de pointe et période de retour. Le niveau d'accélération du sol pourrait varier considérablement d'un modèle à un autre, ce qui pourrait aussi conduire à une valeur conservative de l'accélération du dimensionnement de la structure.

Ceci dépend fortement du niveau de risque accepté par les autorités publiques et la société civile. Ces résultats doivent être pris en compte dans la prévision du développement économique et social de la ville d'Alger et ses environs. Ils constituent un moyen fondamental qui devrait guider les services concernés à tous les niveaux de l'administration par l'élaboration de stratégie de développement, en zones menacées, par des aménagements du territoire et urbain appropriés, une planification de l'occupation de sol, une application stricte d'un code de construction adéquat, une réhabilitation appropriée du bâti existant et une politique des mesures de prévention et de réduction des effets néfastes de ces phénomènes, ainsi que pour la préparation de la réponse.

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. Il est très important donc d'identifier ces paramètres pathologiques des structures qui jouent un rôle plus significatif dans le dommage global. L'intervention sismique doit être concentrée sur ces éléments afin de réussir le cours total du renforcement. Il est bien entendu que l'analyse de la vulnérabilité combinée avec l'aléa sismique de la zone considérée nous donnera le niveau de risque sismique attendu, les résultats obtenus doivent contribuer considérablement dans la formulation générale de la stratégie de réduction des pertes en vies humaines et matérielles. Il est clair que les paramètres pathologiques des bâtiments existants peuvent aussi être déterminés par une lecture archéologique adéquate en termes d'architecture et d'ingénierie⁹.

3.7. Facteurs affectant la vulnérabilité sismique des bâtiments :

En plus de la qualité d'exécution difficile à juger, les méthodes de construction et les matériaux influencent la vulnérabilité sismique globale des bâtiments. Pour ce qui est de la maçonnerie, on doit évaluer le mortier parce que c'est lui le matériau qui va influencer le plus le comportement sismique.

Le type d'intervention sur le bâtiment tel que la conservation joue également un rôle dans la vulnérabilité globale. Un bâtiment mal entretenu pourrait être situé dans une classe de vulnérabilité inférieure à celle dont il aurait fait partie s'il avait été mieux conservé. Il est à noter que l'entretien s'adresse ici à la structure et non à l'aspect esthétique.

Autre facteur qui joue un rôle important dans la vulnérabilité des bâtiments, la ductilité qui est la capacité de résister à des charges latérales dans le domaine plastique, en dissipant l'énergie sismique et en favorisant les dommages localisés ou contrôlés par opposition à un effondrement complet. Elle est souvent reliée au type de construction, pour les bâtiments en maçonnerie, ils sont souvent considérés fragiles, donc non ductiles.

Ajoutant à cela, la localisation du bâtiment par rapport aux constructions voisines peut avoir un effet sur la vulnérabilité sismique. Une maison située au bout d'une rangée est plus vulnérable, on peut expliquer ça comme suit: le côté mitoyen est beaucoup plus rigide que la face d'extrémité,

9 : La revue Vies des Villes in « Faire face aux risques majeurs en ville » n°10, 2008

ceci cause une irrégularité de la rigidité globale. Aussi, deux grandes structures situées très proches l'une de l'autre et ayant des périodes de vibration différentes peuvent s'entrechoquer lors d'un tremblement de terre et augmenter les dommages¹⁰.

Un dernier facteur affectant la vulnérabilité est la régularité de la structure. Du point de vue sismique, la structure idéale est un cube où les variations de rigidité sont symétriques. En fait, ce qui est souhaitable pour les bâtiments est le plus de régularité possible, afin de diminuer leur vulnérabilité. De même, les grandes variations en plan ou en élévation, les changements de rigidité dans les éléments internes du bâtiment, peuvent causer des efforts de torsion dans la structure.

3.8. Méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique¹¹ :

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la vulnérabilité, se différenciant selon le type d'application (bâtiment unique ou ensemble de bâtiments), le temps et les moyens disponibles.

Une méthode était proposée par le CNRC (Conseil National de Recherches du Canada) comporte deux phases :

- **La première phase** : consiste à vérifier une liste d'énoncés par l'inspection in situ, l'analyse des plans et quelques calculs rapides. Ces énoncés concernent le système de base, les systèmes verticaux de résistance aux forces latérales, les diaphragmes, les assemblages de charpente, les fondations ainsi que les éléments non-structuraux. La liste permet de cibler quels sont les éléments adéquats en terme de performance sismique et lesquels ne le sont pas. Dans le cas où il y a un élément inadéquat (réponse fautive à un énoncé), l'ingénieur doit passer à la deuxième phase.

- **La deuxième phase** : consiste à faire une analyse détaillée basée sur la méthode d'analyse statique équivalente du Code national du bâtiment établi par le CNRC. Cette procédure est applicable à une structure individuelle et permet d'obtenir la réponse sur la structure à une intensité sismique donnée.

Lorsqu'il existe peu de données relativement aux séismes passés, il est très difficile d'utiliser les méthodes de jugement expert et d'observation de la vulnérabilité afin d'évaluer la vulnérabilité sismique d'un ensemble bâti.

10 : LEFEBVERE Karine Amel, 2004. *Caractérisation structurale et évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments historiques en maçonnerie du Vieux Montréal*. Mémoire présenté à l'école de technologie supérieure comme exigence partielle à l'obtention de la maîtrise en génie de la construction. Montréal, 208p.

11 : Idem.

D'autres méthodes permettant une analyse rapide doivent donc être utilisées. Une de ces méthodes consiste en la création de modèles analytiques simples applicables chacun à une typologie spécifique de bâtiments et nécessitant la collecte d'un nombre raisonnable de paramètres auprès des bâtiments du type étudié. Une méthode alternative est celle dite « hybride » s'adresse surtout aux bâtiments anciens, pour lesquels il est difficile de réaliser certains types d'analyse, en raison des incertitudes liées aux propriétés mécaniques et de la perte de résistance due à l'âge. Un avantage certain des modèles analytiques, pour un ensemble de bâtiments, est la courte durée des analyses par rapport aux méthodes d'analyses dynamiques non-linéaires ou de calculs d'indices de la vulnérabilité pour chacune des structures, nécessitant généralement des inspections¹².

Dans le cadre du programme des mesures mises en œuvre par le Gouvernement Algérien visant, à réduire la vulnérabilité de certaines zones urbaines aux catastrophes naturelles après les inondations de BAB EL OUED en 2001, la Direction de l'Urbanisme a été chargée d'élaborer l'Etude de Réduction de la Vulnérabilité aux Catastrophes Naturelles du Massif de Bouzareah (risque d'inondation, risque du séisme, risque de mouvement de terrain et risque de pollution).

3.9. La prévention et la réduction du risque sismique :

La loi 04-20 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable, dans son article 3 définit la prévention des risques par la mise en œuvre de procédures et de règles visant à limiter la vulnérabilité des hommes et des biens aux aléas naturels. L'objectif de ces règles est de préserver et prendre en charge les effets des risques majeurs sur les établissements humains, leurs activités et leur environnement, tout en visant la préservation et la sécurisation du patrimoine des générations futures qui est bien inscrit dans la logique du développement durable.

Réduire le risque c'est réduire la vulnérabilité des enjeux menacés et augmenter le degré de prise en charge, car l'aléa découle des contraintes de notre environnement naturel et ne peut pas être modifié.

La première phase dans la réduction des risques sismique dans une société exposée à des tremblements de terre tel que la ville d'Alger, commence d'abord par l'évaluation de l'aléa

12 : LEFEBVERE Karine Amel, 2004. *Caractérisation structurale et évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments historiques en maçonnerie du Vieux Montréal*. Mémoire présenté à l'école de technologie supérieure comme exigence partielle à l'obtention de la maîtrise en génie de la construction. Montréal, 208p.

sismique, ce qui va permettre d'avoir une connaissance de l'agression sismique probable et l'identification des éléments exposés les plus vulnérables aux séismes¹³.

Nous devons déterminer le mode de construction du bâtiment. En effet, une maçonnerie en pierre réagira différemment d'une en béton. Il est ensuite nécessaire d'examiner la conception de la structure, puis de réunir un maximum de données relatives au sol et au site. Certaines conceptions demanderont à être renforcées. Une fois identifiés, les points faibles du bâtiment, et au besoin réalisé un diagnostic plus approfondi avec l'aide d'un professionnel pour faire une étude technique plus complète avant d'aller plus loin dans les méthodes de renforcement.

Dans le cadre du contexte des projets de la Révision du PDAU d'Alger et l'Aménagement de la Baie d'Alger en cours d'étude, le nouveau cadre stratégique met l'accent sur la prévention des risques naturels (séismes, mouvements des terrains et chute de blocs de pierres, inondations et surexploitation des ressources hydriques souterraines) et technologiques (explosion, incendie et pollution environnementale), et considère comme prioritaire la création d'un cadre restrictif pour l'occupation urbaine des zones à plus grand risque, avec la nécessité de délocalisation des activités industrielles plus dangereuses, installées au sein des centres urbains.

Le livrable 13 pour le PDAU et le livrable 07 pour la Baie, sont dédiés aux stratégies et aux plans de prévention contre les risques majeurs (naturels et technologiques). Ils permettront essentiellement d'établir les plans de prévention et de gestion dans les domaines des risques sismique, inondation, glissement de terrains, l'érosion de la côte et les risques technologiques.

Ces éléments permettront de fournir une expertise, de donner les informations utiles aux aménageurs et de lister clairement les mesures à prendre en compte pour les projets d'aménagement.

3.10. Conclusion :

Les séismes sont des risques contre lesquels l'homme ne peut que se protéger de manière passive par la diminution de la vulnérabilité des enjeux. On ne peut en effet empêcher un séisme d'avoir lieu, mais on peut en revanche tenter de le prévenir et prendre des dispositions pour minimiser ses conséquences sur le plan humain.

13 : Ben Abdelfettah Mohamed, 2010. Contribution méthodologique : L'intégration des exigences parasismiques architecturales dans le processus de conception du projet architectural. Thèse de Magister : Architecture et Environnement. EPAU. ALGER, 169p.

La réduction du nombre de victimes lors d'un séisme passe généralement par l'adaptation des formes et structures des bâtiments et autres ouvrages d'art aux sollicitations dynamiques. C'est notamment l'objet de la construction dite parasismique.

Le risque sismique est appréhendé par trois composantes : l'aléa, la vulnérabilité des enjeux et le degré de prise en charge. Cette formule a le mérite d'indiquer les différentes approches que l'on peut envisager dans le but de réduire le risque sismique.

Depuis quelques années, et en dépit des multiples catastrophes vécues en Algérie, on se rend compte que le pays n'est pas encore préparé pour réagir convenablement aux risques majeurs en général. A cause de non préparation vis-à-vis des catastrophes naturelles, l'opinion publique algérienne a tendance à les associer à la mauvaise gouvernance. Aujourd'hui plus encore qu'hier, l'Etat algérien doit engager seul ou en partenariat international des actions de prévention, d'anticipation, de prospective et de gestion des risques majeurs en les intégrant dans les différentes politiques qu'il élabore et qu'il met en œuvre dans le temps et dans l'espace. La mise en place d'un tel partenariat offrirait un moyen supplémentaire d'améliorer la qualité de mise en œuvre des stratégies nationales et ce, en associant un grand nombre de parties à l'exécution d'activités concrètes afin de promouvoir et de renforcer les mesures destinées à atteindre les buts et les cibles fixés en matière de réduction des risques de catastrophes¹⁴.

Pour bien agir sur un bâtiment existant, soit par la conservation, la restauration, la consolidation, renforcement, réhabilitation ... etc. il faut situer le bâtiment par rapport à son degré d'endommagement, et par rapport à sa vulnérabilité. Le type d'intervention sur le bâtiment joue également un rôle dans la vulnérabilité globale. S'il est mal entretenu, ça pourrait être situé dans une classe de vulnérabilité inférieure à celle dont il aurait fait partie s'il avait été mieux conservé.

14 : Ben Abdelfettah Mohamed, 2010. Contribution méthodologique : L'intégration des exigences parasismiques architecturales dans le processus de conception du projet architectural. Thèse de Magister : Architecture et Environnement. EPAU. ALGER, 169p.

DEUXIEME PARTIE : CAS D'ETUDE : LA MOSQUEE ALI BETCHINE

Chapitre 4 : CAS D'ETUDE : LA MOSQUEE ALI BETCHINE :

- 4.1. Introduction,
- 4.2. Situation de la Casbah d'Alger,
- 4.3. Historique de la Casbah d'Alger,
- 4.4. Situation de la mosquée Ali Betchine,
- 4.5. Historique de la mosquée Ali Betchine,
- 4.6. Description de la mosquée Ali Betchine,
- 4.7. Conclusion.



4.1. Introduction :

Le mot "Casbah" désigne la citadelle qui surplombait la ville « La Médina », peu à peu le terme engloba la cité elle-même. La Casbah témoigne d'une forme urbaine homogène dans un site original et accidenté (118 mètres de dénivellation), qui s'étend sur 45 hectares. La richesse de la ville se traduit par les décorations intérieures des habitations, souvent ordonnées autour d'une cour carrée centrale faisant atrium. Les rues tortueuses et pentues constituent aussi un élément caractéristique de la vieille ville.

La mosquée demeure l'élément essentiel dans la vie citadine d'une ville musulmane, en effet, la Casbah d'Alger est riche en matière de mosquées. De nombreux édifices religieux se construisent dans cette Casbah, lui donnant l'aspect et l'allure d'une véritable métropole intellectuelle et artistique.

Notre cas d'étude « **La mosquée Ali Betchine** » se situe dans la Casbah d'Alger. Cet édifice religieux, dont la naissance remonte à la période ottomane, se dresse dans l'ancien quartier d'El Hamra (Zoudj Aïoun) où jadis se trouvait la porte de l'actuel quartier de Bab-El-Oued. Elle est classée parmi les vingt et une plus anciennes mosquées de La Casbah d'Alger, avec une capacité d'accueil d'un peu plus de cinq cents fidèles.

4.2. Situation de la Casbah d'Alger :

La casbah d'Alger est parmi les rares sites classés en Algérie, enregistrée sur la liste du patrimoine national en Novembre 1991, et comme patrimoine mondial de l'UNESCO en Aout 1992.

Tout en haut, comme une pyramide étroite adossée au coteau, un triangle de petits cubes multicolores s'élance à la conquête du ciel, c'est la Casbah d'Alger ou La Médina (fig16). C'est une ville historique qui se situe sur le côté ouest de la baie d'Alger. Le site de la Casbah d'Alger orienté Est, s'étale sur environ 70ha, de forme triangulaire et de forte pente descendant de la citadelle vers la mer.

Elle est limitée par la citadelle en haut, les deux remparts Ourida MEDDAD et Abderrezzak HADAD et par la mer vers le bas.



Fig 16 : Vue générale sur la Casbah d'Alger.
Source : Google Earth, 2015.

Limite du plan permanent de sauvegarde :

Les limites du secteur sauvegardé dépassent celles du périmètre classé patrimoine national en 1991 et mondial en 1992, intégrant ainsi une zone périphérique de protection considérée comme partie intégrante du secteur.

Les limites sont définies par le décret exécutif N°05.173 du 30 Rabie el Aouel 1426 correspondant au 09 mai 2005, portant création et délimitation du secteur sauvegardé la « Casbah d'Alger », comme suit¹ :

- Au nord, dans l'axe par la rampe LOUNI Arezki et la rue OUDELHA Mohamed.
- A l'est, contournant l'amirauté et la jetée Kheir-Eddine.
- Au sud, englobant la mole el Djefna et parcourant dans l'axe les rues successives suivantes : Azzouz Ben Bachir, Bakel Said, Bône, Debih Cherif, rejoignant le bastion sud-ouest de la caserne Ali Khodja.
- A l'ouest, longeant la rue Boualem Bengana.

La superficie totale du secteur sauvegardé (conformément aux documents du PPSMVSS) est de 105 ha.

¹ : Merrad Djamel, 2012. *Evaluation de la qualité environnementale dans le secteur sauvegardé*, cas d'étude « La Casbah d'Alger ». Thèse de Magister : Architecture et environnement. EPAU, Alger, 169p.

4.3. Historique de la Casbah d'Alger :

La casbah d'Alger a subi plusieurs transformations par rapport à son occupation à travers plusieurs périodes, dont la période ottomane et la période coloniale sont les deux périodes les plus significatives.

4.3.1. Période phénicienne :

A cette époque l'empire de Carthage s'étale sur le long des côtes de la méditerranée occidentale, en créant des comptoirs où les navires pouvaient trouver des refuges naturels, ou une escale favorable, ses marchés étaient placés à des intervalles permettant de passer d'une escale à une autre en une journée de navigation ou plus².

François Souq (directeur interrégional méditerranée, INRAP) déclare dans le rapport d'expertise du projet d'évaluation archéologique relatif à l'îlot Lallahoum, que la zone en question est susceptible de contenir une partie de l'agglomération d'Ikosim, ancien comptoir phénico-punique vraisemblablement fondé au VII^{ème} siècle avant l'ère chrétienne. Cité autonome de Juba II, avant son annexion par Rome vers l'an 40.

5.3.2. Période romaine³ :

Après la chute de Carthage en 146 av J.-C., la méditerranée tombe sous le pouvoir romain dont *Ikosim* partie du royaume de Mauritanie qui était gouverné par des Rois berbères. Ce royaume, qui couvrait la moitié occidentale de l'Afrique du Nord, passa sous le contrôle direct de Rome en l'an 40 de J.-C.

L'actuelle rue Bab Azzoun- Bab el Oued était le *Cardo* de la ville romaine, elle a suivi pratiquement les courbes de niveau. La rue de la marine perpendiculaire à cet axe est le *Decumanus*. Ces deux axes constituaient le premier tracé à partir desquels la ville serait développée.

Selon Stéphane Gsell⁴, dans l'Atlas Archéologique, la ville romaine se serait étendue au nord jusqu'à la place Bab el Oued. Au sud jusqu'au Square Port Saïd, et au-delà de ces deux endroits, se trouvaient les nécropoles romaines qui par leur emplacement ont permis de délimiter la cité des vivants. Mais à l'intérieur de ces limites, un axe routier presque rectiligne la traversait du nord au

2 : Ravéreau André, 1989, La Casbah d'Alger, et le site créa la ville, éditions Sundbad, Paris, 232p.

3 : Idem.

4 : Stéphane Gsell : archéologue et historien français, spécialiste de l'Afrique romaine et plus particulièrement de l'Algérie romaine.

sud, son tracé coïncidait avec celui de l'axe Bab el Oued- Bab Azzoun, qui correspondait sans doute au *Cardo-maximus*. Cet axe devait relier les deux portes principales de cette cité.

4. 3. 3. Période d'el Djazair Beni Mezghanna⁵ :

Au Xème siècle Ziri Ben Menad, souverain de la ville d'Achire autorisa son fils Bologhine à fonder trois villes : Miliana, Lémdia et Djazair Beni Mezghanna.

Bologhine fut chargé par la suite de gouverner ces trois villes. Djazair bani Mezghanna qui porte le nom d'une ancienne tribu berbère de la branche des Sanhadja et qui vivait dans la Mitidja, fut donc construite sur les ruines d'Icosium.

Le choix du site est fait sur une trame partiellement existante, dans des ruines favorables à la construction. Cette situation était choisie près de la mer et sur une colline d'où ils pouvaient surveiller facilement la mer tout en se protégeant des attaques.

Les Almoravides lui creusèrent un port, et le roi de Tlemcen Youcef Ibn Tachfin, à la fin du XIème siècle éleva sa première grande mosquée. Dès cette époque, El Djazair, au port bien abrité, participa à la course et développa son commerce maritime avec de nombreux pays d'Europe.

Le tracé des remparts de la ville durant cette période atteste le déplacement de la vie urbaine vers les hauteurs. Georges Marçais (archéologue arabisant) a montré dans son étude sur l'urbanisme musulman, qu'à partir du XIe siècle, les centres vivants de l'intérieur se rapprochaient de la côte, tandis que les villes portuaires se repliaient sur les hauteurs proches de la mer. Et cela dans un double souci de sécurité.

4. 3. 4. Période ottomane⁶ :

Après la chute de Grenade en 1492, la ville d'Alger a connu l'immigration des musulmans andalous, dont la grande partie était originaire de Grenade, d'Aragon, de Murcie et de Valence. Après avoir été démunis de leurs biens, ils commencèrent à s'équiper de navires armés afin de se venger sur les côtes espagnoles.

Craignant de subir le même sort, les dignitaires de la ville d'El Djazair accoururent en cette même année vers la cour d'Espagne et durent s'engager à verser un tribut annuel au Roi Ferdinand, durant une période de dix ans et ce, afin que leur ville soit épargnée. N'étant pas tout à fait satisfait de cet accord, le Roi d'Espagne a en plus ordonné d'installer une citadelle tout près de la ville

5 : Merrad Djamel, 2012. *Evaluation de la qualité environnementale dans le secteur sauvegardé*, cas d'étude « La Casbah d'Alger ». Thèse de Magister : Architecture et environnement. EPAU, Alger, 169p.

6 : Ravéreau André, 1989, *La Casbah d'Alger, et le site créa la ville*, éditions Sundbad, Paris, 232p.

d'Alger pour mieux contrôler les activités de ses habitants et les empêcher de pratiquer la course en mer.

Le serment d'obédience d'El Djazair à l'Espagne Barberousse a été remis en cause dès la mort de Ferdinand de Castille en 1516. Le cheikh Salim Ettoumi fit alors appel aux frères Barberousse, célèbres corsaires qui écumaient la méditerranée, et les chargea d'affronter les soldats espagnols. Kheireddine Barberousse se déclara aussitôt vassal du Sultan ottoman Salim 1^{er} (1512-1520), pour mieux renforcer son pouvoir. El-Djezair devint depuis, l'une des dépendances de l'Empire ottoman, et pour la première fois, le siège d'un gouvernement et le centre des forces d'un état. Elle a également été durant trois siècles le théâtre d'une longue lutte opposant l'islam à la christianité, ce qui lui valut la renommée de citadelle impénétrable et de terreur de la méditerranée⁷.

Le premier souci des turcs était d'agrandir les remparts déjà existants. Il y'avait une loi qui interdisait la construction en dehors des murailles pour des raisons défensives. Il s'agit donc d'exploiter au maximum l'espace intra-muros. Cette contrainte engendre la densification du tissu qui s'est manifesté par, la densification verticale (construction en hauteur) et/ou la densification horizontale (le développement de l'espace bâti au détriment de l'espace public), ce qui explique les dimensions réduites des ruelles et des impasses. A l'intérieur des remparts, la ville se divisait en deux parties (la basse ville et la haute ville), distinguées par le relief, le système de rue, la population, et les activités⁸.

Les principaux centres administratifs, politiques et religieux se trouvaient dans la partie basse de la ville. C'est donc en ce lieu que se trouvait le noyau central de la ville, prolongé par trois artères importantes :

- La grande rue commerçante vers Bab Azzoun,
- La rue conduisant vers le port par Bab el Djezira,
- La rue menant vers Bab el Oued.

Alger devient la ville entourée par une muraille marquée de forts et qui donne directement sur la mer, en forme triangulaire, dont la base tournée vers l'Est suivait le rivage, tandis que la citadelle en occupait le sommet au point le plus élevé. La croissance de la ville dans cette époque est marquée par sa concentration vers le palais du dey, les principaux marchés et les mosquées.

7 : Ravéreau André, 1989, La Casbah d'Alger, et le site créa la ville, éditions Sundbad, Paris, 232p.

8 : Merrad Djamel, 2012. *Evaluation de la qualité environnementale dans le secteur sauvegardé*, cas d'étude « La Casbah d'Alger ». Thèse de Magister : Architecture et environnement. EPAU, Alger, 169p.

Le 19^e siècle était marqué par la grande défaite navale que les trois flottes algérienne, égyptienne et ottomane ont récoltée durant la célèbre bataille de Navarin en 1827. La flotte algérienne a été en grande partie endommagée et n'a pu depuis refaire surface. Tous ces événements et d'autres encore, ont contribué à affaiblir la régence d'Alger et en firent une proie facile dont la France n'eut aucune peine à se saisir en 1830.

4.3.5. Période coloniale :

Avec l'occupation française, plusieurs modifications ont été faites à cause du colonisateur qui a détruit la basse casbah pour construire des quartiers européens donnant directement sur la mer, tandis que la partie haute reste pour les Algériens.

Dès les premières semaines qui suivirent l'occupation les troupes militaires organisèrent une grande campagne de démolition qui visait toute la partie basse de la ville jusqu'au quartier de la marine, pour y établir une place d'armes. La destruction fut si rapide et si complète, que les premiers relevés cartographiques d'Alger vinrent trop tard pour l'enregistrement de l'état de la ville avant 1830.

La ville européenne sera construite coup par coup, suivant les besoins du moment, déterminant ainsi la configuration de la future capitale Algérienne. Les municipalités Algéroises intervinrent peu dans le développement de la ville d'Alger entre la conquête et la fin des années 1920, laissant le plus souvent l'initiative aux services de l'état et surtout aux acteurs privés⁹.

L'évolution historique de la casbah d'Alger prouve que cette médina est aujourd'hui le fruit de plusieurs intervenants et le résultat de diverses préoccupations et vocations. Pour cela, la période ottomane est peut être considérée comme la période la plus remarquable, car cette période est pratiquement la dernière dans le processus de croissance et de développement de cette ville.

4.4. Situation de la mosquée Ali Betchine :

La mosquée Ali Betchine est l'une des plus anciennes mosquées datant de l'empire ottoman que compte Alger. Elle est située en contrebas de la vieille cité (fig18), entre la rue **Mohamed Souilah** et la rue **Bab-El-Oued** (Place des Martyrs).

9 : Merrad Djamel, 2012. *Evaluation de la qualité environnementale dans le secteur sauvegardé*, cas d'étude « La Casbah d'Alger ». Thèse de Magister : Architecture et environnement. EPAU, Alger, 169p.

La mosquée Ali Betchine est classée monument historique en 1947, son classement se verra reconduit dans la liste de 1967. Toutefois, ce n'est qu'en 1986 que l'UNESCO finira par donner à Ali Betchine sa dimension culturelle universelle¹⁰.



Fig 17 : La carte de la wilaya d'Alger.
Source : Google image, 2015.






Fig 18 : Vue aérienne sur la Casbah d'Alger.
Source : Google image, 2015.

La mosquée Ali Betchine est desservie par les deux rues (fig19) : La rue Bab-El-Oued et la rue Mohamed Souilah (appelée anciennement la rue la Casbah). On accède au niveau de la mosquée par deux escaliers donnant sur les mêmes rues.



Fig 19 : Vue aérienne sur la mosquée Ali Betchine.
Source : Google Earth, traité par l'auteur, 2015.

Légende :

-  La rue Bab-El-Oued
-  La rue Mohamed Souilah
-  La mosquée Ali Betchine

4.5. Historique de la mosquée Ali Betchine :

4.5.1. L'origine du nom « Ali Betchine » :

La mosquée Ali Betchine porte le nom de corsaire vénitien « *Piccinini* », un grand négociant italien converti à l'islam au mois de radjeb de l'an 1032 de l'hégire (1622) après J-C. Selon Klein, c'était un grand amiral de la flotte algérienne entre 1630 et 1646.

¹⁰ : Revue Vies des Villes n°10, 2008.

Il est venu volontairement à Alger pour exercer son métier d'armateur de navires destinés à la course qu'il pratiquait déjà dans l'Adriatique. D'autres sources signifient qu'il aurait été d'abord un captif chrétien, affranchi et converti ensuite à l'islam par *Hadj Mustafa Ben Qara Ali*. Différents documents établissent qu'il était le chef de *Ta'ifat al-Riyyas*. Ce poste le plaçait au premier rang sur la scène politique, puisqu'il était considéré comme « *gouverneur et capitaine général de la mer et terre* ».

Après avoir embrassé la religion musulmane, *Piccinini*, devenu « *Ali Betchine* », convole en justes noces, avec la fille du sultan de « *Koukou* » (roi berbère). En 1622, quelque temps après sa reconversion à l'islam, Ali Betchine fait construire cette mosquée sur l'emplacement d'un ancien bague d'esclaves chrétiens. Il se fait aider par l'un de ses amis armateurs, « *Fath Allah Ben Khodja* »¹¹.

Juste au-dessus de ce temple de la période ottomane, existaient jadis trois autres édifices religieux : la mosquée *El-Akhdar*, la mosquée *Fouk-Ali-Betchine* et la mosquée *Akhermimoun*. Elles furent démolies dans les années 1840. Selon Venture de Paradis, un voyageur du XVIIIe siècle, Alger comptait douze grandes mosquées avec minbars (chaire) et minarets ainsi que de nombreux « *Mesdjids* » (édifices religieux). Au début du XIXe siècle, El Djazaïr possédait environ 159 mosquées, dont la plupart furent détruites¹².



Fig 20 : Le minaret de la mosquée avant l'intervention française, 1860.
Source : Livre Les Mosquée d'Alger, page 91.

11 : Chergui Samia, 2011, *Les mosquées d'Alger ; construire, gérer et conserver (XVI-XIX siècles)*, 1ere éd., P U De Paris-Sorbonne, Paris, 371p.

12 : Dokali Rachif, 1974, *Les Mosquées de la période turque à Alger*, 1ere éd., 1ere éd., SNED, Alger, 127p.

Concernant la dotation de la mosquée, l'acte passé devant le *cadi* hanéfite au milieu de *rajab* 1031, fin mai 1622, soit une année avant sa construction, vers 1032/1623-1624, signale qu'Ali Betchine déclare constituer en *habus* la totalité de la maison lui appartenant, ainsi que son *funduq* et dix-sept de ses boutiques. L'acte stipule ensuite sous la rubrique relative aux conditions accompagnant la *waqfiya* que les biens immobiliers susmentionnés seront équitablement partagés entre leurs destinataires définitifs : une moitié des biens-fonds revient à la propre institution *habus* de la mosquée que le fondateur compte construire, tandis que l'autre est cédée pour le compte des *Haramayn*¹³.

Deux siècles plus tard, les biens grevés au nom de la mosquée à prône ont sensiblement augmenté et se sont largement diversifiés. Le premier recensement de la propriété immobilière à Alger, établi dès le début de la colonisation en 1834, en donne la composition qui suit : une terre, trois maisons, trois chambres, dix-sept boutiques, un four, Hammam (Ali Betchine appelé tardivement Hammam *Kushat al-Nasara*), un moulin et un *funduq*. Ces deniers avaient drainé à cette date des revenus de l'ordre 1610,15 et avaient occasionné des dépenses évaluées à 744,40. La gestion de cette dotation qui prévalait d'une autonomie totale constituait un fait rare pour les mosquées ottomanes de rite hanéfite. Elle revenait à un *wakil* placé à la tête d'un personnel religieux important qui était formé d'un imam, d'un *mu'adhin* au minaret, d'un *hazzab* (lecteur de versets coraniques), d'un *khatib*, de trois *mu'adhinin* pour l'intérieur, d'un *bash mu'adhin* et enfin d'un balayeur (*kannas*) assurant l'entretien de la mosquée et de ses dépendances.



Fig 21 : La rue Bab-El-Oued, la mosquée Ali Betchine, la porte Bab-El-Oued en 1834.
Source : Google image <http://jf.vinaccio.free.fr/site0201/alg02013/alg00112.html>, Décembre 2015.

Durant la période coloniale, la mosquée Ali Betchine a subi plusieurs modifications et d'autres affectations.

13 : Albert Devoulx, 1870, les édifices religieux de l'ancien Alger, 1^{re} éd., Extrait de La revue Africaine, Paris, 265 p.

4.5.2. La reconversion de la mosquée à une église sous l'appellation « Notre Dame des Victoires »¹⁴:

Dans la période de colonisation française, la mosquée était utilisée comme pharmacie par l'armée française. Puis, servira d'église sous le nom de «*Notre Dame des Victoires*», de 1843 à 1962 (fig22). On y aménagea alors une lourde cloche qui ne manqua pas d'endommager le minaret.

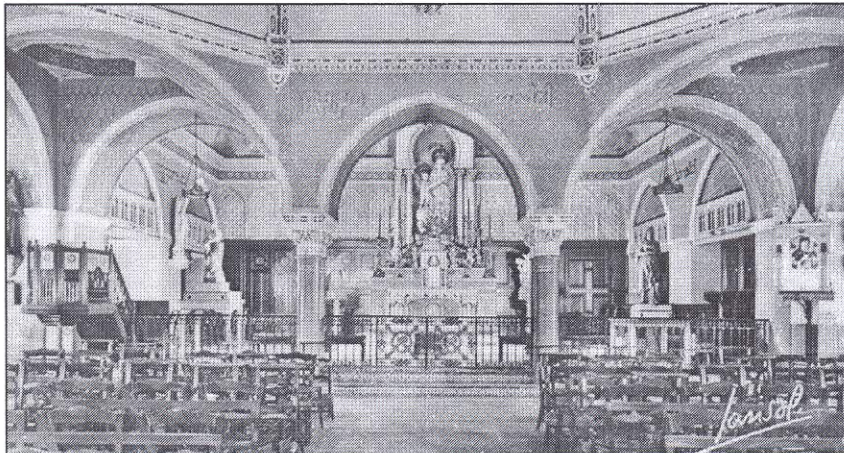


Fig 22 : L'intérieur de l'église Notre Dame des Victoires, 1953.

Source : Google image, http://alger-roi.fr/Alger/rue_bab_el_oued/pages_liees/4_ndvictoires_interieur293.htm, Décembre 2015

En 1948, la conservation de l'église Notre Dame des victoires était prévue au plan de reconstruction du quartier de la Marine (fig23). C'est ce qui a motivé l'inflexion de la rue Bab-el-Oued élargie. Il était demandé de compléter les dispositions prévues de façon à mettre cet édifice en valeur, par l'étude du plan de masse et des volumes autour de l'église, et le parti architectural donné à cet entourage.

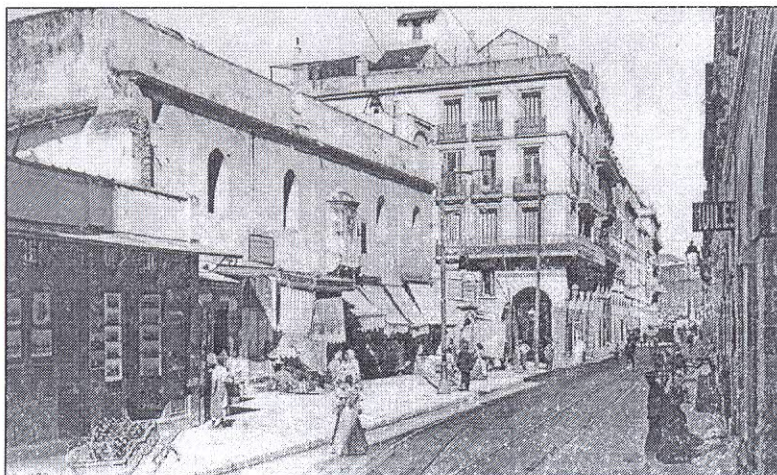


Fig 23 : L'église Notre Dame des Victoires en transformation (1910)

Source : Google image <http://aigeroisementvotre.free.fr/site1000/alger00/alger021.html>,
Décembre 2015.

14 : Albert Devoulx, 1870, les édifices religieux de l'ancien Alger, 1ere éd., Extrait de La revue Africaine, Paris, 265 p.

4.5.3. Plan de masse :

La mosquée Ali Betchine a subi de très importants remaniements, la destruction de la partie supérieure du Minaret, l'entrée par la rue Bab-el-Oued, alors que l'ancienne entrée était sur la rue de la Casbah.

Il a paru possible de rendre à l'ancienne entrée son importance par l'adjonction d'une placette sur le côté nord de l'édifice. La forte dénivellation de la pente a été réduite par un talus planté. Vu de la rue Bab-el-Oued, l'édifice se présenterait de trois quarts, ce qui en rendrait les volumes les plus expressifs.

Les constructions sur la rue Bab-el-Oued sont prévues à six étages. Il était désirable de les retourner sur la rue Charlemagne et la rue de la Casbah, pour faire régner les horizontales, supprimer les mitoyens aveugles et accuser franchement le parti de la place encadrant l'église. Les fortes rampes de ces deux rues conduiront à une réduction du nombre d'étages dans la partie haute¹⁵.

Sur le côté ouest qui domine l'église suivant le relief et dont les bâtiments sont plus rapprochés, ils ont adopté trois étages sur rez-de-chaussée. Pour donner à l'ensemble de la place plus de continuité, les rues Charlemagne et de la Casbah ont été enjambées par des constructions.

Un décrochement dans les bâtiments du fond a été prévu en plan et en élévation, sur la rue de la casbah. En plan pour faciliter l'éclairage et la distribution des locaux. En élévation pour faire régner les horizontales du fond avec chacun des côtés latéraux adjacents qui comportent une différence de niveau (1m20).

Notre Dame des victoires, une fois dégagée par l'élargissement de la rue Bab-el-Oued et la création de la placette, se présentera comme un bloc assez trapu, blanc, peu percé mais assez fortement silhouetté par ses décrochements, son minaret et sa coupole.

4.6. Description de la mosquée Ali Betchine :

La mosquée Ali Betchine possède une grande salle de prière de forme carrée, située à cinq mètres du niveau des rues voisines, repose sur un groupe important de magasins voûtés. On accède, au niveau de la mosquée par deux escaliers donnant l'un sur la rue Bab-el-Oued, l'autre sur la rue la Casbah.

15 : Les archives de la bibliothèque ottomane de Bastion 23, Alger.

La salle de prière est surmontée d'une coupole centrale octogonale construite sur quatre piliers épais et des colonnes en paires (sous chaque arc, il existe deux colonnes, une en tuf et une en pierre), se trouvant dans la cour centrale. Cette cour est entourée de trois galeries couvertes de vingt petites coupoles.

Le minaret qui forme l'angle des rues Bab el Oued et de la Casbah s'élevait autrefois à une hauteur d'environ 26m¹⁶, il n'en subsiste au lendemain de la conquête française que la tour de base, qui ne dépasse plus guère 15m de haut. Sa face ouest est encore flanquée de nos jours de la fontaine (fig 24) dite d'*Ain- ech-Châra*.



Fig 24 : La fontaine sur la façade de l'église Notre Dame des Victoires.

Source : Google image, <http://algeroisementvotre.free.fr/site1000/alger00/alger021.html>,
Décembre 2015.

De par sa forme et sa construction, le minaret se rattache à un type local des plus simples, une tour carrée qu'aurait surmontée un lanternon carré, qui furent défigurés dans leur ensemble lors de leur reconversion coloniale.

Les points d'appui, entre la coupole et les galeries, sont constitués par des piliers cruciformes, situés aux quatre angles de la salle de prière. Des coupolettes, à base octogonale épaulent la coupole centrale et complètent la couverture du carré central et en occupant les quatre angles de la calotte octogonale. Entre les piliers d'angles et sur chaque face de la salle carrée, se trouvent quatre colonnes en ciment groupées par deux. Les piliers et les colonnes reçoivent des arcs brisés, situés au-dessus de la grande coupole. Les arcs séparent la salle de prière des galeries qui l'entourent sur ces quatre côtés. Les galeries sont couvertes de coupolettes, à base octogonale, reliées au carré de base par des pendentifs, et qui sont séparées par des doubleaux. (fig 25)

16 : Albert Devoulx, 1870, les édifices religieux de l'ancien Alger, 1ere éd., Extrait de La revue Africaine, Paris, 265 p.

On note simplement que les piliers d'angles sont remplacés par seize colonnes, groupés par quatre à chaque angle. D'autre part, les galeries qui bordent le carré central ne sont pas couvertes totalement par des coupolettes. Celles-ci n'apparaissent qu'aux angles des galeries, et en avant du mihrab, le reste est couvert par des voûtes d'arêtes. Des berceaux surbaissés remplacent les coupolettes et complètent la couverture du carré central¹⁷.

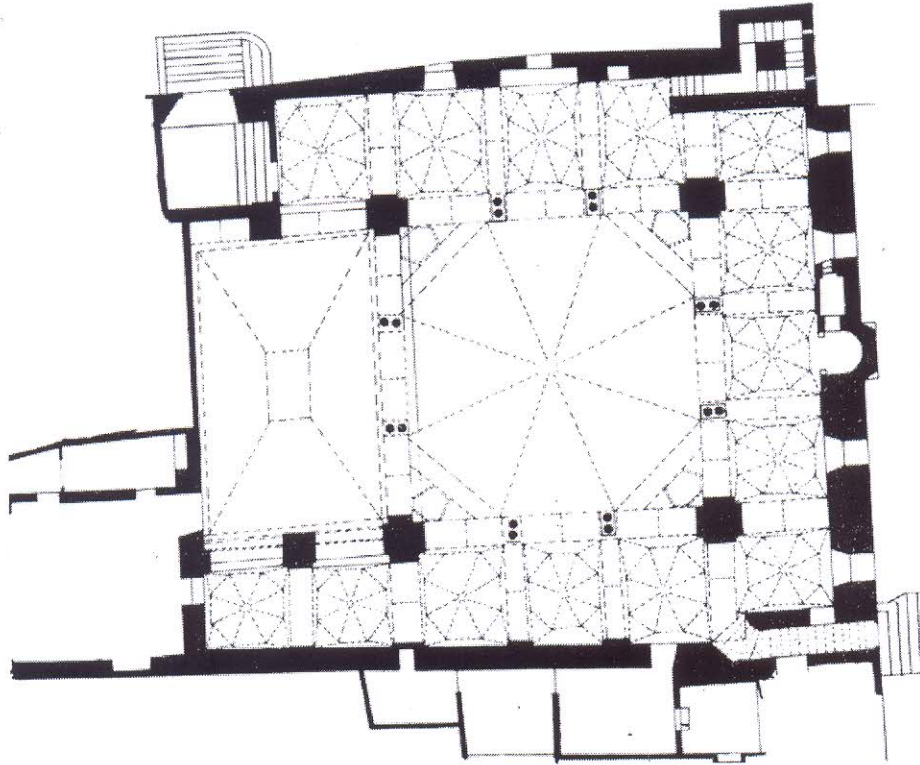


Fig 25 : Plan de la mosquée Ali Betchine

Source : <http://www.agoravox.fr/culture-loisirs/extraits-d-ouvrages/article/recit-d-emanuel-d-aranda-esclave-98442>, Décembre 2015

Le système de transition entre le grand carré et la coupole centrale est assez particulier, il se réalise par le biais de trois arcs brisés définissant des petites coupoles hexagonales. Cette transition a été reproduite pour la mosquée du Dey à la Citadelle d'Alger¹⁸. (Voir annexe 02)

Cet intérieur était blanchi à la chaux et n'offrait aucune décoration. A droite, en entrant par la rue de la Casbah, en face du mihrab et sur le côté dépourvu de galerie, se trouvait une cour à ciel ouvert renfermant quelques arbres et un jeu d'eau. C'est dans cette partie, qu'ont été installés le chœur et la sacristie de l'église N. D. des Victoires¹⁹.

17 : Albert Devoulx, 1870, les édifices religieux de l'ancien Alger, 1ère éd., Extrait de La revue Africaine, Paris, 265 p.

18 : Driouèche-Djaalali Nadjiba-K, 2012. Les coupoles d'al-Djaza'ir de l'époque ottomane (XVIe – XIXe). Thèse de doctorat: Architecture et environnement. Epau, Alger, 356p.

19 : Les archives de la bibliothèque ottomane de Bastion 23, Alger.

Si le minaret n'a été que partiellement dérasé en 1860, les latrines et les lieux d'ablutions ont été en revanche entièrement démolis. Leur emplacement a été englobé, selon *Devoux*, dans l'habitation portant le n°2 de la rue de la Casbah.

La façade septentrionale, donnant sur la rue de la Casbah, et percée de trois fenêtres ogivales, contient au rez-de-chaussée neuf boutiques dont sept seulement sont apparentes aujourd'hui, et la grande porte d'entrée que quatre marches assez larges relie à la nef. Cette issue est actuellement clôturée par une porte sculptée, d'un assez joli travail, qui appartenait primitivement à la mosquée *Ketchaoua*, et qui a été placée là par les Français en 1843. Au-dessus de la rosace médiale de chacun des deux battants de cette porte, on lit la phrase suivante, qui se détache en relief comme le reste de l'ornement « ما شاء الله », que la volonté de Dieu s'accomplisse. On attribue ces sculptures au maître « *Ahmed ben Lablabtchi* » le responsable de la corporation des menuisiers²⁰.

Sur le plan architectural, l'édifice religieux est considéré parmi les premières et authentiques typologies de mosquées ottomanes actuellement subsistantes. Sa superficie s'étend sur environ 500m².

4.7. Conclusion :

Ali Betchine est l'une des plus anciennes mosquées de la ville d'Alger de la période ottomane. Classée monument historique en 1947 à l'échelle nationale. En 1986, l'UNESCO a donné à Ali Betchine sa dimension culturelle universelle.

Ce classement de la mosquée a fait que l'édifice bénéficie actuellement d'une protection qui empêche tout remaniement architectural majeur dans le but de le protéger et le conserver.

La mosquée Ali Betchine a subi plusieurs transformations pendant la colonisation française, elle a été utilisée comme pharmacie par l'armée, puis elle servira d'église sous l'appellation « Notre Dame des Victoires » de 1843 à 1962. Après l'indépendance du pays, cette église a été reconvertie en mosquée. On peut suivre l'évolution de la protection du patrimoine en Algérie, et cela après une période de suivi par les premières réglementations propres au pays en matière de protection du patrimoine. On remarque qu'une prise de conscience du patrimoine architecturale du pays commençait à voir le jour.

La mosquée Ali Betchine a subi des travaux de restauration qui ont pris fin en septembre 2010 après plus de douze années de fermeture aux fidèles.

20 : Kerdoune Aïcha, 2011, *Les Mosquées historiques de la ville d'Alger*, 1ère éd., Alpha Editions, Tlemcen, 256 p.

Chapitre 5 : ETAT DES LIEUX DE LA MOSQUEE ALI BETCHINE AVANT LA RESTAURATION :

5.1. Introduction,

5.2. Diagnostic pathologique,

5.2.1. Espaces voûtés du sous-sol (magasins),

5.2.2. Espaces annexes du sous-sol (La salle d'ablutions et les sanitaires),

5.2.3. Dépôt,

5.2.4. Salle de prière (niveau RDC) ,

5.2.5. La Sedda des femmes,

5.2.6. Le mihrab,

5.2.7. Le minaret,

5.2.8. La terrasse,

5.2.9. Les façades,

5.3. Dossier graphique de la mosquée Ali Betchine,

5.4. Conclusion.

5.1. Introduction :

Le présent chapitre a pour objectif l'élaboration d'un diagnostic détaillé sur l'état des lieux de la mosquée Ali Betchine avant les travaux de restauration. Ce diagnostic comprend la description détaillée par espace et par corps d'état de toutes les altérations visibles sur les structures de l'édifice, ainsi que l'identification des causes ayant entraîné l'apparition ou l'aggravation de ces dommages.

Le bureau d'étude « **Atelier 3D Dimensions** » qui été chargé des travaux : études et suivi du chantier de restauration, et d'après ces recherches approfondies sur la mosquée, a pu collecter des informations précises (système constructif et structurel, techniques de mise en œuvre et des matériaux utilisés...) qui sont la base de ce diagnostic.

5.2. Diagnostic pathologique :

5.2.1. Espaces voûtés du sous-sol (magasins) :

L'humidité dans les murs due aux remontées capillaires à partir du sol, a causé des fissures dans les murs, ainsi que le décollement de la couche de peinture. (fig26)



Fig 26 : Fissures et décollement de la couche de peinture sur les murs, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

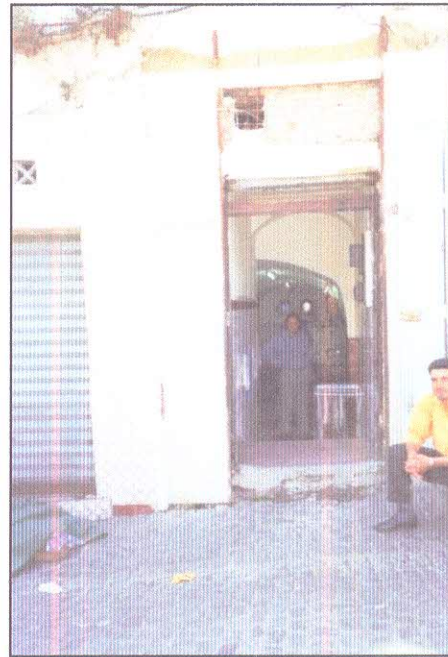


Fig 27 : Dégradation des murs porteurs au niveau des boutiques, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

La mauvaise ventilation ainsi que la proximité de la fontaine -dont le réseau d'évacuation des eaux est défaillant- à ces espaces qui ne possèdent pas d'ouvertures, sont des facteurs qui ont augmenté le degré d'humidité ayant causé la dégradation des murs et du coup la diminution de la résistance de la structure de l'édifice.

L'enduit en plâtre s'est fissuré et détaché en plusieurs endroits sur les murs et la voûte. Le plâtre étant vulnérable à l'humidité présente dans les structures s'est fortement altéré sur de grandes surfaces. (Source : Atelier 3D Dimensions)

5.2.2. Espaces annexes du sous-sol (La salle d'ablutions et les sanitaires) :

Dans ces espaces, la présence des fissures et le décollement de la peinture sur les murs et sous les plafonds en plusieurs endroits, à cause des infiltrations des eaux pluviales. (fig28, 29)



Fig 28 : L'accès aux sanitaires, la dégradation des murs, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions



Fig 29 : Salle d'ablutions, détails sanitaires, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

Ainsi, le décollement de carreaux de faïence sur le mur Est de l'espace sanitaires. (fig30)

La présence des fissures structurelles (fig31) sur les murs de clôture, se prolongent sur les bancs et atteignent le sol, à cause des affaissements partiels de ce dernier aux endroits fissurés dont les infiltrations des eaux est la cause principale.



Fig 30 : Le décollement de carreaux de faïence sur murs, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

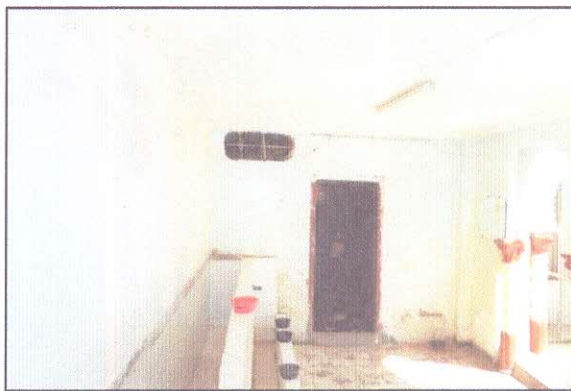


Fig 31 : Salle d'ablutions, la présence des fissures, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

Cependant, il faut surtout signaler que les W.C turques sont obstrués en permanence (fig32), de même que les urinoirs (fig33). Cette défaillance a engendré la fermeture de ces salles par les gestionnaires de la mosquée.



Fig 32 : W.C turque complètement obstrué, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions



Fig 33 : Urinoir obstrué, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

5.2.3. Dépôt :

Sur le mur Ouest de cet espace, les enduits présentent des boursouflures sur toute la surface. (fig34) Cette partie étant enterrée, sans protection adéquate, reçoit de grandes quantités d'eau par infiltration à partir du terrain mitoyen.



Fig 34 : Dégradation des murs de l'espace dépôt, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

5.2.4. Salle de prière (niveau RDC) :

La grande coupole octogonale qui couvre cet espace présente plusieurs fissures structurales de différents types :

- Le premier type de fissures est présent sur les clés des 4 arcs obliques par rapport au mur du mihrab, qui se prolongent sur les pans de la coupole, presque jusqu'au sommet (fig 35).

Ces fissures ne sont pas très larges, mis à part celle de l'arc Sud-Est qui est plus importante que les autres.



Fig 35 : Fissures dans les clés des voûtes, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

- L'autre type de fissures est présent sur les 4 autres pans de la coupole, se prolongeant verticalement jusqu'au sommet. La largeur de ces fissures n'est pas très importante.

- La peinture s'est décollée aux limites de la coupole.

Notons aussi le décollement de quelques carreaux du revêtement de sol en marbre.

- Des fissures structurelles légères sont présentes sur les clés des arcs qui séparent les espaces entre eux et avec l'espace central de la salle de prière.
- D'autres fissures structurelles de même degré démarrent des murs et des arcs d'appui des coupolettes et s'étendent jusqu'aux bases de celles-ci sans les dépasser.
- Un autre type de fissures plus importantes est présent sur les arcs de support des coupolettes. Ces fissures traversent la coupolette et rejoignent l'arc de support opposé. D'autres, s'étendent en hauteur jusqu'au sommet de la coupolette.

Des désordres structurels ont été relevés se présentent comme suit :

- Des fissures verticales légères sont présentes sur le mur Est, démarrant du sol jusqu'à l'allège des fenêtres.
- Une autre fissure verticale est présente sur le mur Sud, démarrant du sol et allant jusqu'à la corniche.
- Des fissures structurelles légères démarrent des arcs supportant les coupolettes, et s'étendent jusqu'à leurs bases, d'autres sont présentes sur les pans des coupolettes.

- Des fissures structurelles importantes ayant une direction verticale sont présentes sur le mur de la façade Nord. Elles démarrent du sol de la salle de prière et se prolongent en hauteur jusqu'aux allèges des fenêtres. Ces fissures traversent toute l'épaisseur du mur et sont visibles à partir de la façade. (fig36)



Fig 36 : Les fissures visibles de la façade Nord, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

Ces désordres sont probablement dus au vieillissement des maçonneries accentués par l'infiltration des eaux pluviales à travers les planchers terrasse.

Selon « l'Atelier 3D Dimensions » l'ensemble des fissures décrites plus haut, sont apparues après le séisme de 1989. Ces fissures restent toutefois présentes malgré des colmatages et réparations exécutés postérieurement.

En effet, même si l'apparition de ces fissures est attribuée au séisme, il ne peut être cependant la seule cause de ces désordres. Ceux-ci sont dus à la conjugaison de plusieurs facteurs ayant entraîné l'affaiblissement des structures et la diminution de la résistance des maçonneries par rapport aux contraintes statiques et dynamiques.

En effet, des transformations opérées sur les espaces voûtés au-dessous de la salle de prière, sont matérialisées par la création de nouveaux espaces en creusant dans l'épaisseur des murs d'appui des voûtes, ce qui engendra des déséquilibres dans la transmission des charges.

La disparition d'anciens espaces qui étaient adossés à la façade Nord de la mosquée au niveau de la salle de prière, et qui constituaient à l'origine un contreventement de la bâtisse, créant des poussées au vide.

Un autre facteur influant dans l'affaiblissement des structures est l'infiltration des eaux pluviales à travers les couches de protection défectueuses des terrasses et des murs, qui provoque la désagrégation des maçonneries.

Ajoutant à cela, quelques dégradations d'enduit (décollement) sur le jambage de la fenêtre et des boursoufflures d'enduit sur le mur de la salle de prière, ainsi que le décollement de peinture sur le soubassement du mur Nord. Ceci est probablement dû à la défection de la conduite d'évacuation des eaux pluviales de la terrasse provoquant l'infiltration des eaux dans les murs.

Ces facteurs combinés ont contribué à rendre les structures de la mosquée fragiles et vulnérables aux sollicitations sismiques.

A noter que, la verrière est mal scellée à la coupole (fig37), cela a causé l'infiltration des eaux de pluie, qui se propagent sur les parois, mèneront à la dégradation de la couche de peinture sur les pans de la coupole. Cette peinture s'est décollée aussi sur le soubassement du mur Ouest. (La présence des traces d'humidité, provenant du sol par capillarité).

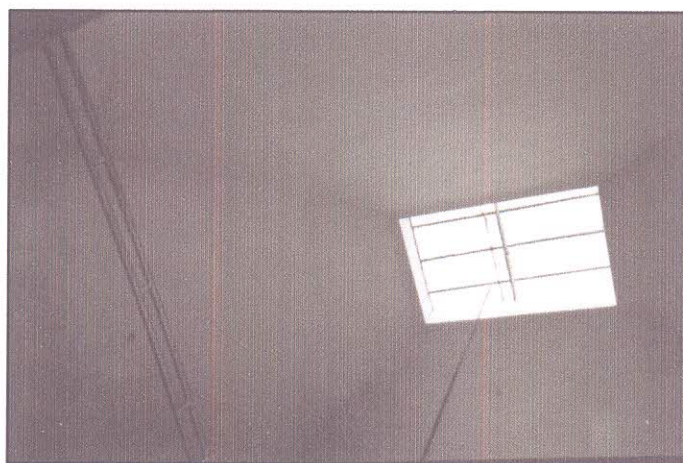


Fig 37 : La verrière de la coupole, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

5.2.5. La Sedda des femmes :

Des fissures structurelles verticales, légèrement inclinées sont présentes sur les angles Nord-Ouest et Sud-Est de l'espace. Elles démarrent à 1,50m au-dessus du sol et se prolongent en hauteur jusqu'au plancher de la sedda et s'accroissent en haut.

Plusieurs carreaux de revêtement de sol en marbre sont brisés, et un des carreaux a disparu.

La couche de peinture est fissurée et décollée sur le faux-plafond. Notons la présence des traces d'infiltration des eaux sur le faux-plafond au-dessus des marches.

5.2.6. Le mihrab :

Une fissure structurelle verticale est visible sur le mur de la niche du mihrab (fig38), causant des fissures dans le revêtement mural en faïence et la disparition de quelques fragments de carreaux. (Voir annexe 03).



Fig 38 : La présence des fissures au niveau de mihrab, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

5.2.7. Le minaret :

Le minaret qui a été amputé de sa partie supérieure en 1860, est la partie qui a subi les désordres statiques les plus importants localisés au sommet (fig39). La terrasse qui a été couverte (avant les travaux de restauration) par la TN40 est fixée sur une structure métallique.



Fig 39 : Dégradation du haut du minaret, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

Selon « l'Atelier 3D Dimensions », à cet endroit, des fissures horizontales larges et profondes sur les murs périphériques et le noyau central (fig40), traversent toute l'épaisseur du minaret (au-dessus de la terrasse). La cause de ces désordres est la couverture en TN40, qui non seulement n'assure pas une bonne protection contre les eaux pluviales, mais provoque (à cause de sa structure métallique encastrée dans les murs) des contraintes de traction sur la maçonnerie dues à ses mouvements lorsqu'elle est balayée par les vents. Cela a créé des fissures qui favorisent l'infiltration des eaux, et qui s'accroissent de plus en plus jusqu'au point de rompre la cohésion de la structure se décomposant en blocs de maçonnerie détachés les uns des autres.



Fig 40 : Terrasse du minaret, dégradation des murs, 2001.
 Source : Atelier 3D dimensions

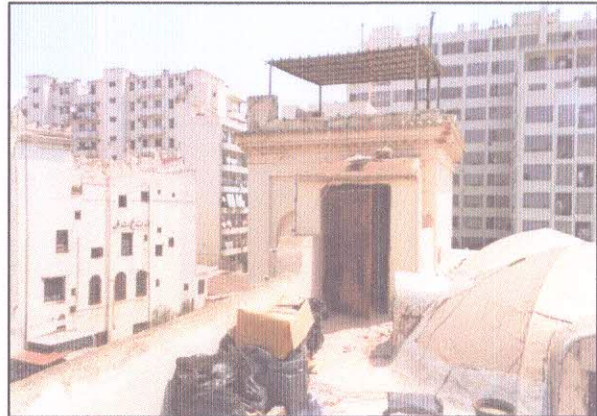


Fig 41 : Minaret Vu côté Est, 2001.
 Source : Atelier 3D dimensions

A noter également que :

- La structure métallique est complètement rouillée.
- La dégradation du plancher en bois près de l'accès à la terrasse, se manifeste par le pourrissement des solives et du voligeage du plancher.
- Les couches de peinture sont altérées par endroits sur les murs intérieurs et extérieurs du minaret.

5.2.8. La terrasse :

- Le décollement de l'étanchéité en paxalumin sur les bases de la quasi-totalité des coupolettes.
- La vitre de la verrière de la coupole à 4 pans est brisée, ce qui cause les infiltrations des eaux pluviales dans la salle de prière.



Fig 42 : Prolifération d'arbuste sur la terrasse, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

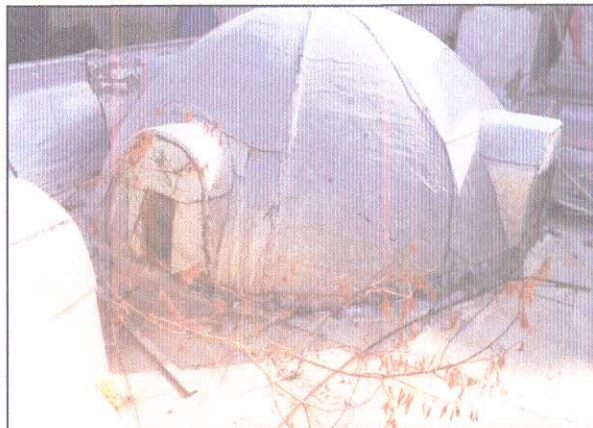


Fig 43 : Coupolette envahie par les herbes, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

5.2.9. Les façades :

5.2.9. a. Façade Nord : (fig 44)

Sur cette façade, des fissures structurelles légères ont été relevées, localisées comme suit :

- Une fissure verticale démarrante au-dessus de l'ouverture d'une boutique qui s'étend vers le haut jusqu'à l'angle inférieur Est de la fenêtre du milieu. Redémarre ensuite de la clé d'arc de la fenêtre jusqu'au-dessous de la corniche de la façade.
- Une autre fissure verticale démarre au-dessus de l'ouverture d'une boutique, et se prolonge vers le haut jusqu'à l'angle inférieur Ouest de la fenêtre Est. Deux autres fissures démarrent de l'arc de cette fenêtre. Une se prolonge jusqu'à la corniche, l'autre s'arrête plus bas.
- Une autre fissure, verticale légèrement inclinée traverse de bas en haut l'angle situé entre la façade et le minaret.
- Ces fissures sont de même nature que les désordres statiques relevés sur ce mur à l'intérieur de la mosquée et sont causées par les mêmes facteurs que ceux cités plus haut.
- D'importantes surfaces sur les murs présentent des fissures et décollement de peinture, ainsi que des fissures d'enduit en plusieurs endroits de la façade.
- De mauvaises herbes poussent à l'intérieur de la maçonnerie sur la terrasse de la fontaine et au-dessus des boutiques à l'Est de la façade. **(Source : Atelier 3D Dimensions)**

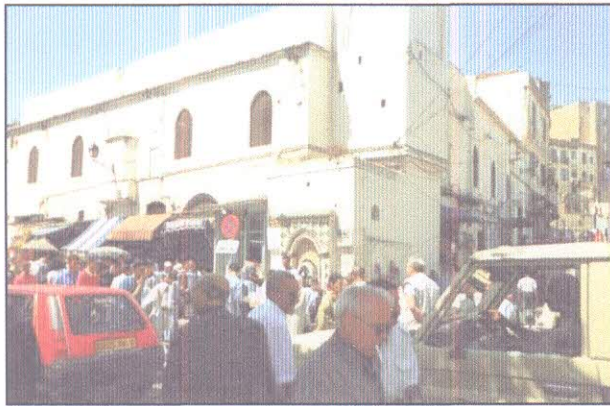


Fig 44 : Façade Nord-Est, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions



Fig 45: Façade Nord (La rue de la Casbah), 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

5.2.9. b. Façade Est : (fig 46)

Plusieurs fissures structurelles légères sont présentes sur les murs de cette façade :

- Deux fissures verticales sont localisées sur le haut du mur de la fontaine.
- Des fissures verticales légèrement inclinées se situent au-dessus des arcs des fenêtres et s'étendent vers le haut jusqu'à la corniche.
- Des fissures verticales et d'autres horizontales parcourent le mur du mihrab.
- Des fissures verticales et horizontales traversent le mur Est clôturant la cour.

Notons également des fissures d'enduit sur tous les murs de la façade, ainsi que le décollement de peinture au niveau du soubassement de la fontaine.

Des poussés de mauvaises herbes sont relevées sur la terrasse de la fontaine (fig 47), ainsi sur la corniche de la façade.

5.2.9. c. Façade Sud :



Fig 46 : Façade Est. 2001.
Source : Atelier 3D dimensions

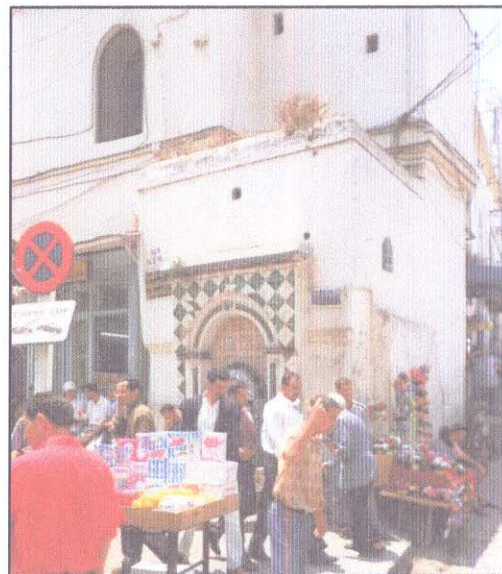


Fig 47: La présence des herbes sur la terrasse de la fontaine, 2001. Source : Atelier 3D dimensions

Sur cette façade, n'ont été relevés que des dégradations touchant les corps de second œuvre :

- Décollement de peinture sur les murs.
- Poussé de végétation sur les gouttières.
- Pourrissement d'un madrier de charpente sur la partie Ouest de la façade.



Fig 48: L'angle Sud-Est de la mosquée, 2001.
Source : Atelier 3D dimensions



Fig49 : La présence des herbes sur la terrasse de la fontaine, 2001. Source : Atelier 3D dimensions

5.3. Le dossier graphique de la mosquée Ali Betchine :

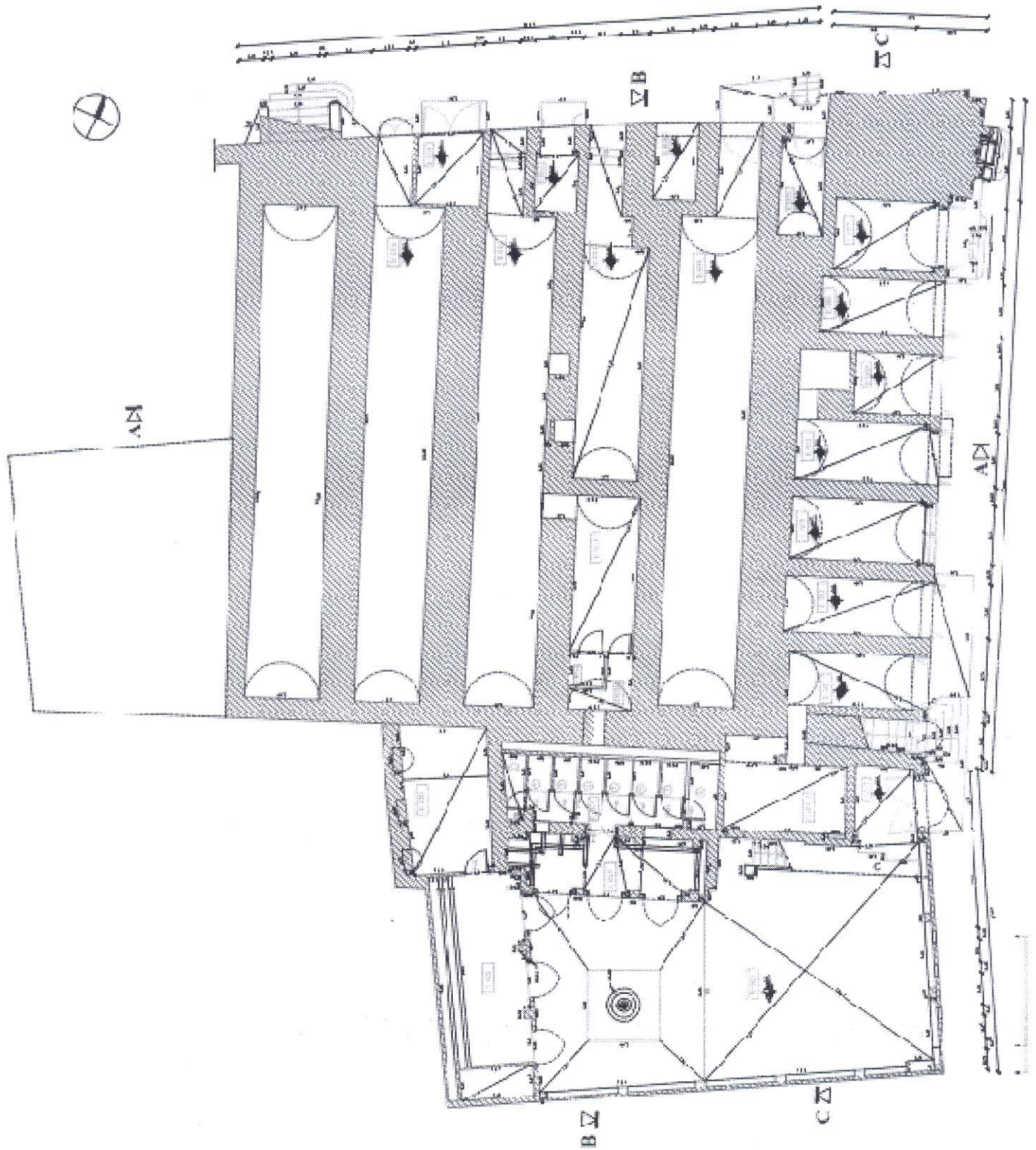


Fig 50 : Plan sous-sol de La mosquée Ali Betchine
 Source : Atelier 3D dimensions

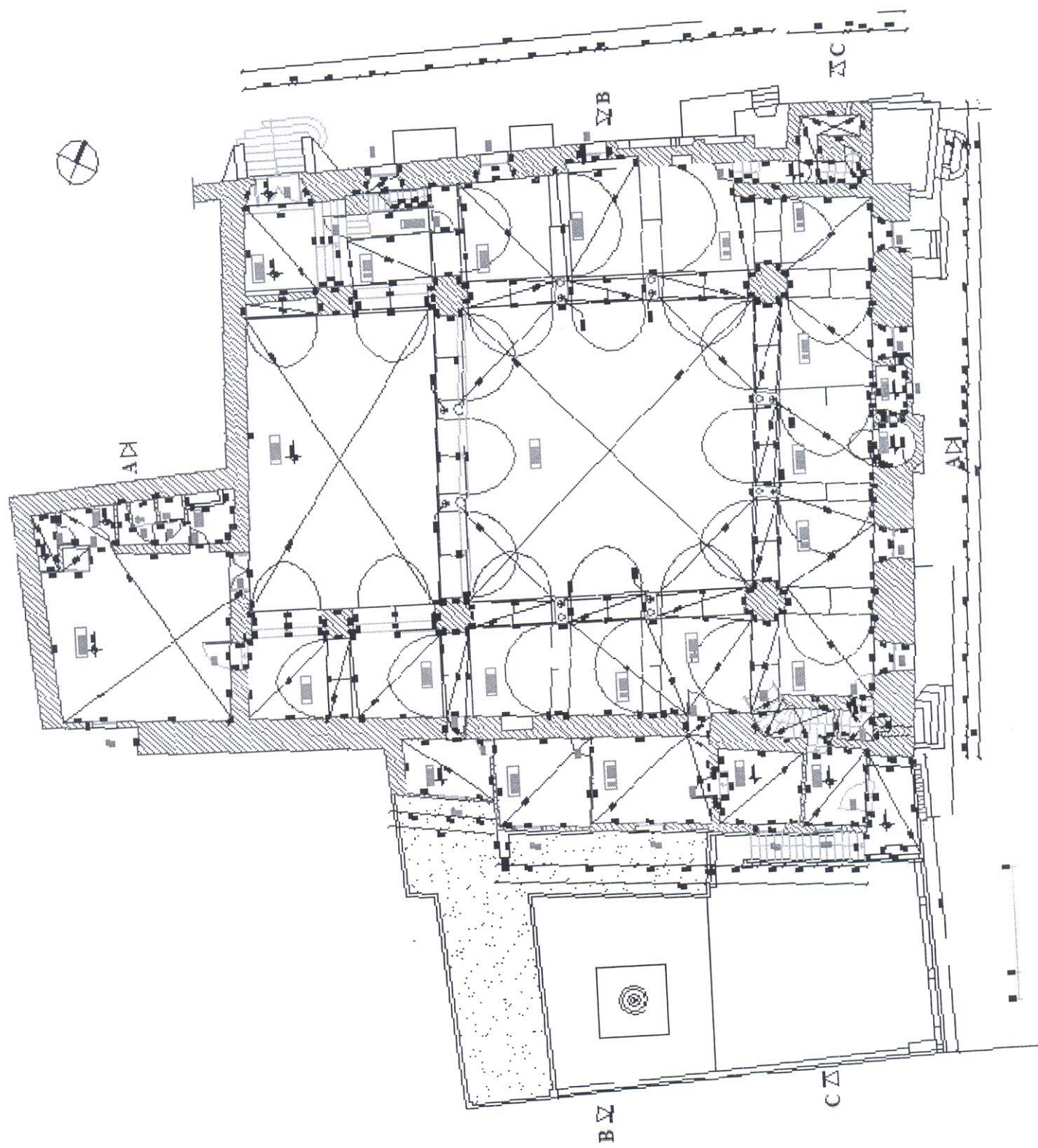


Fig 51 : Plan R.D.C de La mosquée Ali Betchine
Source : Atelier 3D dimensions

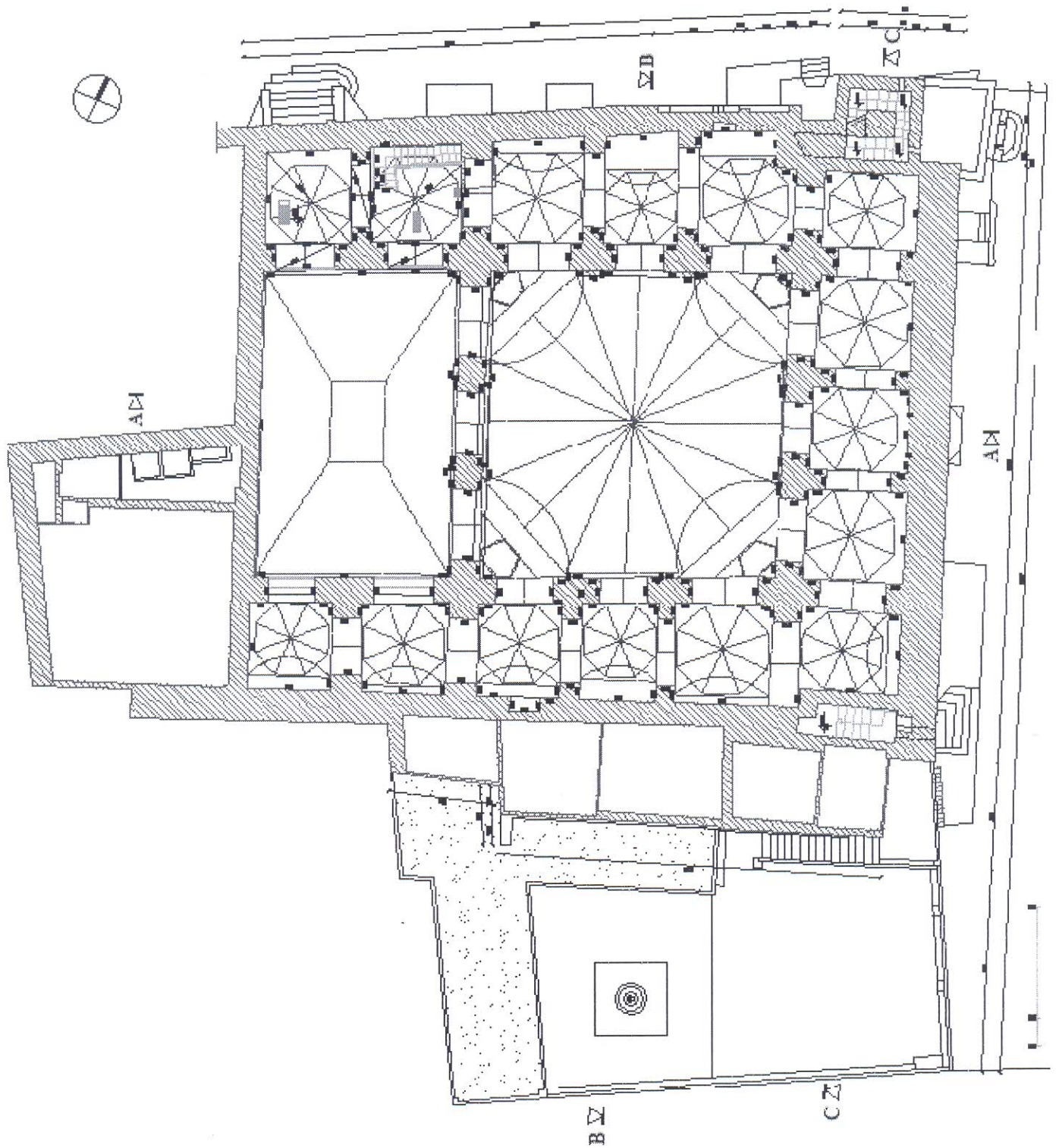


Fig 52 : Plan Mezzanine de La mosquée Ali Betchine
 Source : Atelier 3D dimensions

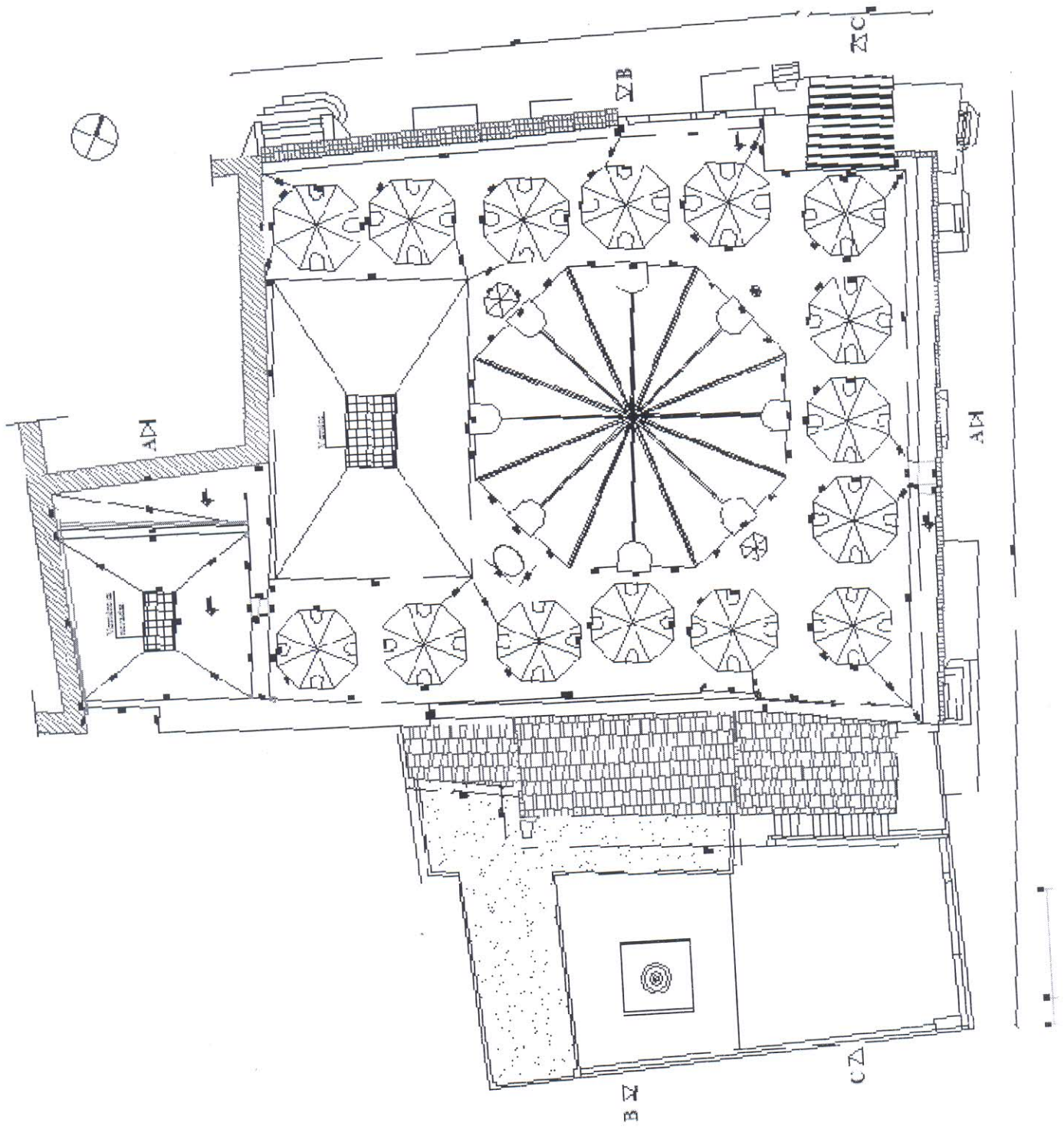


Fig 53 : Plan Terrasse de La mosquée Ali Betchine
Source : Atelier 3D dimensions

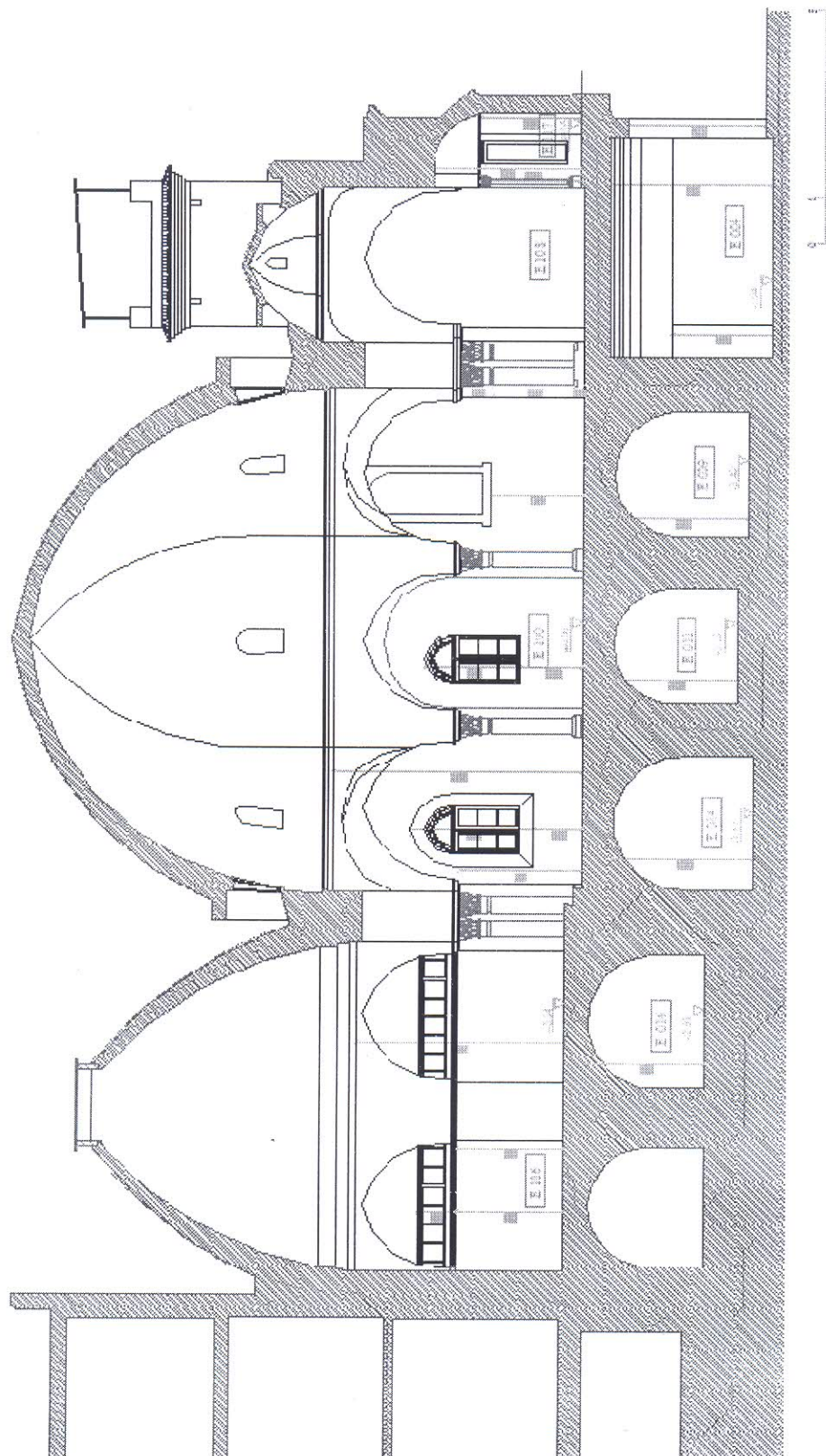


Fig 54 : Coupe AA - La mosquée Ali Betchine
Source : Atelier 3D dimensions

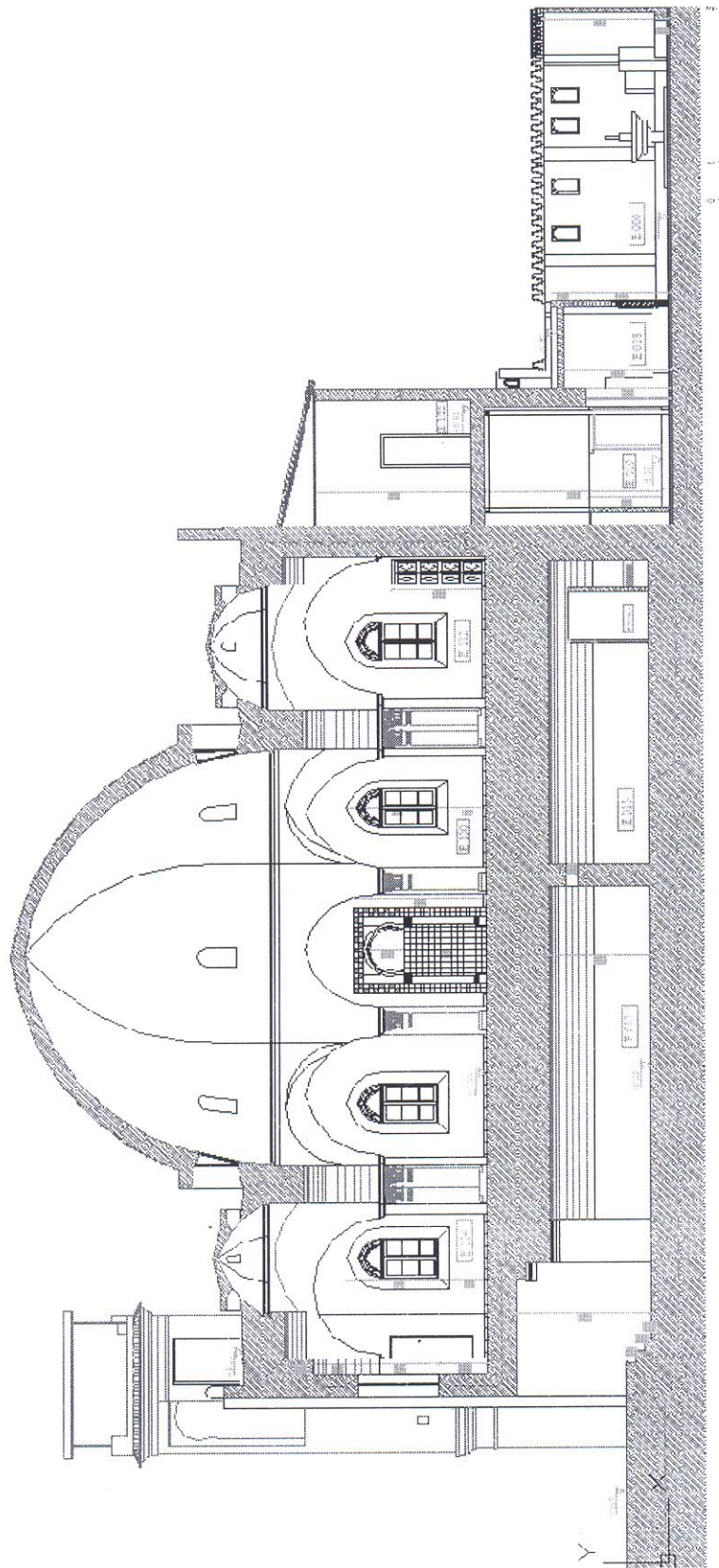


Fig 55 : Coupe BB - La mosquée Ali Betchine
Source : Atelier 3D dimensions

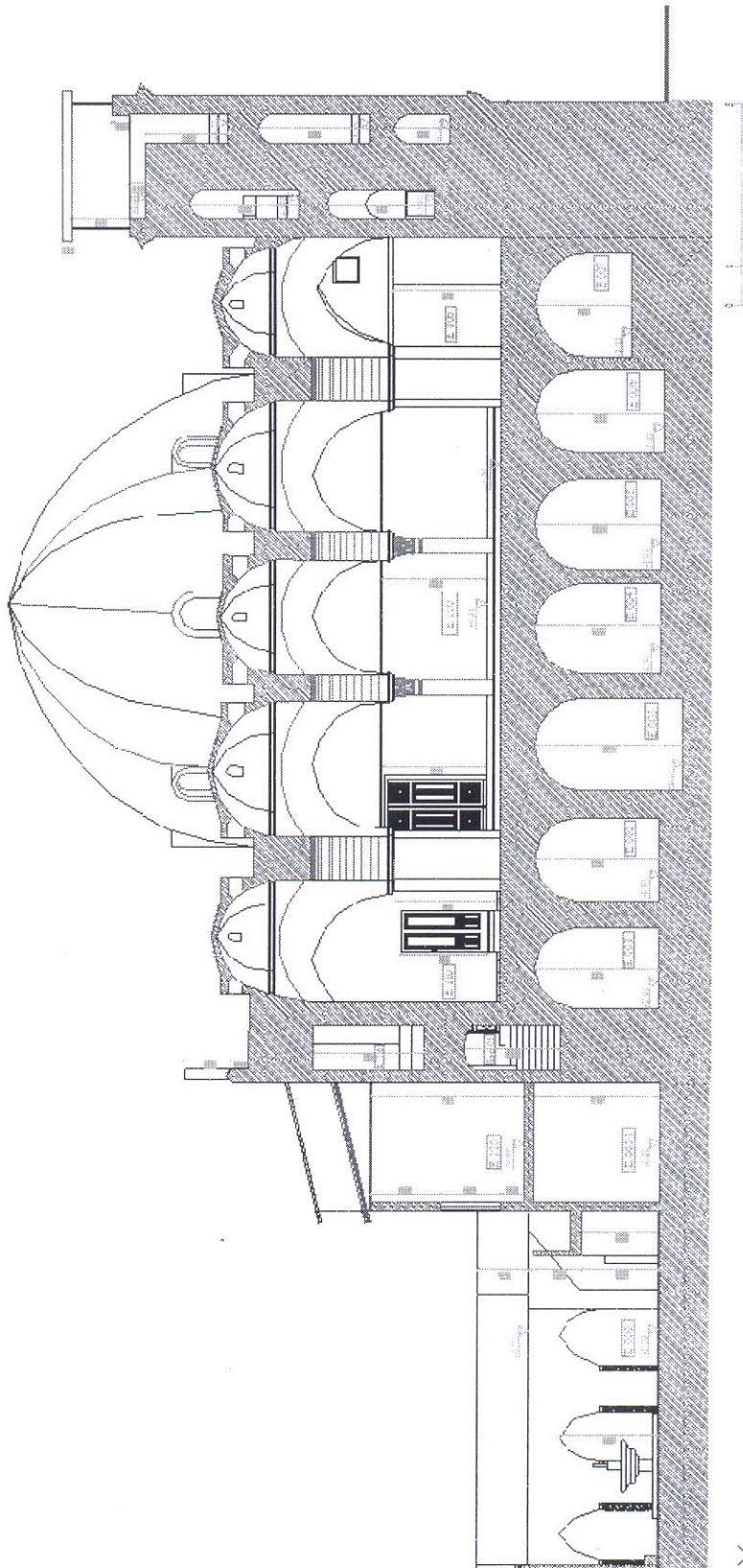


Fig 56 : Coupe CC - La mosquée Ali Betchine
Source : Atelier 3D dimensions

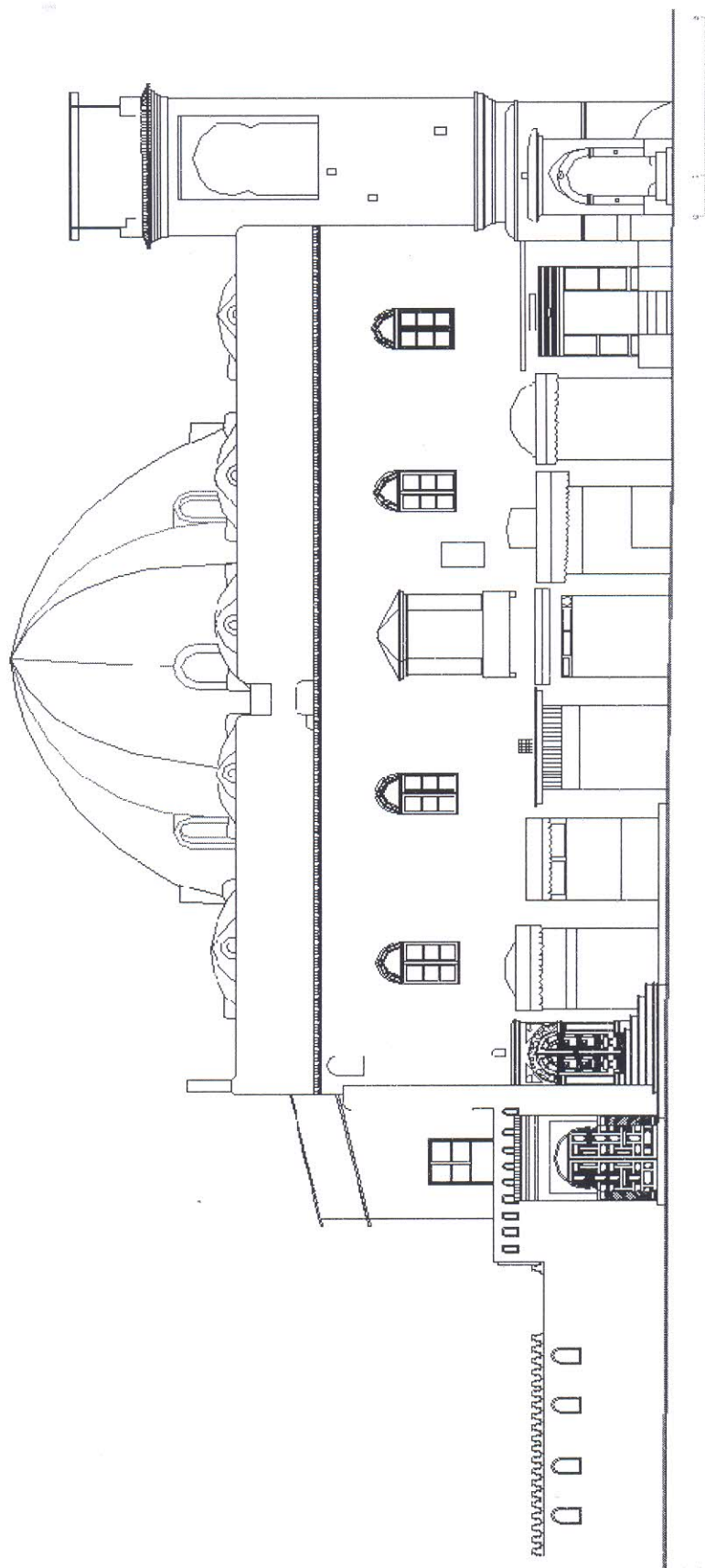


Fig 57 : Façade EST - La mosquée Ali Betchine
Source : Atelier 3D dimensions

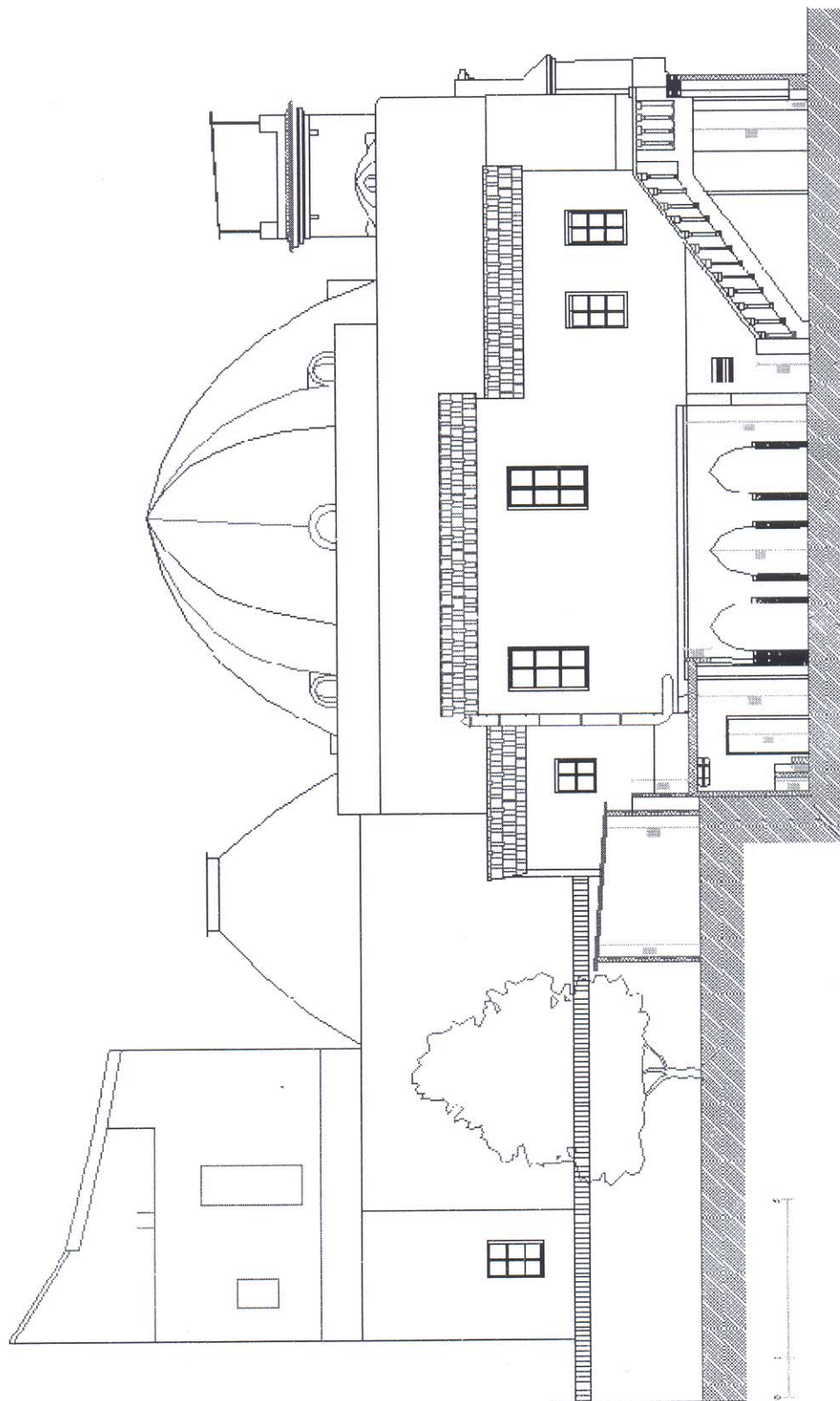


Fig 58 : Façade SUD - La mosquée Ali Betchine
Source : Atelier 3D dimensions

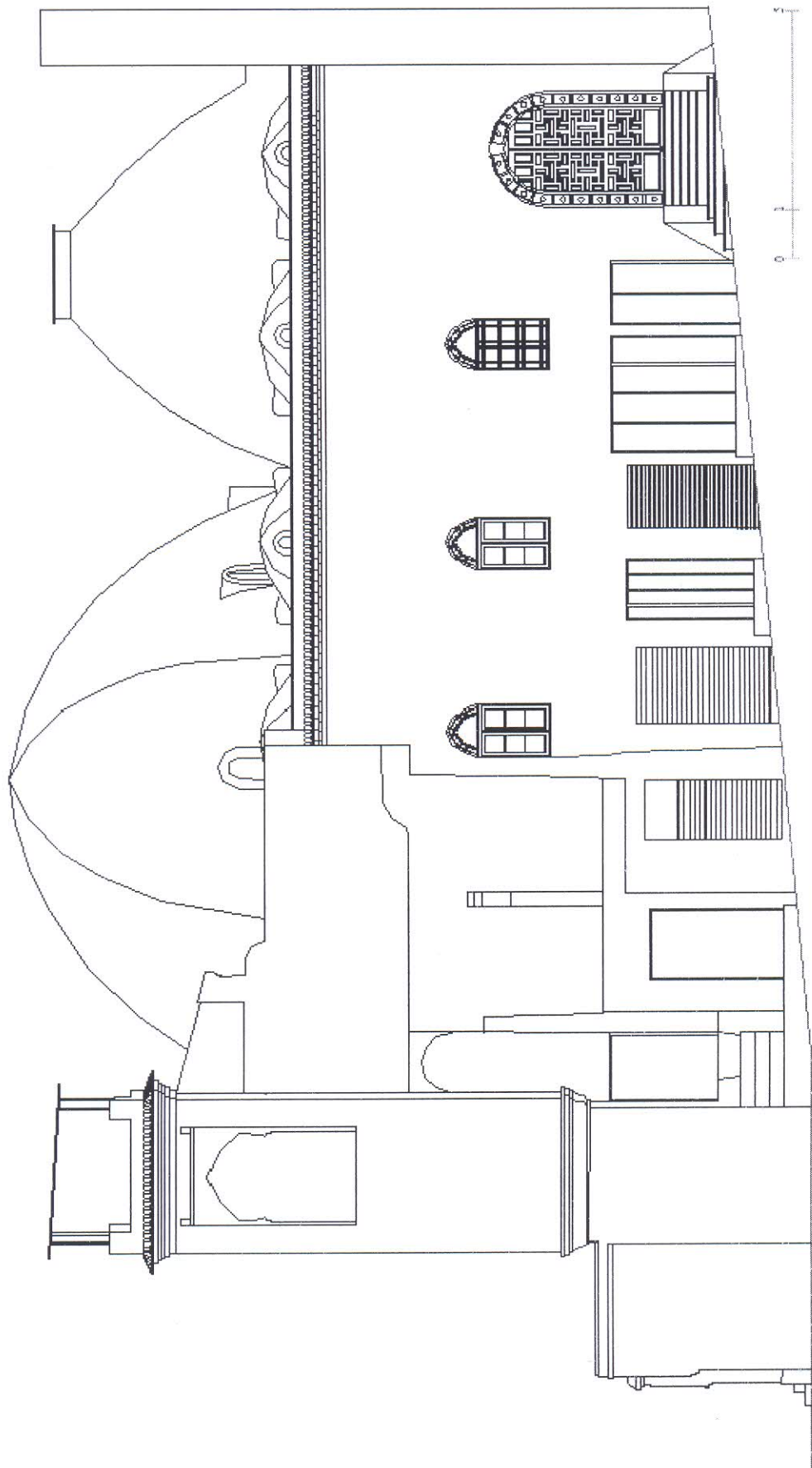


Fig 59 : Façade NORD - La mosquée Ali Betchine
Source : Atelier 3D dimensions

5.4. Conclusion :

Les observations finales sur l'état de la mosquée avant les travaux de restauration peuvent se résumer aux remarques suivantes :

- ✓ Les désordres statiques affectant la structure de l'édifice ne sont pas très importants du point de vue de la stabilité du bâtiment, hormis la partie supérieure du minaret, qui est très touchée structurellement.
- ✓ Les dégradations les plus répandues touchent les couches de revêtements (enduits-peinture) qui sont affectées à des degrés différents.
- ✓ L'humidité présente dans les structures par infiltration ou par remontée capillaire est le facteur le plus important dans la dégradation des couches de revêtement, et c'est un facteur qui, à la longue peut entraîner la dégradation des structures mêmes.
- ✓ Le fait que les sanitaires des salles d'ablutions situées au sous-sol soient obstrués et accumulent les déchets solides et liquide, cela contribue à cette pathologie.
- ✓ L'état relativement bon des structures est dû à un entretien de la mosquée plus ou moins régulier qui garantit la réparation des dommages dès leur apparition et la réfection des couches de protection défectueuses.

Ces travaux ne sont cependant pas toujours conformes aux critères et normes de la restauration, notamment en ce qui concerne l'utilisation des matériaux. Notons à cet égard l'utilisation de l'étanchéité en paxalumin sur les coupoles de la mosquée, l'utilisation des enduits en plâtre sur des maçonneries humides, l'utilisation des enduits en ciment, et de la peinture à l'huile sur certains murs.

Tous ces matériaux ne sont pas adéquats ou compatibles avec les matériaux anciens.

Chapitre 06 :

LES TRAVAUX DE RESTAURATION DE LA MOSQUEE ALI BETCHINE :

- 6.1. Introduction,
- 6.2. Le commencement des travaux de restauration de la mosquée Ali Betchine,
- 6.3. Les travaux de restauration de la mosquée Ali Betchine,
- 6.4. L'extension de la mosquée Ali Betchine,
- 6.5. Conclusion.

6.1. Introduction :

Après une première étude effectuée par le bureau d'études Atelier 3D dimensions, les travaux de restauration commencèrent en octobre 2002. Dès lors, l'entreprise SOREM retenue pour ces travaux a commencé à décaper les murs porteurs essentiellement en salle de prière et au niveau des façades. La dépose de la voûte d'époque coloniale s'en est suivie avec la reconstitution de six petites coupoles.

L'intention de consolidation avec l'utilisation massive du béton armé a amené le Maître de l'ouvrage « **La DARQ** » (la direction d'aménagement et de restructuration des quartiers) à demander au bureau d'études initial de formuler plus de précisions et justifications quant à cette approche. Au regard de cette évolution face au monument, il y eut désengagement du bureau d'études « **3D dimensions** » et les études ont été confiées au bureau d'études « **Larbi Othmane** ».

Le bureau d'études nouvellement désigné a repris l'étude en apportant une nouvelle approche évitant l'utilisation du béton armé. Parmi les mesures prises dès l'installation du bureau d'études « **Larbi Othmane** », il fut demandé l'évacuation des locaux (commerces) situés sous la salle de prière, cette nouvelle attitude permettait de pouvoir conforter et consolider les murs porteurs sous la salle de prière souvent sujette à des transformations, altérée ainsi la structure ancienne du monument.

De nouvelles considérations d'étude ont généré l'introduction de plusieurs articles hors marché. Cette réorientation ou complément d'étude a nécessité un deuxième arrêt de l'entreprise suite à celui effectué lors de la résiliation avec le bureau d'études et en conséquence du séisme du 21 mai 2003. Le premier marché ou tranche 1 consistait essentiellement en des travaux de consolidation effectués par l'entreprise « **SOREM** ». Le deuxième marché ou tranche 2 porte sur la restauration ou sauvegarde dont les travaux ont été effectués par l'entreprise « **ECOTRA BEO** ».

6.2. Le commencement des travaux de restauration de la mosquée Ali Betchine :

Au début, lors de la fermeture de la mosquée **Ketchaoua**, les responsables ont décidé de procéder à l'ouverture de la salle de prière de la mosquée **Ali Betchine** avec la réalisation hâtivement et provisoirement d'espaces d'ablutions composés de cabines préfabriquées et de bacs.

A cet effet, des travaux hors marché sont générés consistant en les points suivants :

- Réalisation d'une plateforme au niveau de la cour,
- Réalisation de l'assainissement,
- Réalisation de plots en béton comme support pour les cabines préfabriqués,
- Réalisation de bacs d'ablutions,
- Réalisation d'une toiture en charpente légère.

D'autres travaux ont été rajoutés et qui consistent en :

- Sculpture avec motifs sur arcs,
- Confection d'un grand lustre.

Les travaux préparatoires :

Ils ont mis en place d'un échafaudage permanent pour les travaux en hauteur, que ce soit pour le bâtiment existant ou pour le minaret.

Les canalisations existantes ont été nettoyées et remisent en fonction. Aussi, ils ont fermé les ouvertures extérieures, tout en protégeant la terrasse par une couverture provisoire en TN 40, ainsi ils ont installé la base vie et des bureaux de chantier.

6.3. Les travaux de restauration de la mosquée Ali Betchine :

6.3.1. Les gros œuvres :

6.3.1. a. Consolidation :

Les fissures présentes sur les murs, les arcs et les coupoles de la mosquée ont été réparées selon deux procédés différents en fonction de leur degré d'importance :

- Les fissures ayant une ouverture inférieure à 3mm de largeur ont été réparées avec des agrafes métalliques associées avec des injections sous pression,
- Les fissures ayant une ouverture supérieure à 3mm de largeur ont été réparées avec du mortier armé en treillis soudés avec injection sous pression.

Pour cela, il faudra noter qu'avant tout, ils ont décapé les enduits intérieurs et extérieurs pour permettre des mesures précises de l'ouverture des fissures.

La réparation avec les agrafes métalliques a été exécutée de la manière suivante :

- 1- Après le décapage des enduits, ils ont procédé à des percements dans la maçonnerie de 30cm de part et d'autre de la fissure, à une profondeur d'au moins 20cm, et un espacement de 15cm dans le sens de la longueur de la fissure. Les trous avaient un diamètre de 25mm.
- 2- Ensuite, ils ont mis en place des agrafes en acier maxydale de diamètre 8 et 1.00m de longueur, dont les parties encastrées ont été enrobées de mortier bâtard.
- 3- Les fissures ont été ensuite colmatées par injection sous pression d'un lait de chaux et ciment avec des proportions équivalentes (01 volume de chaux, 01 volume de ciment 250), et l'injection a été faite après le nettoyage des fissures à l'eau.

La chaux était de type hydraulique, la chaux aérienne est formellement proscrite pour les injections.

La réparation des fissures avec le mortier armé a été exécutée comme suit :

- 1- Après décapage de l'enduit et piquage des joints à 1cm de profondeur, il été procédé à la mise en place de l'armature en treillis soudés de Ø4 ou Ø5 qui doit déborder de 1m de chaque côté de la fissure et maintenue à 0.5cm de la surface de la maçonnerie.
- 2- L'armature en treillis soudés a été accrochée à son appui à l'aide de tiges métalliques de 8Ø en acier inoxydable, disposées chaque 50cm et encastrées dans toute l'épaisseur de la maçonnerie. Elles été enrobées de mortier bâtard dans des trous de 25mm de diamètre.
- 3- Ils ont exécuté ensuite l'enduit en trois couches (ou deux couches pour l'extérieur), dont la composition et le dosage étaient précis.
- 4- Les fissures ont été colmatées par injection sous pression d'un mortier bâtard après avoir été nettoyées à l'eau. Le dosage du mortier pour l'injection est comme suit :

- ✓ Ciment : 01 volume,
- ✓ Chaux hydraulique : 01 volume,
- ✓ Sable : 07 volumes.

- 5- Des chainages horizontaux ont été exécutés au-dessus des murs et arcs de la salle de prière. Ils ont des dimensions de 90 x 20cm (ferraillés en 8 T12, cadre Ø6 chaque 20cm), et 30 x 20cm (ferraillés en 4 T12, cadre Ø6 chaque 20cm).

Les coupolettes restituées reposeront sur des chainages horizontaux de dimensions 20 x 20 (ferraillés en 4 T12, cadre Ø6 chaque 20cm).

Des chainages verticaux et horizontaux ont été exécutés dans les locaux. Ils ont des dimensions de 20 x 20cm et étaient ferraillés en 4T12, cadres Ø6 chaque 20cm.

Des étaitements traditionnels sont effectués pour la reconstruction de planchers (fig62), d'autres étaitements de type chevalement sont fait pour soutenir les naissances d'arcs dans le but est de reconstituer les chapiteaux endommagés. Des mesures à l'ultrason (fig60), aux scléromètres (fig61) tendres et sures pour déterminer la résistance des colonnes composées des tuf et de pierre.



Fig 60 : Mesure à l'ultrason sur colonne, 2003.
Source : La DARQ



Fig 61 : Mesure aux scléromètres tendres sur colonne, 2003.
Source : La DARQ



Fig 62 : Étaitement de type chevalement avant restitution d'un chapiteau détérioré, 2003.
Source : La DARQ



Fig 63 : Chapiteau détérioré enlevé, 2003.
Source : La DARQ

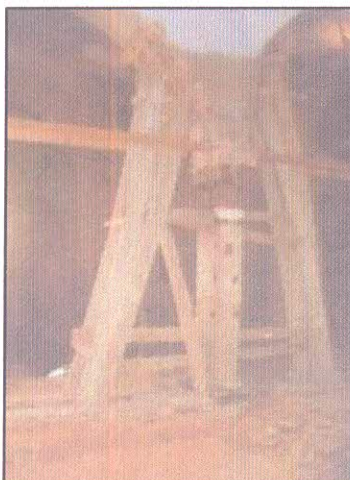


Fig 64 : Imprégnation d'une colonne en résine pour consolidation, 2003.
Source : La DARQ



Fig 65 : Opération de mise en place du chapiteau, 2003.
Source : La DARQ

6.3.1. b. La reconstitution du Mihrab :



Fig 66 : Mihrab reposant sur de la pierre taillée jouant le rôle d'encorbellement (ceci, sur une seule partie, l'autre a disparu. Ce même mihrab a été consolidé par des IPE), 2004. Source : La DARQ

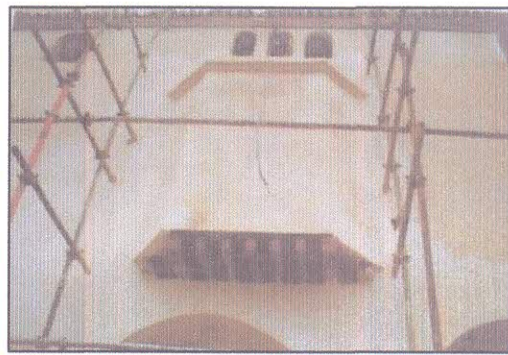


Fig 67 : Mihrab vu de l'extérieur après reconstitution, 2004. Source : La DARQ

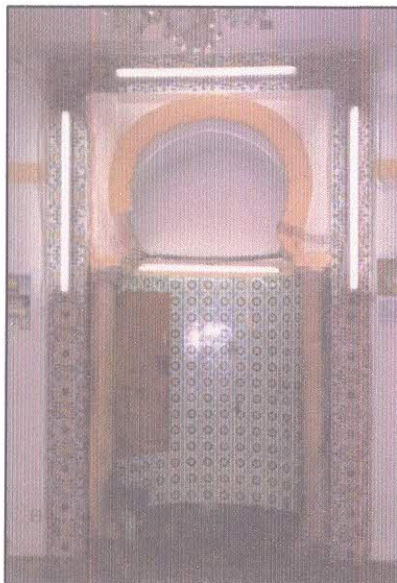


Fig 68 : Mihrab vu de l'intérieur avant reconstitution, 2001. Source : BET 3D Dimensions.

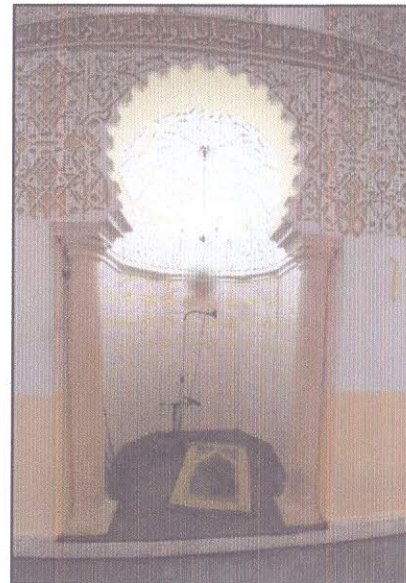


Fig 69 : Mihrab vu de l'intérieur après reconstitution, 15/09/2016. Source : Auteur.

6.3.1. c. Consolidation et reconstitution du minaret:



Fig 70 : Reprises-en sous œuvre du minaret : Plot réalisé sous le minaret avec blindage. Source : La DARQ



Fig 71: Reprises-en sous œuvre du minaret : Remplissage du plot en gros béton après atteinte du bon sol à -7.50m. Source : La DARQ



Fig 72 : Reconstitution du minaret : Voile et chaînage ceinturant la base du minaret et transmettant ses charges de l'ordre de 250 tonnes au bon sol. Source : La DARQ



Fig 73 : L'état actuel du minaret, 15/09/2016. Source : Auteur

6.3.1. d. Intervention dans les locaux- voûtes :

Un décapage a été nécessaire pour réaliser la nature et l'état réel des murs et voûtes, où plusieurs interventions ont été déjà remarquées. Une attention particulière a été portée aux voûtes, celles-ci étaient mal aérées avec la présence du phénomène de condensation qui humidifie les murs et par conséquent, rend le crépi friable. La présence d'un puits au sein même de l'épaisseur d'un mur porteur laisse à considérer les remontées capillaires susceptibles d'altérer la base des murs.

6.3.1. e. Planchers :

- ✓ Ils ont procédé à l'exécution de planchers collaborant en poutre de bois (solives) et chape armée en treillis soudés dans la salle de prière et les locaux et au-dessus de l'accès à la terrasse à partir du minaret.
- ✓ Les poutres ont des dimensions de 7 x 14cm posées chaque 20cm entraxes. Elles sont encastrées dans les chaînages horizontaux du plancher.
- ✓ Au-dessus des poutres, un voligeage est posé, composé de planches en bois de 2cm d'épaisseur.



Fig 74 : Sur façade nord, le mur-arc à consolider de manière à assurer la continuité de ce mur jusqu'au bon sol avec liaison aux fondations. Source : La DARQ



Fig 75 : Les planchers reconstitués de la salle de prière. Source : La DARQ

- ✓ Au-dessus du voligeage, ils ont procédé au coulage d'une chape en béton de 5cm d'épaisseur armée en treillis soudés avec interposition d'un film polyane.
- ✓ Les éléments en bois ont reçu au préalable un traitement avec un produit hydrofuge.

6.3.1. f. Linteaux :

Les linteaux sont en béton armé de 10cm d'épaisseur. Ils ont été exécutés au-dessus des ouvertures de la salle de prière, dont les murs seront élargis.

6.3.1. g. Bâche à eau :

Une bâche à eau en béton armé de dimensions extérieures de 4.00m par 4.00m sur 2.00m de hauteur, a été construite au niveau de la cour extérieure. Le béton est additionné d'un hydrofuge de masse, ainsi que des produits spéciaux pour la reprise des coulages, notamment entre le radier et les parois verticales.

6.3.1. h. Maçonnerie :

1- Maçonnerie en brique pleine :

La restitution de la partie supérieure du minaret, des piliers, les arcs et les coupolettes, ainsi que les fenêtres de la mosquée était en maçonnerie en brique pleine. Sauf les coupolettes et les voûtes du minaret ont été exécutées avec la brique pleine de récupération. Les marches d'escaliers du minaret sont en brique pleine nouvelle au-dessus des voûtes.

Le mortier de hourdage a la composition et le dosage suivants :

- ✓ Ciment 250 : 1 volume,
- ✓ Chaux hydraulique : 1 volume,
- ✓ Sable : 7 volumes.

Il faudra noter que, la maçonnerie ancienne a été bien mouillée avant l'exécution de la nouvelle maçonnerie qui a été directement en contact avec elle. Il sera procédé à l'exécution de maçonneries en brique pleine nouvelle contre les murs de la salle de prière pour augmenter leur épaisseur et permettre l'encastrement des chainages. Les acrotères des terrasses et le garde-corps des escaliers d'accès à la mosquée sur la façade nord, ont été exécutés en briques pleines nouvelles.

2- Maçonnerie en brique creuse :

Elle était utilisée pour l'exécution des bacs d'ablution de 10 cm d'épaisseur.

6.3.2. Second-œuvre :

6.3.2. a. Enduits :

Murs : Les murs intérieurs ont reçu un enduit au mortier bâtard en 03 couches, qui été exécuté comme suit :

- ✓ Après décapage des enduits et piquage des joints, les murs ont été dépoussiérés à la brosse. Ils étaient ensuite humidifiés abondamment de façon dégressive pendant trois jours avant l'application de la première couche d'enduit. Cette couche a une épaisseur de 5mm, qui n'était pas lissée pour servir à l'accrochage de la deuxième couche. La durée de prise de cette couche était de quatre jours.
- ✓ La deuxième couche été appliquée sur la première préalablement mouillée, avec une épaisseur de 15-20mm, qui était aussi pas lissée. Le temps de prise de cette couche était d'une semaine.
- ✓ La troisième couche d'enduit a été lissée à la taloche, avec une épaisseur de 5mm. Le temps de prise de cette couche était de quatre jours.

La chaux utilisée est de la chaux aérienne en pâte. Pour cela, elle été mélangée à l'eau et stockée dans des fûts pendant plusieurs jours (minimum trois jours) avant son utilisation jusqu'à obtenir une pâte. Lors du mélange du mortier, la chaux en pâte était d'abord diluée dans l'eau de gâchage, ensuite mélangée aux autres composants. Pour la dernière couche de l'enduit, ils ont utilisé du ciment blanc et du sable jaune lavé.

Les enduits extérieurs ont reçu un enduit composé de deux couches :

- ✓ La première, en mortier bâtard identique à la première couche des enduits intérieurs.
- ✓ La deuxième couche est constituée d'un mortier de finition étanche dénommé : PLIMADUR-S prêt à l'utilisation. (mortier pour revêtement de façades) du groupe PLIMA-Espagne. (Voir annexe 04).

Les salles d'eau : ont reçu des enduits intérieurs enrichis d'un produit hydrofuge. Le dosage du produit est de 2% du poids du liant (ciment + chaux).

Les coupoles : ont reçu des enduits intérieurs identiques aux enduits des murs exécutés sur un grillage poulailler accroché préalablement au support. Quant aux enduits extérieurs, ils sont identiques à ceux des murs extérieurs. Leur mise en œuvre était aussi identique à celle des murs.

6.3.2. b. Revêtement de sol :

- ✓ Le revêtement en tomettes de marbre de la salle de prière été maintenu en place.

- ✓ Les carreaux décollés ont été restaurés et fixés avec un nouveau mortier de pose.
- ✓ Les carreaux brisés ou disparus ont été remplacés par de nouveaux carreaux en marbre blanc ayant les mêmes dimensions.
- ✓ Tous les seuils de porte ont revêtus avec des dalles en marbre blanc.
- ✓ Les marches d'escalier d'accès à la salle de prière à partir des façades Nord et Est ont revêtues avec des dalles en marbre blanc de 04 cm d'épaisseur. (fig76)
- ✓ Un remplacement de la moquette existante, par une nouvelle moquette spéciale à la salle de prière. (fig77), d'une épaisseur de 1cm, dont les tons sont bruns, et comprenant le dessin des rangées pour la prière des fidèles.
- ✓ La pose de la moquette ne devra pas altérer le revêtement de sol en marbre, et sa dépose devra être aisée, pour permettre l'entretien et le nettoyage du sol en marbre.



Fig 76 : L'utilisation du marbre pour les escaliers, 15/09/2016. Source : Auteur.



Fig 77 : La moquette de la salle de prière avec le dessin des rangées, 15/09/2016. Source : Auteur.

6.3.2. c. Revêtement des terrasses :

La terrasse de la salle de prière a reçu un revêtement constitué d'une chape hydrofuge en mortier bâtard de 05cm d'épaisseur. La composition de cette chape est comme suit :

- ✓ Chaux en pâte : 03 volumes,
- ✓ Ciment blanc : 02 volumes,
- ✓ Sable jaune 0-3 mm : 10 volumes,
- ✓ MEDAFUGE : 2% du poids du liant.

La chape a reçu des joints de dilatation en polyuréthane, jointés à la silicone exécutés tous les deux mètres.

6.3.2. d. Etanchéité :

Terrasses : Les planchers terrasses de tous les espaces ont reçu un complexe multicouche de feutre bitumé 36 S en 03 couches, appliqué sur une forme de pente en béton d'argile expansée, dosé à 250 kg CPA 325/m³ avec une pente de 1.5%.

- Une chape en ciment de 03cm d'épaisseur était réalisée au-dessus de la forme de pente.
- Le relevé d'étanchéité été réalisé en adhérence sur les acrotères et les coupoles, avec une hauteur minimale de 20cm au-dessus de la terrasse.
- Les planchers terrasse des locaux ont reçu une protection d'étanchéité avec une couche de 05cm de gravillons roulés de granulométrie comprise entre 5 et 25mm.
- Les autres espaces ont reçu un revêtement de terrasse.

Evacuation des eaux pluviales : Un nouveau réseau d'évacuation des eaux pluviales été installé, réalisé en tuyaux de PVC gris, de pression 4 bars encastrés dans la maçonnerie.

6.3.2. e. Menuiserie :

Menuiserie nouvelle en bois :

- Des menuiseries nouvelles de portes et de fenêtres pour remplacer les menuiseries non authentiques endommagées.
- Tous les assemblages ont été collés et chevillés.
- Les dormants ont été scellés uniquement avec des pattes de scellement.
- Le bois des menuiseries est du bois rouge de première qualité qui a reçu un traitement avec des produits hydrofuges, ainsi qu'un vitrage de 5mm d'épaisseur.
- Les menuiseries de fenêtres de la salle de prière ont été restituées par analogie aux fenêtres des mosquées de la période ottomane. Elles ont des volets en vitrage ouvrants et des barreaudages fixes.
- Les ouvertures de ventilation au-dessus des fenêtres ont reçu des menuiseries en bois et vitrage à l'extérieur, et des stucs en plâtre à l'intérieur.
- Les coupolettes restituées ont reçu des menuiseries de claustras identiques à celle existantes.

Menuiserie aluminium :

- Les WC ont des menuiseries de portes en aluminium qui remplacent les menuiseries en bois endommagées.

6.3.2. e. Auvents :

Les portes d'accès à la mosquée, ainsi que les magasins situés sur les deux façades de la mosquée ont reçu des auvents, restitués sur la base des traces existantes dans les murs et sur la base d'anciennes iconographies (fig78) montrant les auvents de l'époque.



Fig 78 : Porte principale initiale. Photo du musée. Source : La DARQ.

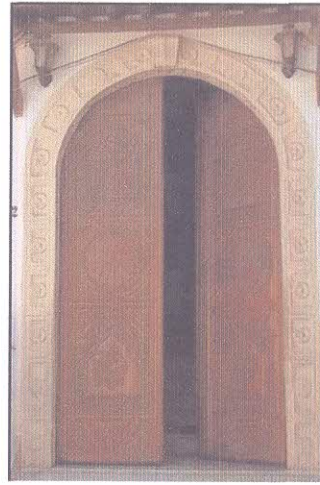


Fig 79 : Porte principale reconstituée, 15/09/2016. Source : Auteur.

6.3.2. f. Peinture :

Peinture intérieure (murs – coupoles) : Est réalisée à la chaux, additionnée d'un adjuvant en émulsion vinyle acrylique avec un rapport de $\frac{1}{4}$ (04 volumes de lait de chaux pour 01 volume d'émulsion). Le lait de chaux est obtenu par dilution de la chaux en poudre dans l'eau avec les proportions suivantes :

- ✓ 01 volume de chaux,
- ✓ 03 volumes d'eau.

La peinture a été exécutée en deux couches après un égrenage et brossage du support et l'application d'un enduit pelliculaire en deux couches.

Les stucs présents sur les murs et les arcs de la salle de prière sont brossés, ensuite peints en trois couches.

Peinture sur menuiserie bois :

Les menuiseries nouvelles en bois ainsi que les plafonds et autres éléments en bois ont reçu les travaux de peinture suivants :

- ✓ Application d'enduit simple,
- ✓ Ponçage,
- ✓ Peinture à l'huile transparente teintée en une couche,
- ✓ Vernis transparent non brillant en une couche.



Peinture sur support métallique :

Les barreaudages, ainsi que tous les autres éléments métalliques, ont reçu une peinture glycérophtalique exécutée comme suit :

- ✓ Grattage et décapage des couches de peinture anciennes (pour éléments anciens).
- ✓ Application d'une couche de peinture antirouille au minimum de plomb.
- ✓ Peinture glycérophtalique brillante en 02 couches.

6.3.3. La salle de prière après la restauration (fig 80):

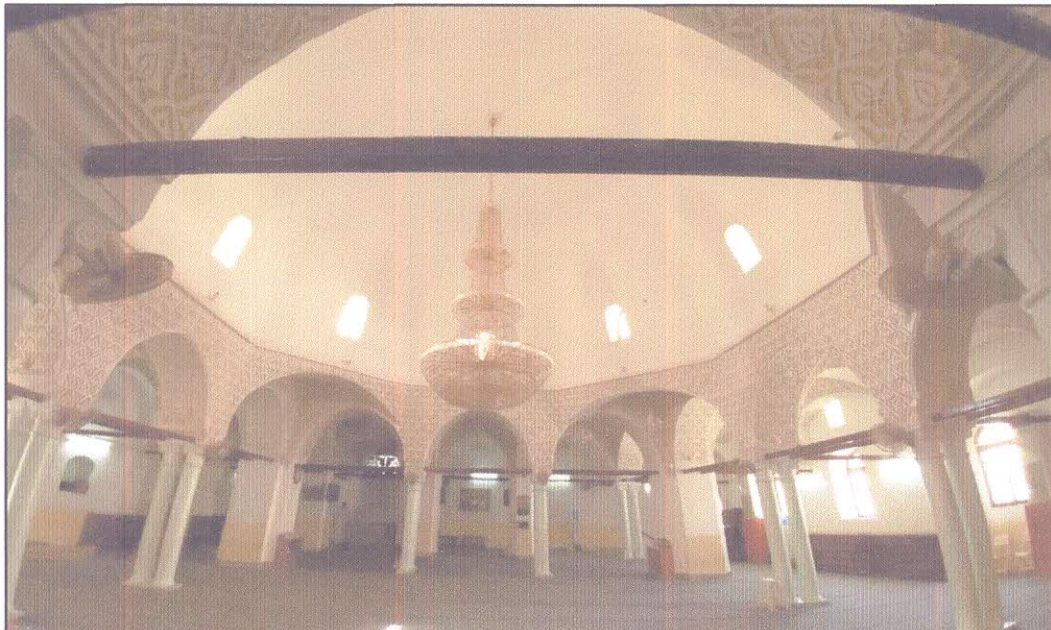


Fig 80 : Vue sur l'ensemble de la salle de prière, 15/09/2016. Source : Auteur.

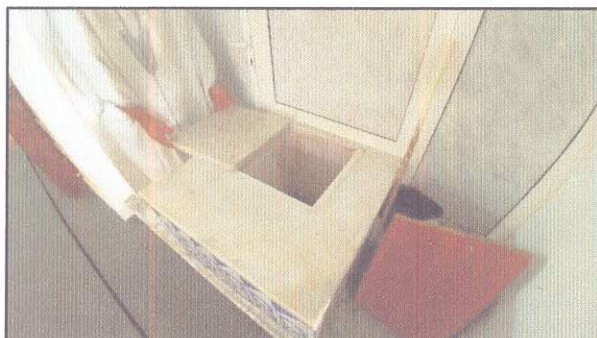


Fig 81 : Reconstitution du puit mais qui reste toujours non fonctionnel, 15/09/2016. Source : Auteur.

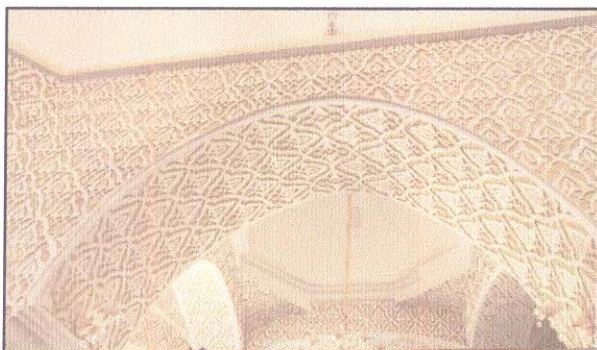


Fig 82 : Reconstitution des arcs avec ornementation en stuc, 15/09/2016. Source : Auteur.



Fig 83 : Les escaliers du minaret bloqué, 15/09/2016. Source : Auteur.

6.4. L'extension de la mosquée Ali Betchine :

L'extension effectuée juste après l'indépendance en structure mixte (béton armé, IPN et murs porteurs) représentant au rez-de-chaussée l'espace d'ablution et à l'étage quelques bureaux a été faite sans approche réelle d'un groupement d'ensemble, la cour arrière a subi des transformations anarchiques ne représentant point de cohésion pour former une entité.

L'architecte restaurateur de la mosquée «**Dr. Larbi Othmane**», lors des travaux de restauration a pensé que la restauration ne doit pas toucher uniquement la mosquée, mais aussi, elle doit permettre une revalorisation d'ensemble. Dans cette démarche qui hélas, ne prend pas en considération le tissu devra néanmoins redonner un nouvel aménagement à l'extension opérée autrefois, celle-ci ne réunissant point de valeur d'esthétique ou d'usage. Ils ont démoli les cabinets préfabriqués (fig84), en vue de réalisation d'une extension ou complément architectural s'associant non pas comme un modèle à la mosquée, mais porteur de la dimension temporelle actuelle. Ce complément architectural s'associe comme un modèle à la mosquée mais porteur de la dimension temporelle actuelle.



Fig 84 : L'extension de la mosquée Ali Betchine - L'emplacement des cabinets préfabriqués qui ont été démolis, 15/09/2016. Source : Auteur.

Cette nouvelle construction sera dotée des espaces suivants :

- Salle de prière pour une centaine de femmes attenante à la salle de prière actuelle de la mosquée.

- Medresa pour enfants (lecture du Coran).
- Deux petites bibliothèques de quartier, l'une pour hommes et l'autre pour femmes.
- Un bureau ou maksoura pour l'imam à l'étage situé entre la salle de prière hommes et la salle de prière femmes.
- Espaces d'ablutions pour hommes au RDC et pour femmes à l'étage. (voir annexe 05).

6.5. Conclusion :

Naturellement, l'exécution du projet de restauration exige une étude approfondie sur l'édifice concerné. Ce qu'était le cas pour la mosquée Ali Betchine, les travaux de restauration ont été envisagés après avoir établi une étude approfondie sur elle, tout en relevant les pathologies et les dégradations qu'elle a subies au fil du temps, surtout après la démolition du minaret pendant la période coloniale. Dans un souci de fidélité à l'architecture originale de la mosquée, la démarche consiste principalement en la restitution à l'identique de la mosquée.

D'une manière générale, la restauration avait réussi à rendre la mosquée fonctionnelle, pour accueillir les fidèles après sa fermeture de plus d'une dizaine d'année. Cependant, l'aspect sismique n'était pas inclus dans les travaux de restauration, malgré que la mosquée Ali Betchine est située dans une zone à forte séismicité (zone III).

Chapitre 07 : METHODES DE RONFORCEMENT :

- 7.1. Introduction,
- 7.2. La lutte contre l'humidité,
- 7.3. Consolidation des fondations,
- 7.4. Consolidation des murs en maçonnerie de pierre,
- 7.5. Traitement de fissures des murs en pierres,
- 7.6. La réhabilitation des planchers,
- 7.7. La réhabilitation des toitures ,
- 7.8. Renforcement sismique ,
- 7.9. Conclusion.

7.1. Introduction :

L'intervention sur les éléments structurels d'un bâtiment classé patrimoine architectural, se fait d'une manière spéciale, afin de préserver leurs caractéristiques d'origine. Cela implique le choix d'une technique d'intervention structurelle réversible, au cas où l'intervention sera une source de désordres et de dommages sur le bâtiment, on pourra alors éliminer les effets de cette intervention.

Pour décider du type d'intervention à effectuer sur le bâtiment, il serait nécessaire de mener auparavant des expertises approfondies et des investigations poussées pour connaître le comportement de l'ouvrage avant et après les réparations ou confortements à entreprendre.

Dans le chapitre des états des lieux de la mosquée Ali Betchine avant les travaux de restauration, des pathologies dues généralement à la présence d'humidité, et plusieurs fissures sur les murs de la mosquée, ont été relevées. D'autres désordres structurels ont été présentés, causés par les séismes qu'elle a connus la ville d'Alger. Cependant lors des travaux de restauration, que nous avons présentés dans le chapitre précédent, ces problèmes n'ont pas été traités.

Dans ce présent chapitre on essaiera d'exposer les différentes techniques et méthodes reconnues pour la réhabilitation des différents éléments structurels d'un patrimoine bâti.

7.2. La lutte contre l'humidité :

Afin de remédier aux problèmes d'humidité avec ses différents types, il est nécessaire d'utiliser de techniques avancées pour lutter contre celles-ci.

Plusieurs techniques sont utilisées aujourd'hui, on cite comme exemples :

7.2.1. Les techniques de lutte contre l'humidité ascensionnelle :

7.2.1. a. La technique du drainage du sol :

Cette technique consiste à collecter les eaux infiltrées et les conduire le plus loin possible des fondations. L'objectif de cette technique est d'arrêter la remontée par capillarité de l'eau. Pour que cette technique soit efficace, la nappe phréatique doit être située au-dessous de l'arase inférieure des

fondations. Et cela afin de protéger la partie enterrée de ces dernières. Plusieurs procédés de drainage existent ; entre autres :

- A. Drainage du sol par drain perforé,
- B. Drainage du sol par nappe drainante,
- C. Drainage du sol par bloc drainant.

7.2.1. b. La technique de traitement par siphons atmosphériques¹ :

Le principe de cette technique se base sur l'aspiration de l'eau contenue dans le mur par l'injection de petits tubes très poreux en terre cuite à la base de ce mur (sur les 2/3 de l'épaisseur du mur à espaces réguliers, dans des trous forés, puis scellés au mortier dans la maçonnerie). Ensuite, l'accumulation de l'air humide (plus lourd) dans les segments s'évacue par gravité et suit le sens de l'inclinaison. Dans le cas de la ventilation naturelle où l'air est sec (plus léger), il passe dans la partie supérieure du tube (fig85).

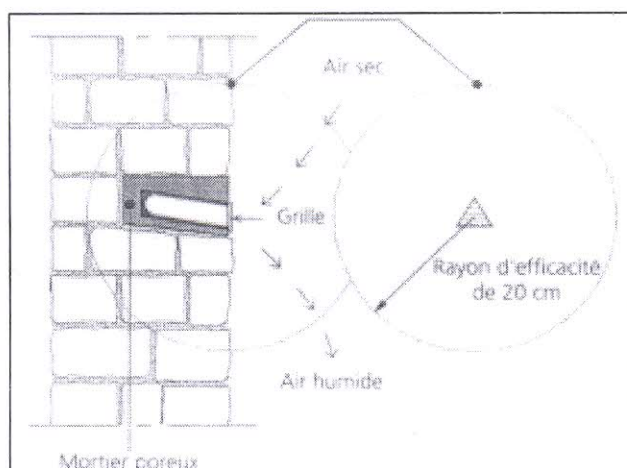


Fig 85 : Le principe du traitement par siphon atmosphérique.
Source : Guide pratique de la rénovation de façades, p120, 2005.

7.2.1. c. La technique de l'électro-osmose² : (fig75, 76 et 78)

Ce procédé consiste à assécher les murs humides d'un bâtiment par électro-osmose. Ceci fonctionne en renversant dans le mur le sens du champ électrique, de manière à ce que la circulation de l'humidité, se fasse du haut vers le bas et annule ainsi les remontées capillaires, tout en perçant des trous où seront fixées des sondes reliées par un fil métallique, puis on place une prise à la terre dans le sol humide.

1 : CAUSSARIEU Alexandre, GAUMART Thomas, 2005, Guide pratique de la rénovation de façades : Pierre-brique-béton, Eyrolles, Paris, 2005, 158 p

2 : Idem.

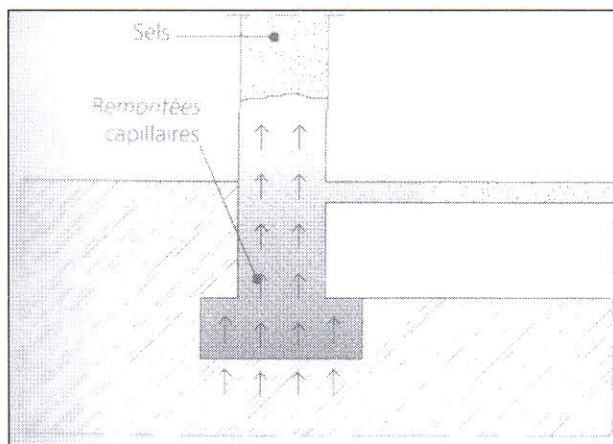


Fig 86 : Le principe de la technique électro-osmose, état naturel du mur avant le traitement.
Source : Guide pratique de la rénovation de façades. p51, 2005.

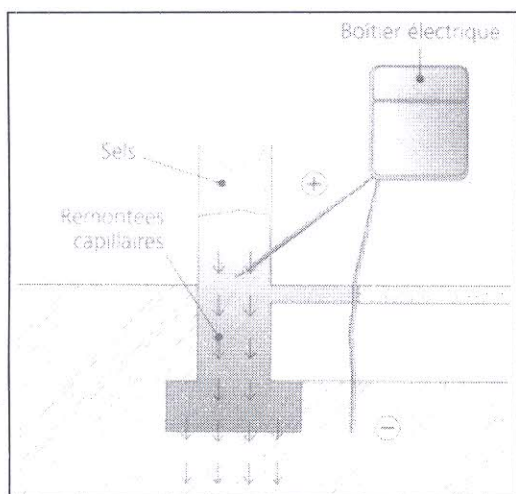


Fig 87 : Le principe de la technique électro-osmose : création d'un courant électrique inverse permettant le déplacement de particules. Source : Guide pratique de la rénovation de façades. p52, 2005.

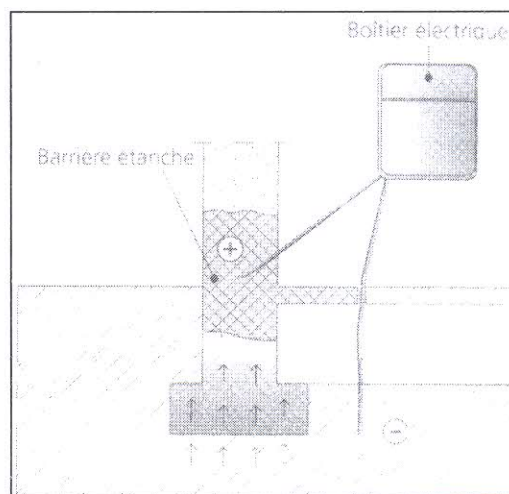


Fig 88 : Le principe de la technique électro-osmose : création de la barrière étanche grâce au colmatage des capillaires. Source : Guide pratique de la rénovation de façades. p52, 2005.

7.2.1. d. La technique de la barrière étanche par injection³ :

Le principe de cette technique se base sur l'injection des produits chimiques dans la maçonnerie. Ces produits sont de nature imperméable ou hydrofuge. Le but de l'injection est de créer des barrières étanches afin d'empêcher la remontée d'eau par capillarité. Les produits utilisés peuvent être du polysiloxane à ramifications courtes modifié par un trioxy-stéarate d'aluminium en solution.

7.2.2. Les techniques de lutte contre l'humidité des infiltrations :

7.2.2. a. L'hydrofugation de surface :

3 : CAUSSARIEU Alexandre, GAUMART Thomas, 2005, Guide pratique de la rénovation de façades : Pierre-brique-béton, Eyrolles, Paris, 2005, 158 p

Les hydrofuges ont des effets secondaires et bénéfiques. Ils rendent les façades moins salissantes, et ralentissent la détérioration des matériaux de construction et empêchent le développement des mousses et lichens⁴.

Le principe de cette technique se base sur l'application d'un produit hydrofuge incolore, afin d'empêcher la pénétration de l'eau dans la maçonnerie. Ce produit doit être appliqué sur le parement à traiter (par pulvérisation ou au pinceau). Cela sans pour autant empêcher, la perméabilité à la vapeur d'eau, du fait que le mur devra pouvoir continuer à respirer.

7.2.2. b. Les revêtements et enduits minces d'étanchéité et d'imperméabilisation :

Cette technique pour lutter contre l'humidité des infiltrations, consiste à appliquer des types de revêtements d'imperméabilisation et d'étanchéité, sur les parois à traiter, à fin d'empêcher la pénétration des eaux dans les façades⁵. La grande aptitude des revêtements d'étanchéité à résister aux probables fissures du bâtiment rend le traitement des murs plus durable qu'un traitement avec les revêtements d'imperméabilisation.

7.2.3. Les techniques de lutte contre l'humidité de condensation⁶ :

L'humidité est la cause principale de la condensation qui se manifeste à l'intérieur d'un bâtiment sur les murs froids, secs et imperméables sous forme de gouttelettes ruisselantes. Elles provoquent l'apparition des champignons et des taches noirâtres de moisissure très caractéristiques.

Pour remédier à cela, les traitements essentiels sont :

- L'aération des locaux et l'isolation thermique des parois,
- L'utilisation d'un déshumidificateur,
- La diminution de la production de vapeur d'eau,
- L'amélioration de chauffage des locaux.

7.3. Consolidation des fondations :

Un diagnostic structurel préalable dicte si une consolidation des fondations est nécessaire, tout en respectant les valeurs historiques et artistiques du bâtiment (surtout s'il s'agit d'un patrimoine classé). En règle générale, deux raisons rendent nécessaire l'engagement de travaux de

4 : Soukane Samira, 2010. Présentation du patrimoine colonial (habitat) su 19eme 20eme siècle : Présentation d'un guide technique de réhabilitation. Thèse de Magister : Architecture et développement durable. Université Mouloud Mammri Tizi-Ouzou, 172p.

5 : Idem.

6 : Idem.

consolidation des fondations d'un bâti ancien sujet d'une intervention (restauration, restitution,...etc.) :

- L'insuffisance de la surface d'appui par rapport aux charges appliquées et à la résistance du terrain,
- Tassement du terrain sous-jacent à la fondation, pour des raisons indépendantes de l'édifice construit au-dessus.

7.3.1. Consolidation des fondations par injection de sol⁷ :

Cette technique est utilisée afin d'augmenter la résistance du sol à la compression. Elle consiste à combler les vides et les fissures du sol par l'injection des produits sous pression. Ces derniers sont selon les cas constitués :

- De coulis de ciment éventuellement additionnés de pouzzolanes de cendres volantes, de plastifiants et d'accélérateurs,
- De coulis d'argile colloïdale ou de bentonite,
- De coulis à base de produits chimiques liquides ou de résines organiques.

7.3.2. Elargissement des fondations en sous-œuvre par maçonnerie⁸ :

Cette technique est utilisée dans le cas où les fondations sont à faible profondeur. Elle consiste à réaliser une nouvelle fondation plus large, en dessous de l'existante (fig89), en troublant le moins possible la stabilité du système de maçonnerie. Cela conduira à l'approfondissement et à l'élargissement du plan de la fondation.

Il faudra l'effectuer en la divisant en plusieurs phases d'environ 2m de long, simultanées mais pas par tronçons successifs.

7 : Soukane Samira, 2010. Présentation du patrimoine colonial (habitat) su 19eme 20eme siècle : Présentation d'un guide technique de réhabilitation. Thèse de Magister : Architecture et développement durable. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 172p.

8 : Idem.

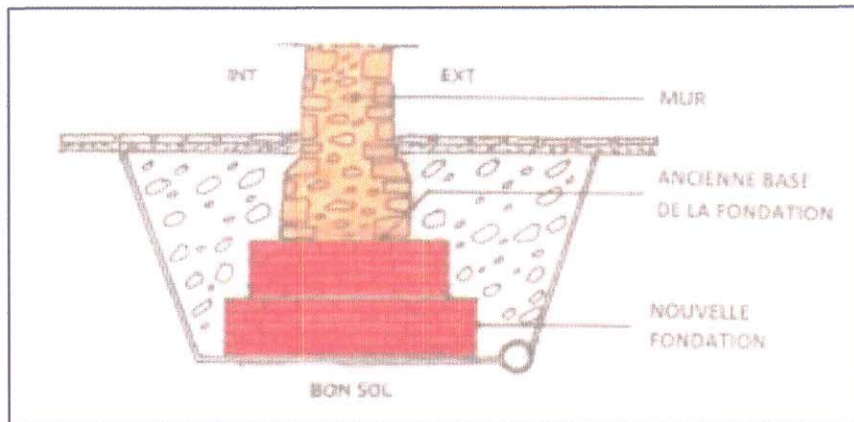


Fig 89 : Consolidation de la fondation en sous-œuvre par maçonnerie.
Source : Soukane. p55, 2010.

7.3.3. Elargissement des fondations en sous œuvre par semelle en béton armé :

C'est une technique de consolidation comme la précédente, sauf celle-ci consiste à réaliser en sous-œuvre de la fondation existante, une semelle élargie en béton armé (fig90), dans le but d'assurer la stabilité du mur existant, ainsi pour augmenter la surface de répartition des charges sur le sol.

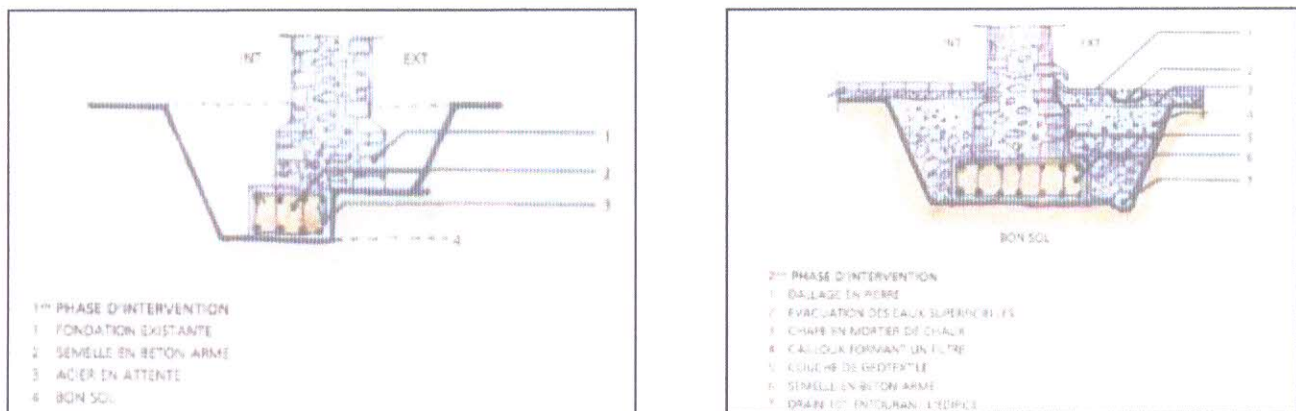


Fig 90 : Reprise en sous œuvre d'une semelle en béton armé.
Source : Soukane. p55, 2010.

7.3.4. La consolidation des fondations par des micropieux⁹ :

Le but de cette technique est la stabilisation des constructions anciennes en cas de sinistres. Elle est appliquée dans le cas où le sol est de faible résistance. Cette technique consiste à implanter les micros pieux de faible diamètre (150 à 200 mm) qui peuvent être employés dans des endroits

9 : Achab Samia EP Chernai, 2012. Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (habitat) de la période Ottomane. Thèse de Magister : Architecture et 7développement durable. Université Mouloud Mammri Tizi-Ouzou, 177p.

exigus, enfoncés dans la maçonnerie de la fondation préexistante par rotation, à une profondeur de 40m. (fig91). Ces micropieux seront utilisés généralement pour les cas suivants :

- Les fondations superficielles portant la construction se révèlent insuffisantes,
- Il s'agit d'un ouvrage déjà consolidé aux moyens de pieux qu'il faudrait renforcer ou même remplacer en y insérant d'autres pieux au même niveau,
- Le sol porteur n'est plus apte à porter les charges transférées par les fondations anciennes ou encore par des pieux déjà introduits, ou se trouve dans un état dégradé.

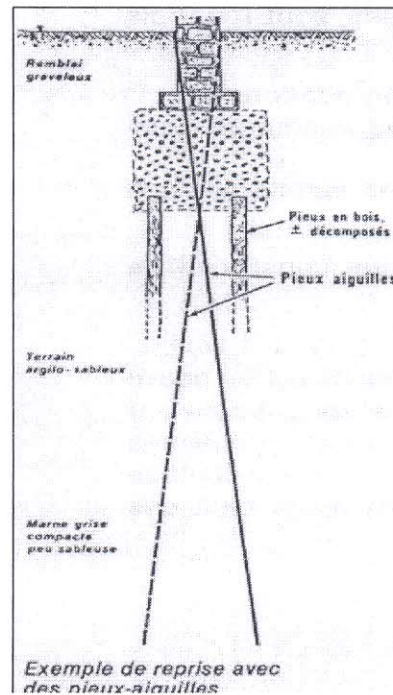


Fig 91 : Consolidation des fondations par micropieux.
Source : Soukane. p56, 2010.

7.4. Consolidation des murs en maçonnerie de pierre :

Pour consolider les murs en pierre dégradés, qui sont souvent porteurs, plusieurs techniques sont utilisées, entre autres :

7.4.1. Consolidation des murs en pierre par injection de coulis à la chaux¹⁰ :

C'est une technique à avantage conseillé, elle permet d'éviter les éventuels désordres que peut générer une incompatibilité de matériaux. Cette opération se réalise par l'insertion d'un produit plus

10 : Achab Samia EP Chernai, 2012. Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (habitat) de la période Ottomane. Thèse de Magister : Architecture et développement durable. Université Mouloud Mammri Tizi-Ouzou, 177p.

ou moins liquide (sous faible pression d'injection) dans les fissures, tout en créant une liaison mécanique et/ou une étanchéité entre les parties disjointes des parements du mur, de façon à boucher le vide entre les lèvres de la fissure.

Les caractéristiques du produit sont à base de composants époxydiques. Cependant, le critère de choix dépend des éléments suivants :

- Géométrie des fissures (largeur, profondeur, tracé...),
- Etat des supports,
- Présence d'eau (humidité),
- Contraintes imposé à l'ouvrage,
- Des caractéristiques des produits existant sur le marché.

7.4.2. Consolidation des murs en pierre par cimentation¹¹:

Lorsque le mur du bâtiment contient des fissures très étendues, ou bien la presque totalité du mur est dégradée, on passe à la consolidation des murs en maçonneries par la cimentation. On distingue deux méthodes de consolidation par cimentation :

- **La cimentation par coulée** : ce procédé consiste en l'introduction du mélange cimentant dans les vides du mur, par poussée de la seule pression atmosphérique,
- **La cimentation par injection sous pression** : dans ce type de procédé, le mélange cimentant est introduit dans la maçonnerie par injection sous pression.

7.5. Traitement de fissures des murs en pierres :

Les murs constitués de maçonnerie de pierre liée à la chaux, sont susceptibles de développer toutes formes de fissures.

7.5.1. La réparation des fissures d'un mur en pierre :

Les fissures relevées dans les murs en maçonneries de pierre ont deux types :

- a. Fissures inertes : non susceptible d'évolution,
- b. Fissures actives : dont les lèvres risquent au contraire de bouger.

¹¹ : Achab Samia EP Chernai, 2012. Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (habitat) de la période Ottomane. Thèse de Magister : Architecture et 7développement durable. Université Mouloud Mammri Tizi-Ouzou, 177p.

Le traitement des fissures se fait selon le type des fissures relevées, par un contrôle permettant de vérifier la stabilité des fissures. S'il s'agit des fissures actives, dans la plupart des cas s'avèrent inefficace et inutile, tant que leur cause n'a pas été identifiée et éliminée. Dans le cas des fissures inertes par exemple, lorsque le tassement des fondations aura cessé ou est inexistant, le traitement des fissures peut se faire.

7.5.2. La pose de témoin de contrôle de la fissure¹² :

L'évaluation de l'importance des fissures établies sur les murs est indispensable comme la première étape avant de démarrer les travaux de reprise, afin de vérifier si le mouvement différentiel préalablement diagnostiqué comme étant la cause des fissures, est stabilisé ou est encore actif.

Pour évaluer l'importance et la stabilité des fissures, on pratique sur la fissure un système de témoin, dont les plus couramment utilisés sont cités ci-après :

- Le système des plaques de plâtre ou de chaux,
- La méthode des épingles,
- Le système de témoin en mortier de chaux ou de plâtre.

7.5.3. Techniques de réparation des fissures des murs en pierre :

Plusieurs techniques sont utilisées pour la reprise des fissures des murs en pierre, nous citerons:

7.5.3. a. Réparation d'une fissure par fixation de grillage¹³ :

Cette technique consiste à décroûter le mur de son ancien enduit tout en injectant des coulis à la chaux dans les fissures. Ensuite se fera la fixation d'une armature de type grillage galvanisé ou grillage de fibres synthétiques de maillage supérieur à 2cm sur la zone fissurée du mur.

7.5.3. b. Traitement des fissures par injection :

Lorsqu'il s'agit des fissures profondes qui peuvent survenir entre autres, dans les murs de pierre ou de brique, ce type de traitement est conseillé.

12 : Achab Samia EP Chernai, 2012. Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (habitat) de la période Ottomane. Thèse de Magister : Architecture et 7développement durable. Université Mouloud Mammri Tizi-Ouzou, 177p.

13 : Idem.

C'est une opération qui consiste à insérer dans les fissures un produit plus ou moins liquide, sous faible pression d'injection, permettant de créer une liaison mécanique et/ou une étanchéité entre les parties disjointes des parements du mur, de façon à colmater le vide entre les lèvres de la fissure, en durcissant, ce liquide adhèrera au support en restituant à l'élément endommagé sa continuité d'origine.

Il est conseillé de traiter les fissures dans les zones fortement humides par l'injection d'un mélange des produits : latex, bitume ou de résines acryliques, qui ont la qualité de permettre de redonner l'étanchéité nécessaire aux zones altérées du mur.

7.5.3. c. Traitement des fissures par colmatage :

On distingue deux types de traitement de fissures par colmatage :

- Un colmatage en profondeur : c'est un remplissage total de la fissure à l'aide de mastic,
- Un colmatage superficiel : c'est un traitement des fissures sur quelques millimètres.

7.6. La réhabilitation des planchers¹⁴ :

Il s'agit de remettre en état les planchers dégradés pour qu'ils assurent dans les meilleures conditions leurs rôles porteurs et de contreventement pour les murs, afin de garantir la conservation des édifices. Selon l'état des poutres en bois, et selon la gravité et le degré de détérioration, on choisira le type de réhabilitation : soit légère, qui concernera la réfection des sols afin d'améliorer leurs aspects, ou bien, lourde qui contribuera dans l'amélioration de ses performances par rapport à sa résistance et une meilleure stabilité de l'ensemble des éléments.

Dans le cas des planchers en bois qu'on retrouve dans une partie appréciable du patrimoine bâti ancien, plusieurs techniques sont utilisées pour la remise en son état. Les choix des solutions à entreprendre peuvent résulter des situations suivantes :

- Dans le cas d'une modification recensée dans la charge propre du plancher (augmentation de son épaisseur, transformation des sols) ou dans les surcharges d'exploitation, on opte souvent pour le renforcement du plancher qui se fait par un recouplement des travures par une poutre

14 : Soukane Samira, 2010. Présentation du patrimoine colonial (habitat) su 19eme 20eme siècle : Présentation d'un guide technique de réhabilitation. Thèse de Magister : Architecture et développement durable. Université Mouloud Mamouri Tizi-Ouzou, 172p

en bois ou en métal, ou bien par des solives intercalaires ou le renforcement des solives sur leurs longueurs,

- Dans le cas où le plancher en bois présente des dégradations légères localisées, cela nécessite généralement des réparations,
- Enfin, dans le cas où le plancher en bois affiche des dégradations importantes, on opte souvent pour son remplacement total ou partiel.

Les réparations se font sur les planchers en bois quand ils présentent des dégradations locales (dues souvent à la pourriture ou aux insectes). Il est conseillé de traiter le bois, après les travaux de renforcement pour éviter/limiter les attaques futures des champignons et des insectes. Les parties encadrées des solives dans la maçonnerie, sont en général les plus exposées aux dégradations.

7.7. La réhabilitation des toitures :

Dans une opération de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien, le traitement des désordres, que peuvent présenter les toitures, figure parmi les travaux majeurs à mener. En effet, la conservation d'un bâti dans de bonnes conditions dépend pour autant du bon état de sa toiture.

Le traitement de la toiture se fait par la réfection de l'étanchéité des toitures terrasses. Il faut mentionner qu'une étude technique préalable est primordiale pour arriver à la fin de trouver les solutions adéquates pour réparer le complexe étanche de la toiture. Si la toiture terrasse représente un état vétuste (l'ancien revêtement), la réfection du revêtement d'étanchéité doit être totale. Elle peut se faire selon deux manières :

- La réalisation d'une nouvelle étanchéité identique à l'ancienne vétuste,
- La pose d'un nouveau complexe d'étanchéité différent de l'ancienne étanchéité mais dont les matériaux sont compatibles avec les matériaux du support de la toiture.

7.8. Renforcement sismique :

Il existe plusieurs méthodes de renforcement sismique des structures en maçonnerie anciennes. Chaque méthode dépend de type d'ouvrage sur lequel va être appliquée, surtout s'il s'agit d'un édifice classé patrimoine bâti ancien. Nous citons comme exemple la dissipateur d'énergie sismique, qui peut être installé dans une structure telle qu'une barre diagonale classique.

7.8. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de connaître quelques méthodes et techniques de réhabilitation et réparation du patrimoine bâti. À savoir les différents éléments de la structure de manière à respecter dans leur mise en œuvre.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

La démarche concernant la réduction de la vulnérabilité du bâti existant, doit s'intégrer dans une approche très large, qui inclue même leurs impacts sur l'environnement. Dans cette sphère, les sites connus par leur forte exposition aux risques, cette approche mérite d'être menée avec une vision prospective beaucoup plus large, pouvant aller jusqu'à un schéma de réorganisation du territoire, de reconstruction et de restauration des édifices menacés.

En termes de patrimoine classé, l'Algérie est un pays riche, mais qui se trouve altéré par l'usure du temps, par les interventions insolites des usagers, les affectations et les modifications de l'occupant français pendant la période coloniale, auquel s'ajoute le manque d'entretien. Face à cet état, des opérations de réhabilitation et de restauration ont été entreprises.

La restauration est une opération qui a pour but la réinsertion des édifices concernés dans leur contexte urbain, leur réappropriation en tant que mémoire collective et la restitution de leur architecture originelle dans les limites des possibilités de l'évolution urbaine du contexte physique. En se basant sur des documents fiables, et dans certain cas sur des études de toutes les traces archéologiques selon le cas à restaurer, les restaurateurs doivent respecter le plus proche possible les règles émises par les différentes chartes et conventions internationales.

Nous avons abordé la restauration en tant que mode d'intervention sur le patrimoine bâti, qui par son activation, peut assurer sa conservation et jouer un rôle sur sa durabilité, et l'impact qu'il va générer sur l'environnement. Notre recherche consiste à vérifier la fiabilité des opérations de restauration de la mosquée Ali Betchine.

Pour ce faire, et afin de répondre à notre problématique générale, celle de la réduction de la vulnérabilité des édifices en maçonnerie, nous avons consacré la première partie de cette recherche, à l'exploration du champ théorique inhérent à notre thème. Dans le premier chapitre, nous avons procédé en premier lieu, à définir l'essentiel des concepts, qui sont dédiés à qualifier le bâti existant, cela avait pour but, de connaître le champ de notre thème. Nous avons présenté les différents modes d'interventions reconnus opérés sur le patrimoine bâti, entre autres, la restauration, et présenter cette dernière travers les chartes et les normes internationales. Il était également question pour nous de mettre en avant, le cadre réglementaire de la restauration en Algérie.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté les différentes pathologies qui touchent les édifices en maçonnerie, et cela a pour but de mieux connaître les dégradations qui peuvent altérer

ces structures. Le chapitre des pathologies nous a servi par la suite à comprendre l'état de dégradation dans lequel était la mosquée avant les travaux de restauration et leurs sources.

Etant donné la situation de notre cas d'étude dans la ville d'Alger, une zone reconnue par sa forte sismicité (zone III), notre but est de limiter les dégâts et les risques sismiques face à une catastrophe naturelle imprévisible, irréversible et inévitable et diminuer la vulnérabilité de la structure de la mosquée face aux ces aléas. Le chapitre trois était nécessaire pour comprendre le phénomène sismique.

En ce qui concerne la deuxième partie du mémoire, celle-ci a été réservée pour aborder le cas d'étude de notre recherche « la mosquée Ali Betchine ». A cet effet, nous avons convenu avant d'entamer les travaux de restauration qu'elle a subie, de faire un chapitre pour présenter cette mosquée, qui est classée patrimoine mondial par l'UNESCO, et ceci parmi les vingt et une anciennes mosquée de la ville d'Alger. Ce chapitre nous a donné l'opportunité de connaître la richesse de son architecture, qui date de 1622, et les transformations qu'elle a connue pendant l'ère coloniale, qui ont causé l'état de vétusté dans lequel elle se trouvait après l'indépendance du pays.

Le chapitre cinq, vient par la suite pour présenter les états des lieux de la mosquée avant les travaux de restauration. Sur la base des données fournies par le bureau d'études Atelier 3D Dimensions, M. MEHRI Amine, l'architecte chargé des études de restauration de la mosquée, nous a donné des informations sur les pathologies, et les dégradations qu'elle a connu, tout en précisant les désordres qui y ont été constatés.

Dans le chapitre six, nous avons présenté les solutions préconisées par le bureau d'études LARBI Othmane, chargé des travaux de restauration. Nous avons aussi exposé les différents travaux, à savoir la restitution de l'architecture à travers quelques éléments fondamentaux, la restitution des coupolettes autour de la coupole centrale, la restitution du minaret, la réhabilitation des ouvertures des boutiques...etc. En arrivant à l'état actuel de la mosquée, nous l'avons présenté en forme de photos. On a eu aussi l'avantage de présenter la nouvelle extension qui est en cours de réalisation. Cette extension comporte : une salle de prière pour les femmes, une bibliothèque, medersa, et les salles d'ablutions (hommes et femmes). Ce complément architectural, est proposé dans la même logique de l'architecture originelle de la mosquée, mais avec les matériaux nouveaux.

Le dernier chapitre de cette partie été consacré aux travaux de renforcement qui peuvent être appliqués.

Notre étude nous a appris que la restauration d'un patrimoine bâti ancien, à l'exemple notre cas d'étude « la mosquée Ali Betchine » en vue de garantir sa conservation dans de bonnes conditions, est une opération complexe, délicate et exigeante. La décision de restaurer un édifice suppose une volonté de prise en charge à long terme. La restauration n'est que le premier pas d'un processus de conservation et de mise en valeur perpétuel.

En fait, la réussite de la restauration est tributaire de plusieurs facteurs de différents ordres, à savoir : la qualité du montage de l'opération (domaine financier, technique ou administratif) et le niveau de compétence des intervenants directs sur l'édifice à restaurer, en l'occurrence le bureau d'étude concepteur du projet de restauration et l'entreprise de bâtiment qui est chargée de réaliser les travaux de restauration.

A cet effet, et dans le but de satisfaire les objectifs de notre recherche, nous citerons les travaux que nous considérons essentiels, qui font défaut parmi les travaux préconisés pour la restauration des édifices classés comme patrimoine :

- Les travaux de consolidations des fondations, d'autant plus que notre cas d'étude est érigé sur un terrain en pente,
- Les travaux de renforcement des éléments structurels, pour diminuer leur vulnérabilité, devant des efforts sismiques probables. Cela veut dire que le risque sismique n'était pas pris en charge lors des travaux de restauration. Nous indiquerons dans cet intérêt, que le bâti ancien est connu pour sa vulnérabilité aux efforts sismiques, et la ville d'Alger est attestée historiquement, comme une zone de forte activité sismique.
- Les travaux de lutte contre l'humidité en générale, et ceux concernant l'humidité ascendante en particulier, comme les travaux de réalisation d'un drainage au sol autour de la parcelle de la mosquée.

Tous cela, vient confirmer l'hypothèse de notre recherche qui a supposé que : « *la restauration a été bien faite globalement, mais il reste toujours des aspects et des parties à améliorer pour garantir la durabilité de l'édifice face aux risques sismiques* ».

Perspectives de recherche :

Il est évident, que le champ de recherche qui concerne la restauration du patrimoine bâti est assez large. Au cours de l'avancement de notre recherche, nous nous sommes aperçus de la multitude de perspectives de recherche, que laisse percevoir notre champ d'étude. Plusieurs questionnements se sont alors imposés à nous, quant aux aspects essentiels à prendre en

considération lors des travaux de restauration. A cet égard, il devient évident de proposer quelques perspectives de recherche, et se placer dans le prolongement de cette dernière :

- Etudier le comportement physique des structures anciennes face aux risques sismiques,
- Etudier l'impact des travaux de restauration sur l'environnement,
- Etudier la gestion de chantier de restauration,
- Etablir une grille d'évaluation des travaux de restauration.

Bibliographie :

Ouvrages :

- Adam Jean-Pierre, 1983, *Dégradation et restauration de l'architecture pompéienne*, 1^{ère} éd., CNRS, France, 1983, 112p.
- Albert Devoulx, 1870, les édifices religieux de l'ancien Alger, 1^{ère} éd., Extrait de La revue Africaine, Paris, 265 p.
- Assari Nadir, 2007, *Alger des origines à la régence turque*, 1^{ère} éd., Alpha Editions, 2007, Alger, 324 p.
- Auteurs : Association française du génie parasismique, publié avec le soutien du Ministère de l'Ecologie et du développement durable, 2003, *Guide de la conception parasismique des bâtiments*, Edit Eyrolles, Paris 2003, 160p.
- Babelon Jean-Pierre et Chastel André, 1994, *La notion de patrimoine*. Paris, Ed Liana Levi, 1994.
- Baret Yves, 2006, *Restaurer sa maison, Guide d'intervention sur le bâti ancien*, 1^{ère} éd., EYROLLES, France, 142p.
- Caussariou Alexandre, gaumart Thomas, 2005, *Guide pratique de la rénovation de façades : Pierre-brique-béton*, Eyrolles, Paris, 2005, 158 p
- Chergui Samia, 2011, *Les mosquées d'Alger ; construire, gérer et conserver (XVI-XIX siècles)*, 1^{ère} éd., P U De Paris-Sorbonne, Paris, 371p.
- Choay Françoise, 1992, *L'allégorie du patrimoine*, 1^{ère} éd., Editions du seuil, Paris, 276 p.
- Delbecq Jean-Michel et Sacchi Giannantonio, 1983, *Restauration des ouvrages et des structures*, 2^{ème} éd., GIRANUD, 1984, France, 552p.
- Detry Nicolas et PRUNET, 2000, *Architecture et restauration, sens et évolution d'une recherche*, 1^{ère} éd., Les éditions de Passion, Paris, 255 p.
- Dokali Rachif, 1974, *Les Mosquées de la période turque à Alger*, 1^{ère} éd, 1^{ère} éd., SNED, Alger, 127p.
- Duval George, 1990, *Restauration et réutilisation des monuments anciens, techniques contemporaines*, 1^{ère} éd., Mardage, Belgium, 1990, 290p.
- Fondation Casbah, 1998, *Casbah ma bien aimée*, 1^{ère} éd., En-Nakhla, Alger, 101 p.
- F.virolleaud. *Le ravalement : Guide technique, réglementaire et juridique*. Le moniteur 1990.
- Hervé Philip, Jean-Claude Bousquet, Frédéric MASSON, 2007, *séismes et risques sismiques (approche sismotectonique)*, 1^{ère} éd., DUNOD, Belgique, mars 2007 ,340p.

- J.PHILLIPON, (La dégradation de la pierre), Institut de formation des restaurateurs d'oeuvre d'art (ENP-IFROA) France 1997.
- Kerdoune Aicha, 2011, *Les Mosquées historiques de la ville d'Alger*, 1^{ère} éd., Alpha Editions, Telmcen, 256 p.
- Laurent Jean-Marc, 1994, *Restauration des façades en pierre de taille*, 1^{ère} éd., EYROUES, 1994, France, 134 p.
- Les séismes, le ministère de l'Écologie et du Développement durable, Edit Direction de la Prévention des pollutions et des risques, Paris, juin 2004, 24pages.
- Milan Zack, 1996, *Construire parasismique*, 1^{ère} éd., Parenthèses, France, avril 1996 ,342p.
- M. Mamillan, Pierre de carrière et produits manufactures. Centre Technique et de documentation .Cated.2003.
- Musées et monuments XIV, 1972, *La conservation et la restauration des monuments et des bâtiments historiques*, 1^{ère} éd., UNESCO, Paris, 288 p.
- Palmerio Giancarlo, 1993, *Cours de restauration*, 1^{ère} éd.,CENTROANALISI Sociale Progetti, Rome, 115p.
- Philippe DUMAS, Alexandre MACAIRE, André CHAVAROT, Christo DIMITROV, Christian QUEFFELEC, Denis LAURENS, Henri LEGRAND, Xavier MARTIN, *ETUDE SUR LES ALEAS NATURELS ET LEURS ENJEUX* 2005, edit Liberté-égalité-fraternité, Paris, 68p
- Ravéreau André, 1989, *La Casbah d'Alger, et le site créa la ville*, éditions Sundbad, paris, 232p
- S.PHILLIPON, D-JEANNETTE et R-LEFEVRE (Altération des pierres monumentales en France) CNRS édition/ Ministère de la culture, Paris 1990.
- Yves Benoit, Danièle Dirol, Jacques Holveck, Jacques Putatti, 2002, *Les pathologies des ouvrages de bâtiment*, 1^{ère} éd, WEKA , Paris.

Mémoires :

- Achab Samia EP Chernai, 2012. Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (habitat) de la période Ottomane. Thèse de Magister : Architecture et développement durable. Université Mouloud Mammri Tizi-Ouzou, 177p.
- Ben Abdelfettah Mohamed, 2010. Contribution méthodologique : L'intégration des exigences parasismiques architecturales dans le processus de conception du projet architectural. Thèse de Magister : Architecture et Environnement. EPAU. ALGER, 169p.

- Driouèche- Djaalali Nadjiba-K, 2012. Les coupoles d'al-Djaza'ir de l'époque ottomane (XVIe – XIXe). Thèse de doctorat: Architecture et environnement. EPAU, Alger, 356p.
- LEFEBVERE Karine Amel, 2004. *Caractérisation structurale et évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments historiques en maçonnerie du Vieux Montréal*. Mémoire présenté à l'école de technologie supérieure comme exigence partielle à l'obtention de la maîtrise en génie de la construction. Montréal, 208p.
- Merrad Djamel, 2012. Evaluation de la qualité environnementale dans le secteur sauvegardé, cas d'étude « La Casbah d'Alger ». Thèse de Magister : Architecture et environnement. EPAU, Alger, 169p.
- Nedjari Samir, 2012. Conversion des lieux de culte à Alger du XVIIIème au XXème siècle. Cas de la mosquée/cathédrale Ketchaoua. Master recherche : patrimoine et conservation-restauration. Université Paris I Panthéon- Sorbonne, 162p.
- Soukane Samira, 2010. Présentation du patrimoine colonial (habitat) su 19eme 20eme siècle : Présentation d'un guide technique de réhabilitation. Thèse de Magister : Architecture et développement durable. Université Mouloud Mammri Tizi-Ouzou, 172p.
- Touil Amel, 2003. Les abords des biens culturels immobiliers : concepts, législation, délimitation et mesures de protection. Thèse de Magister : préservation et mise en valeur des sites et monuments historiques. EPAU. ALGER, 169p.

Revues :

- *Les cahiers de l'EPAU, Revue semestrielle d'architecture et d'urbanisme* N°5, article de Mr Zekagh Abdelwahab, 1996, Alger 65p.
- Revue Vies des Villes n°10, 2008.
- Règlement parasismique algérien 99.

Cours :

- Messaoudène Maha, 2014, Les cours de Méthodologie de recherche, 4eme année s7, EPAU.
- Bendali-Hacine Abderrazak, 2014, Les cours de Droit et Instruments d'Urbanisme, 4eme année s7, EPAU.
- Fiche enseignant: « La notion de patrimoine », Service pédagogique Château Guillaume le Conquérant - 14700 Falaise. Lien : <http://www.chateau-guillaume->

leconquerant.fr/web/pdf/service-pedagogique/dossiers-thematiques/fiche-patrimoine.pdf. Date de consultation : décembre 2015.

Site Web :

- Source : <http://www.dictionary.com/browse/facade>, Décembre 2015.
- <http://obvaj.org/les-bonnes-pratiques/leau-de-pluie-et-de-ruissellement/> Décembre 2015.
- http://www.persee.fr/doc/ingeo_0020-0093_1949_num_13_3_5457, Décembre 2015.
- <http://bricolage.linternaute.com/forum/affich-7917-nettoyage-d-une-terrasse>, Décembre 2015.
- Source : <http://www.agoravox.fr/culture-loisirs/extraits-d-ouvrages/article/recit-d-emanuel-d-aranda-esclave-98442>, Décembre 2015.

Table des figures :

Fig 01 : Dégradation de la structure en bois à cause des insectes.....	23
Fig 02 : Les altérations biologiques des bois à cause des champignons.	24
Fig 03 : Surcharge du plancher et rupture des assemblages.....	25
Fig 04 : Phénomène de cristallisation des sels au sein d'une paroi.....	27
Fig 05 : Humidité par condensation hygroscopique	28
Fig 06 : L'eau de pluie absorbée par le terrain	29
Fig 07 : Le principe de gel/dégel	29
Fig 08 : Le développement d'algues sur les murs en pierre à cause de la présence d'humidité.....	31
Fig 09 : Présence de plantes dans un mur	32
Fig 10 : La pollution entraîne avec le temps la production d'une couche noirâtre (le sulfure) qui bouche les pores des pierres et l'empêche de respirer.....	32
Fig 11 : Jointement des blocs mal fait provoque l'apparition des fissures.....	34
Fig 12 : L'apparition des fissures dans les murs en pierre au niveau des planchers.....	36
Fig 13 : Fissures démarrant à la hauteur du plancher.....	37
Fig 14 : Photos illustratives des différents concepts.....	41
Fig 15 : Classification sismique des wilayas d'Algérie.	43
Fig 16 : Vue générale sur la Casbah d'Alger.	55
Fig 17 : La carte de la wilaya d'Alger.	60
Fig 18 : Vue aérienne sur la Casbah d'Alger.	60
Fig 19 : Vue aérienne sur la mosquée Ali Betchine.	60
Fig 20 : Le minaret de la mosquée avant l'intervention française, 1860.....	61
Fig 21 : La rue Bab-El-Oued, la mosquée Ali Betchine, la porte Bab-El-Oued en 1834.....	62
Fig 22 : L'intérieur de l'église Notre Dame des Victoires, 1953.....	63
Fig 23 : L'église Notre Dame des Victoires en transformation (1910)... ..	63
Fig 24 : La fontaine sur la façade de l'église Notre Dame des Victoires.	65
Fig 25 : Plan de la mosquée Ali Betchine.....	66
Fig 26 : Fissures et décollement de la couche de peinture sur les murs. 2001.....	68
Fig 27 : Dégradation des murs porteurs au niveau des boutiques. 2001.	68
Fig 28 : L'accès aux sanitaires, la dégradation des murs, 2001.	69
Fig 29 : Salle d'ablutions, détails sanitaires, 2001.	69
Fig 30 : Le décollement de carreaux de faïence sur murs, 2001.	69
Fig 31 : Salle d'ablutions, la présence des fissures, 2001.	69

Fig 32 : W.C turque complètement obstrué, 2001.	70
Fig 33 : Urinoir obstrué, 2001.	70
Fig 34 : Dégradation des murs de l'espace dépôt, 2001.	70
Fig 35 : Fissures dans les clés des voûtes, 2001.	71
Fig 36 : Les fissures visibles de la façade Nord, 2001.	72
Fig 37 : La verrière de la coupole, 2001.	73
Fig 38 : La présence des fissures au niveau de mihrab, 2001.	74
Fig 39 : Dégradation du haut du minaret, 2001.....	74
Fig 40 : Terrasse du minaret, dégradation des murs, 2001.....	75
Fig 41 : Minaret Vu côté Est, 2001.....	75
Fig 42 : Prolifération d'arbuste sur la terrasse, 2001.....	76
Fig 43 : Coupole envahie par les herbes, 2001.....	76
Fig 44 : Façade Nord-Est, 2001.....	77
Fig 45: Façade Nord (La rue de la Casbah), 2001.....	77
Fig 46 : Façade Est, 2001.....	77
Fig 47: La présence des herbes sur la terrasse de la fontaine, 2001.....	77
Fig 48: L'angle Sud-Est de la mosquée, 2001.....	78
Fig 49: L'angle Sud-Ouest de la mosquée, 2001.....	78
Fig 50 : Plan sous-sol de La mosquée Ali Betchine.....	79
Fig 51 : Plan R.D.C de La mosquée Ali Betchine.....	80
Fig 52 : Plan Mezzanine de La mosquée Ali Betchine.....	81
Fig 53 : Plan Terrasse de La mosquée Ali Betchine.....	82
Fig 54 : Coupe AA - La mosquée Ali Betchine.....	83
Fig 55 : Coupe BB - La mosquée Ali Betchine.....	84
Fig 56 : Coupe CC - La mosquée Ali Betchine.....	85
Fig 57 : Façade EST - La mosquée Ali Betchine.....	86
Fig 58 : Façade SUD - La mosquée Ali Betchine.....	87
Fig 59 : Façade NORD - La mosquée Ali Betchine.....	88
Fig 60 : Mesure à l'ultrason sur colonne, 2003.....	93
Fig 61 : Mesure aux scléromètres tendres sur colonne, 2003.....	93
Fig 62 : Étalement de type chevalement avant restitution d'un chapiteau détérioré, 2003.....	93
Fig63 : Chapiteau détérioré enlevé, 2003.....	93
Fig 64 : Imprégnation d'une colonne en résine pour consolidation, 2003.....	93
Fig 65 : Opération de mise en place du chapiteau, 2003.....	93

Fig 66 : Mihrab reposant sur de la pierre taillée jouant le rôle d'encorbellement.....	94
Fig 67 : Mihrab vu de l'extérieur après reconstitution, 2004.....	94
Fig 68 : Mihrab vu de l'intérieur avant reconstitution, 2001.....	94
Fig 69 : Mihrab vu de l'intérieur après reconstitution.....	94
Fig 70 : Reprises-en sous œuvre du minaret : Plot réalisé sous le minaret avec blindage, 2003.....	94
Fig 71: Reprises-en sous œuvre du minaret : Remplissage du plot en gros béton après atteinte du bon sol à -7.50m, 2003.....	94
Fig 72 : Reconstitution du minaret : Voile et chainage ceinturant la base du minaret et transmettant ses charges de l'ordre de 250 tonnes au bon sol, 2003.....	95
Fig 73 : L'état actuel du minaret.....	95
Fig 74 : Sur façade nord, le mur-arc à consolider de manière à assurer la continuité de ce mur jusqu'au bon sol avec liaison aux fondations, 2003.....	95
Fig 75 : Les planchers reconstitués de la salle de prière, 2003.....	95
Fig 76 : L'utilisation du marbre pour les escaliers.....	98
Fig 77 : La moquette de la salle de prière avec le dessin des rangées.....	98
Fig 78 : Porte principale initiale. Photo du musée, 2004.....	100
Fig 79 : Porte principale reconstituée, 15/09/2016.....	100
Fig 80 : Vue sur l'ensemble de la salle de prière, 15/09/2016.....	101
Fig 81 : Reconstitution du puit mais qui reste toujours non fonctionnel.....	101
Fig 82 : Reconstitution des arcs avec ornementation en stuc.....	101
Fig 83 : Les escaliers du minaret bloqué,.....	101
Fig 84 : L'extension de la mosquée Ali Betchine - L'emplacement des cabinets préfabriqués qui ont été démolis.....	102
Fig 85 : Le principe du traitement par siphon atmosphérique.....	105
Fig 86 : Le principe de la technique électro-osmose, état naturel du mur avant le traitement.....	106
Fig 87 : Le principe de la technique électro-osmose : création d'un courant électrique inverse permettant le déplacement de particules.	106
Fig 88: Le principe de la technique électro-osmose : création de la barrière étanche grâce au colmatage des capillaires..	106
Fig 89 : Consolidation de la fondation en sous-œuvre par maçonnerie.....	109
Fig 90 : Reprise en sous œuvre d'une semelle en béton armé.	109
Fig 91 : Consolidation des fondations par micropieux.	110
Fig92 : Plan de la mosquée Ali Betchine.	130
Fig93 : Dalle en béton armé recouvert le haut de la partie sélectionnée du minaret.....	132

Fig94 : Ossature du plancher haut de la fontaine en IPE rouillés.....	132
Fig95 : IPN, briques creuses, poutres en bloc de tuf formant une saillie rectangulaire anarchique dénaturant l'aspect authentique du mihrab.....	132
Fig96 : Dalle en béton armé constituant une sous pente. Elément dénaturant la configuration de l'espace sous voûte et prenant appui sur deux murs étant chacun le support des forces de deux voûtes.....	132
Fig97: Ouverture critique en haut, au niveau de l'épaisseur la plus importante du mur de deux voûtes fragilisant la stabilité de ces dernières.....	132
Fig98 : Etat d'un local en cour de décapage. On remarque des ouvertures de part et d'autre des murs porteurs sur lesquels s'appuient les voûtes.....	132
Fig99 : Le terrain de l'extension de la mosquée Ali Betchine, actuellement est un mossala pour femmes.....	139
Fig100 : Le terrain de l'extension de la mosquée Ali Betchine.....	139

ANNEXES

Annexe 01 : L'historique de la sismicité en Algérie :

Le tableau suivant regroupe les principaux événements sismiques importants en Algérie depuis 1980.

Tableau 01 : Les principaux événements sismiques importants en Algérie depuis 1980.**(Source : Ben Abdelfettah, pages 8 et 9, 2010)**

Date	Lieu	Magnitude	Pertes et dégâts
10/10/1980	Chlef	7.3	3000 morts, 8369 blessés 480000 sinistrés, 348 disparus, 20000 logements détruits (70% habitations, 12 milliards de DA)
27/10/1985	Constantine	5.9	300 blessés à El Khroub, dégâts à El Aria et Beni Yacoub
27/10/1989	Chenoua Tipaza	6.0	35 morts, 700 blessés, 5000 sinistrés, 8000 constructions endommagées
18/08/1994	Beni chougrane Mascara	5.6	A touché Hacine et shadlia
04/09/1996	Ain- Benian Alger	5.7	Ressenti jusqu'à Dellys à l'Est, Menaceur à l'ouest et Berrouaghia au sud, a atteint l'intensité VII 0 Ain-Benian, Chéraga et Staouali, appartenant à la région épicertrale.
22/12/1999	Ain Timouchent	5.8	Plusieurs morts, séisme ressenti dans un rayon de 260Km
10/11/2000	Béni Ouartilane Setif	5.4	Beni Ouartilane, Fréha et El-Main, dégâts matériels et perte de 02 vies humaines. Des fissurations superficielles des maisons en maçonnerie traditionnelle ont été observées dans les localités citées ci-dessus.
21/05/2003	Boumerdès	6.8	2286 morts, 3323 blessés, 100 disparus, 175000 sinistrés, 18000 logements détruits (bilan au 25 juin 2003)

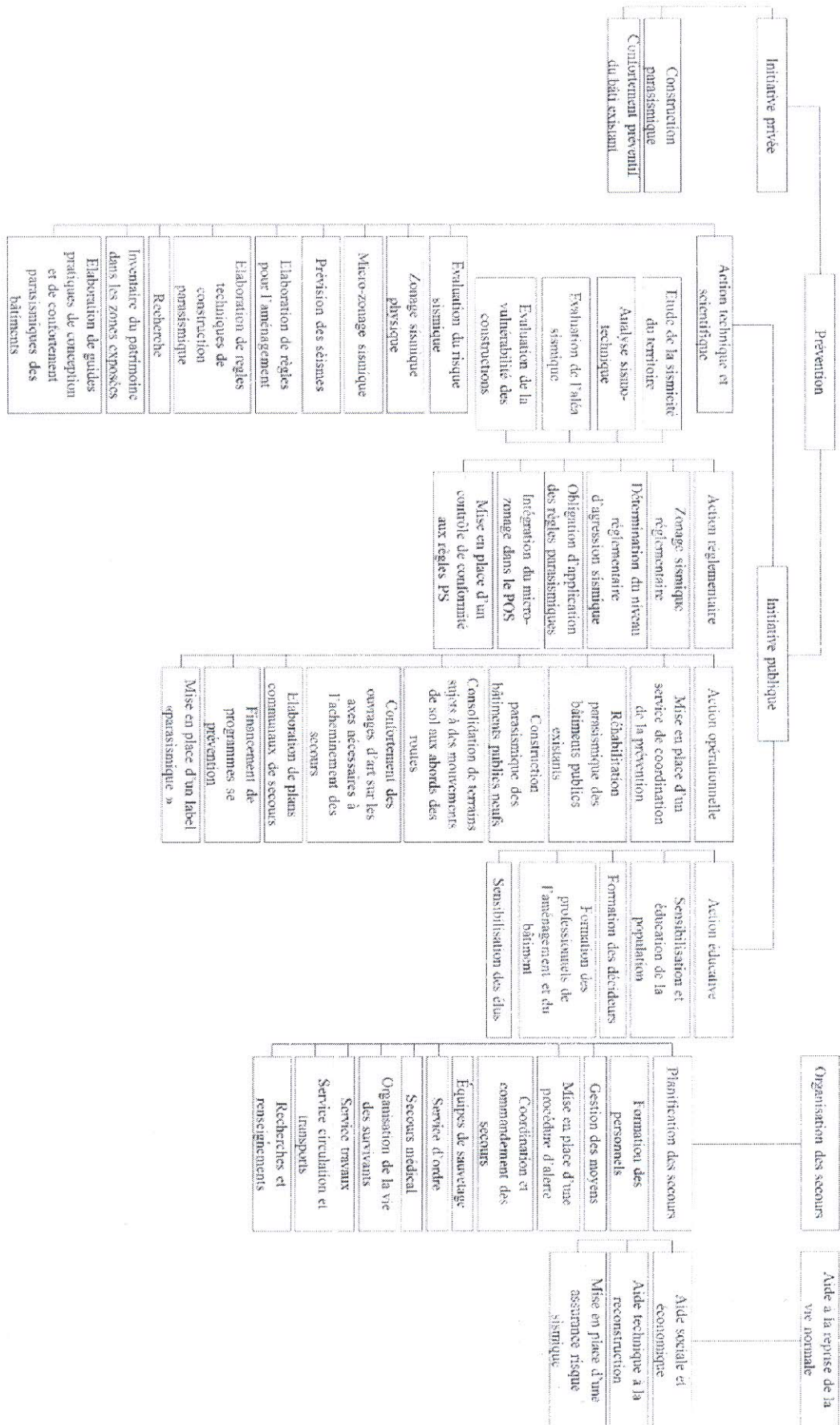


Fig : Protection civile contre les séismes.
Source : Milan, p.54, 1996

Annexe 02 : Description de la mosquée Ali Betchine :

L'une des plus importantes modifications de la mosquée fut la destruction de six coupolettes au niveau des deux galeries de fond de la salle de prière. Elles ont été remplacées par une grande coupole à quatre pans couronnée par une verrière rectangulaire datant de la période coloniale. Le projet de restauration entamé en 2001 a prévu la restitution des six coupolettes donnant au système de couverture sa forme originelle. Ce dernier est identique à celui de la mosquée Katshawa¹.

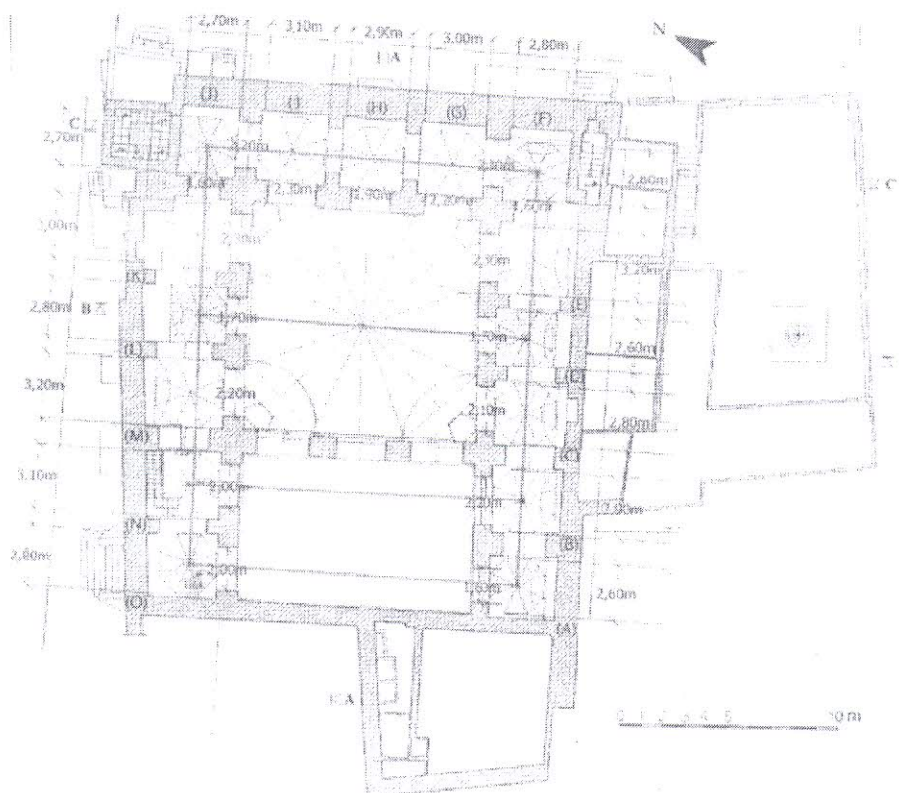


Fig92 : Plan de la mosquée Ali Betchine.
Source : Driouèche, p177, 2012

Tableau d'une étude métrologique de la mosquée :

Nombre de coupole	Dimension diamètre	Position de la coupole
2	2.6	Coupole A et D
2	2.9	Coupole A et D
4	2.8	Coupole A et D
2	3.2	Coupole A et D
2	3.1	Coupole A et D
1	2.7	Coupole A et D
2	3	Coupole A et D

1 : Driouèche-Djaalali Nadjiba-K, 2012. Les coupoles d'al-Djaza'ir de l'époque ottomane (XVIe – XIXe). Thèse de doctorat: Architecture et environnement. Epau, Alger, 356p.

Le diamètre des coupolettes de la mosquée Ali Betchine est très variable. Les plus petites sont posées à l'angle de l'édifice et sur l'axe passant par le centre de la grande coupole, parallèlement au mur de la qibla. La largeur de l'arcade permet d'absorber les décalages entre les côtés du carré, comme c'est le cas de la coupolette « L ».

La taille des deux coupoles « F » et « J » s'explique par la présence du minaret à l'angle nord-ouest et de l'escalier à l'angle nord-est. Pour les coupolettes « D » et « L », leurs petites tailles s'expliquent par les étapes de leur construction. La logique veut que l'on commence par construire la base des coupolettes d'angle, puis qu'on positionne les coupolettes intermédiaires qui devront s'adapter à l'espace résultant. La variation de largeur des arcades explique ces ajustements.

La grande coupole de la mosquée couvre un espace plus ou moins carré, mesurant 11 mètres sur 10.60 mètres. Elle est octogonale, le tracé de l'intrados de la coupole présente une coupole brisé surélevée, alors que son extrados trace un profil brisé se rapprochant du plein cintre. A l'extérieur, cette coupole est divisée à l'intervalle régulier, par la saillie de nervures méridiennes convergeant vers son sommet. Il semble d'ailleurs que cette forme de coupole à nervures ait été fréquente en Orient dès l'époque byzantine.

Chaque pan se subdivise de l'extérieur en deux, les huit ouvertures sont positionnées sur l'arête intermédiaire. Nous ne relevons que l'extrados de la coupole fait ressortir seize pans, contrairement à l'intrados qui n'en possède que huit. C'est surtout dans un souci décoratif que ces nervures ont été réalisées, brisant par conséquent la surface curviligne du pan.

R. Dokali, avance que la coupole repose sur un tambour. Mais il se trouve que la coupole ne comporte aucun élément la surélevant. Il existe par contre une différence de niveau entre le plancher terrasse et la corniche intérieure qui sépare la coupole des arcs de support. C'est-à-dire que l'intrados est plus haut que l'extrados de la coupole. La position de l'ouverture nous permet d'affirmer cela. Cette hauteur permet d'intégrer le système de transition qui n'apparaît pas au niveau de la terrasse.

Une coupolette a été insérée dans ce triangle, engendrant à son tour des petits triangles interstitiels. Les piliers d'angles supportant la coupole de la mosquée ont reçu des dimensions importantes

Annexe 03 : Diagnostic de la mosquée Ali Betchine :

Fig93 : Dalle en béton armé recouvre le haut de la partie sélectionnée du minaret, 2003. Source : La DARQ



Fig94 : Ossature du plancher haut de la fontaine en IPE rouillés, 2003. Source : La DARQ



Fig95 : IPN, briques creuses, poutres en bloc de tuf formant une saillie rectangulaire anarchique dénaturant l'aspect authentique du mihrab, 2003. Source : La DARQ



Fig96 : Dalle en béton armé constituant une sous pente. Élément dénaturant la configuration de l'espace sous voûte et prenant appui sur deux murs étant chacun le support des forces de deux voûtes, 2003. Source : La DARQ



Fig97 : Ouverture critique en haut, au niveau de l'épaisseur la plus importante du mur de deux voûtes fragilisant la stabilité de ces dernières, 2003. Source : La DARQ



Fig98 : Etat d'un local en cour de décapage. On remarque des ouvertures de part et d'autre des murs porteurs sur lesquels s'appuient les voûtes, 2003. Source : La DARQ

Tableau de la liste des matériaux par espace :

	Matériau	Espace
Revêtement sol	Carreaux granito 20x20	Boutiques- salle d'ablutions- sanitaires
	Céramique 20x20	Salle d'ablutions- sanitaires
	Chape en ciment	Minaret- le sas
	Marbre hexagonal	Salle de prière- mihrab
	Dalle de sol	Boutiques – salle de prière
	Briques à plat	Dépôt
	Planches en bois	Salle de prière pour les femmes
Plancher	Plancher traditionnel (rondins/voligeage)	Boutiques
	Charpente en bois	Le sas
	Voûtains briques - IPN	Dépôt
	Voûte	Boutiques- sanitaires – salle d'ablutions
	Coupole	Boutiques- salle de prière pour les femmes
	Plancher bois sedda	Boutiques- salle de prière
	Faux plafond plâtre	Boutiques- salle de prière
	Dalle pleine en B.A	Salle d'ablutions- dépôt- le sas
	Poutrelles hourdis	Mihrab – salle d'ablutions- sanitaires
Revêtement mural	Granito sur piliers	BOUTIQUES
	Enduit	Boutiques– salle d'ablutions- sanitaires- dépôt- salle de prière-sas-minaret-salle de prière pour les femmes
	Céramique récente	Boutiques– salle d'ablutions- sanitaires- salle de prière- mihrab- dépôt
	Stucs en plâtre	Boutiques- sanitaires
Éléments architectoniques	Encadrement en tuf	L'entrée de la mosquée
	Portail en bois	L'entrée
	Portail métallique	Boutiques
	Menuiserie de porte	Boutiques-sanitaires-dépôt-salle de prière- mihrab-salle d'ablutions-minaret
	Menuiserie de fenêtre	Salle de prière-sas
	Menuiserie de niche	Salle de prière
	Panneau en bois	Sas
	colonnes	Salle d'ablutions-salle de prière-mihrab

Annexe 04 : Les travaux de restauration de la mosquée Ali Betchine :**Tableau de la composition et dosage des enduits :**

Couche		01	02	03
Epaisseur		05mm	15-20 mm	05mm
Matériau	Chaux en pâte	05 volumes	03 volumes	03 volumes
	Ciment	02 volumes	02 volumes	(blanc) 0.1 volumes
	Sable	(0/5mm) 10 volumes	(0/5mm) 10 volumes	(0/3mm) 10 volumes
MEDAFUGE : 2% du poids du liant (pour les espaces humides).				

Les travaux concernant l'électricité et les luminaires :

Dans ce qui suit seront donnés les détails concernant chaque ouvrage en se limitant à la description dans le cadre des installations précisées.

Installation de mise à la terre :

- Le circuit de mise à la terre a été réalisé à l'aide d'un conducteur en cuivre nu 1x28mm² de section, en bon contact avec le sol.
- Le piquet de terre est constitué de barre en acier galvanisé, en cuivre ou en bronze, d'un diamètre minimum de 15 mm, et d'une longueur d'au moins 2 mètres.
- La résistance des prises de terre est inférieure à 0.1 Ohm.
- Cette mesure de protection comporte la mise à la terre des masses associées à un dispositif de coupure automatique assurant la mise hors tension de la partie d'installation défectueuse.
- Cette mesure de protection doit satisfaire aux conditions suivantes :
- Le courant de défaut-franc assure le fonctionnement aussi rapide que possible du dispositif de coupure. Une masse quelconque ne peut demeurer, par rapport à une prise de terre électrique distincte à un potentiel supérieur en valeur efficace à 24 volts.

Installation d'éclairage :

Eclairage intérieur : Les câbles utilisés pour cette installation sont du type U500V de section 5mm², 4mm², et 6mm², posés dans des conduits encastrables de diamètres 11 mm, 16mm sur murs sols et plafonds.

Les appareils pour cet éclairage sont du type à lampes à incandescence, projecteurs à lampes halogènes de puissance 75W, 150W, et 500 Watts.

Annexe 05 : L'extension de la mosquée Ali Betchine :

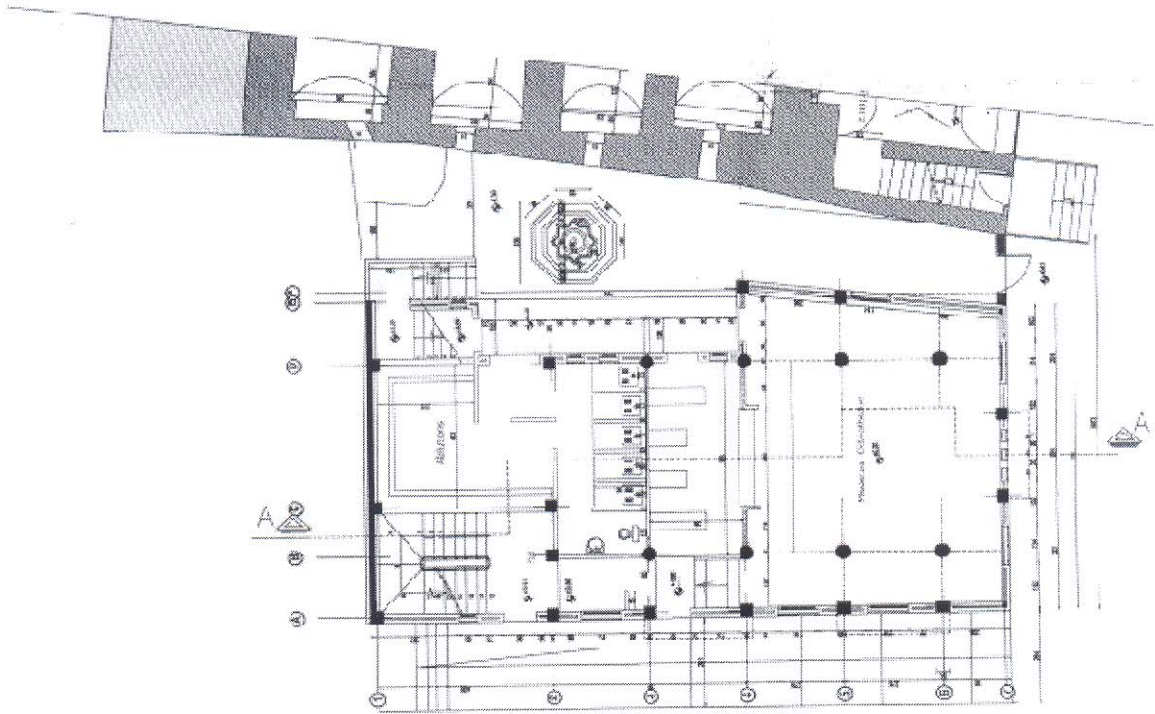
Par analogie aux coupoles de la mosquée Ali Betchine, le bureau d'étude chargé de restauration a développé un tracé régulateur pour positionner des coupoles, afin de retrouver l'image et l'ambiance de continuité entre le monument et ce complément.

Cette idée première a favorisé le développement de l'espace salle de prière pour femmes.

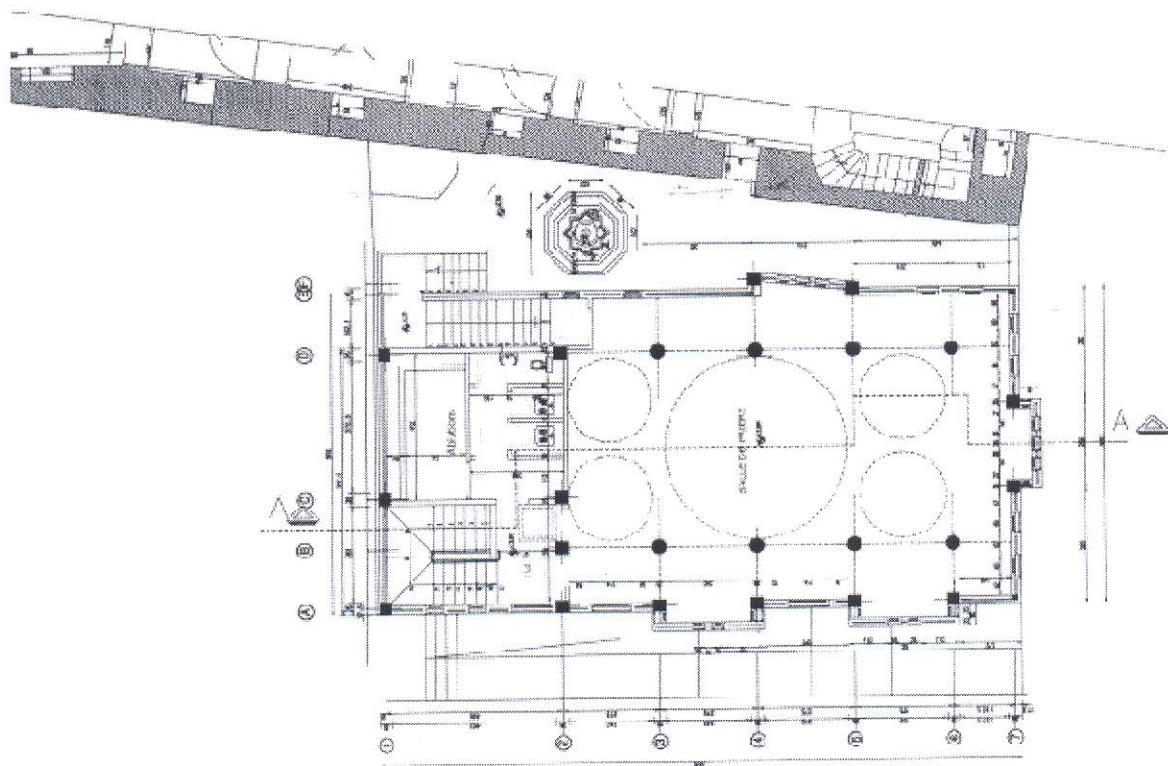
Il était essentiel pour le bureau d'étude, de garder cette harmonie de formes tout en composant avec les matériaux actuels. Il s'agit de marquer notre époque par le choix de ceux-ci. C'est pour cela, il utilisera le ciment et ses dérivés pour la structure qui sera en béton armé et cela des fondations jusqu'aux coupoles. Le ciment sera utilisé aussi pour le crépissage des parois. Les murs seront en briques creuses.

Programme des surfaces :

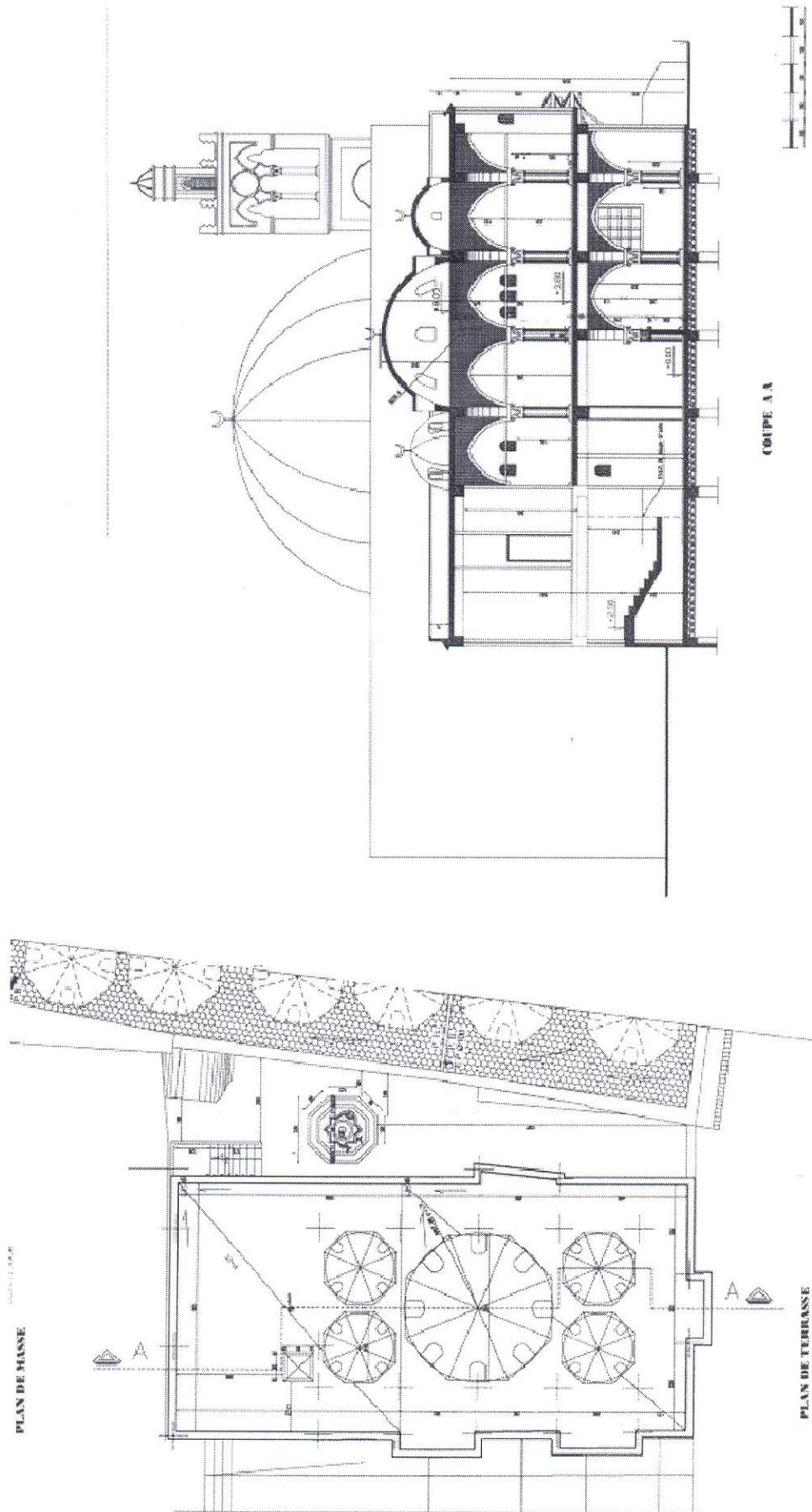
Désignation	Description	Surfaces
Mederse	Bibliothèque hommes	42.76m ²
	Bibliothèque femmes	23.24m ²
	Ecole coranique	12.89 m ²
Salle d'ablution hommes		33.5m ²
Surface totale (RDC)		224.77m ²
Espace femmes	Salle de prière femmes (capacité : 110 personnes)	103.00m ²
	Salle d'ablution femmes	26.60m ²
	Bureau de l'imam ou maksoura	14.13m ²
Surface totale (l'étage)		208.68m ²
Surface totale : RDC + étage		433.45m ²



PLAN DE L'ETAGE 0



PLAN DE L'ETAGE 1



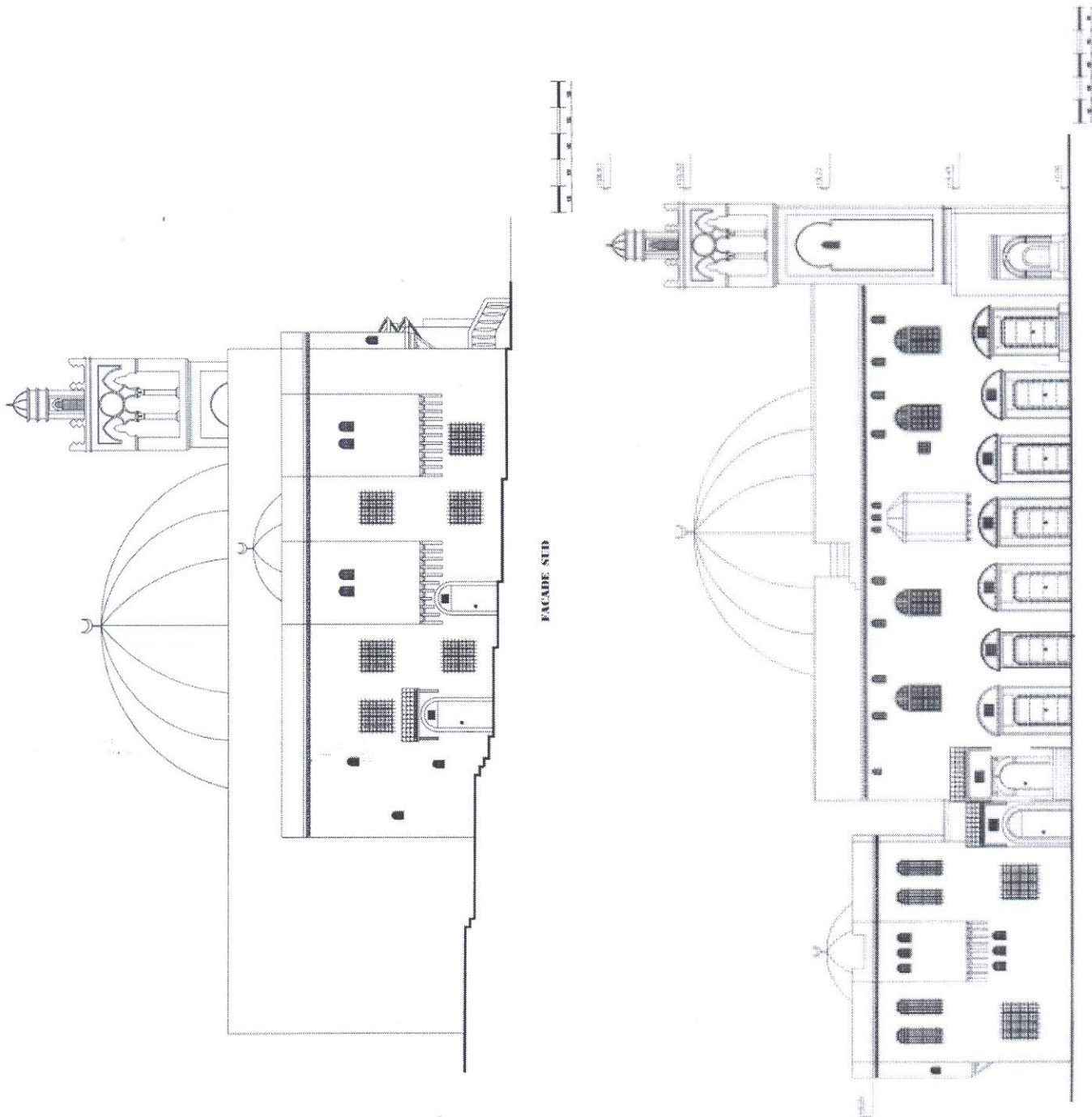




Fig99 : Le terrain de l'extension de la mosquée Ali Betchine, actuellement est un *mossala* pour femmes, 15/09/2016. Source : Auteur.



Fig100 : Le terrain de l'extension de la mosquée Ali Betchine, 15/09/2016. Source : Auteur.