

République Algérienne Démocratique et Populaire  
**Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme**



**Laboratoire Architecture et Environnement**



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

**Thème**

**Conservation du bâti ancien en Algérie, essai de  
Réduction de la Vulnérabilité et Réhabilitation  
(Cas du Lycée Emir Abdelkader)**

**Présenté et soutenu par**  
HALIMI Imed Eddine.

**Mémoire dirigé par :**  
Dr ATTARI Nassereddine / EPAU

**Jury :**  
Président de jury : Dr MEZOUARI Fadela Enseignante EPAU  
Examineur : Mr BAKOUR Mohamed Enseignant EPAU  
Examineur : Mr BENOUNICHE Nazim Ingénieur Génie civil

**Octobre 2016**

## **Remerciement :**

J'adresse mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à mon encadreur, Dr Mr ATTARI Nassereddine., pour ses précieux conseils, ses corrections minutieuses, et le temps qu'il m'a accordé tout au long de l'élaboration de ce présent travail. Et sans lesquels je ne serai sans doute jamais parvenu à achever ce travail.

Je tiens également à exprimer mes vifs remerciements envers les membres du jury, qui ont accepté d'évaluer ce travail.

J'adresse aussi ma gratitude et mes remerciements à mes parents, mes soeurs et frères, pour leur soutien précieux et leurs encouragements.

Mes remerciements sont également destinés à mes amis, et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

## **Résumé :**

L'Algérie reste un pays chargé de plusieurs merveilles architecturales faisant objet de son patrimoine matériel. Une richesse qui est devenue vulnérable au fil du temps comme conséquence du manque d'entretien et des interventions maladroites.

Des opérations d'intervention telles que la réhabilitation sont devenues aujourd'hui une nécessité primordiale pour la remise en état et l'amélioration du cadre bâti des constructions patrimoniales afin de les pérenniser et les transmettre aux générations futures dans de bonnes conditions.

La présente recherche aborde la méthodologie de réhabilitation la plus adéquate avec les spécificités de notre patrimoine bâti en maçonnerie du 19<sup>em</sup> et du 20<sup>em</sup> siècle, ainsi que les techniques d'intervention les plus rencontrées pour la réparation et le renforcement de leur structures.

Avec la bonne volonté des autorités locales de préserver son patrimoine architectural, des travaux de réhabilitation ont été lancés dans pas mal de bâtiments ayant un intérêt public. L'objectif de notre travail se manifeste par la vérification de la pertinence de ces travaux effectués.

Pour ceci nous avons choisi le Lycée Emir Abdelkader, un établissement datant du 19<sup>em</sup> siècle comme cas d'étude. Notre travail consiste à évaluer la vulnérabilité du lycée après la finition de sa réhabilitation en s'appuyant sur le règlement parasismique Algérien le RPA2003 et la méthode AFPS, avant d'essayer de faire une proposition d'une réhabilitation structurelle pour la réduction de sa vulnérabilité.

Mots clés :

Patrimoine, réhabilitation, vulnérabilité, maçonnerie du 19<sup>em</sup> et 20<sup>em</sup> siècle, méthode AFPS

## الملخص

تحتوي الجزائر على العديد من الروائع المعمارية التي تمثل تراثها المادي. ثروة أصبحت حاليا في حالة مزرية مع مرور الزمن كنتيجة لنقص عمليات الصيانة والتدخلات الغير الصحيحة. عمليات تدخل لإعادة التأهيل أصبحت اليوم ضرورة أساسية من اجل إعادة الاعتبار وتحسين البيئة المبنية للمنشآت التراثية بهدف الحفاظ عليها لأطول وقت ممكن ولتسليمها للأجيال القادمة في ظروف جيدة. هذا البحث يستعرض عملية إعادة التأهيل الأكثر ملائمة مع خصائص تراثنا المبنى خلال القرنين التاسع عشر والعشرون، إضافة الى تقنيات التدخل الأكثر مصادفة من اجل تصليح وتقوية هياكلها. مع النية الحسنة للسلطات المحلية من اجل الحفاظ على تراثنا المعماري، أطلق العنان للعديد من عمليات إعادة التأهيل لعدد لا بأس به للمنشآت ذات فائدة عمومية. الهدف من خلال عملنا هو التأكد من ملائمة هاته الأعمال المنجزة. من اجل هادا قمنا باختيار ثانوية الأمير عبد القادر وهي مؤسسة يرجع تاريخها الى القرن التاسع عشر كعينة للدراسة. عملنا يتمثل في تقييم درجة الضعف بعد الانتهاء من عملية اعادة تأهيله مرتكزين في ذلك على القانون الجزائري للزلازل RPA2003 ومنهجية AFPS قبل القيام بمحاولة إعادة تأهيل بنيوية لتقليل ضعف المبنى

٥

الكلمات المفتاحية:

التراث، إعادة التأهيل، الضعف، بنايات القرن ال 19 وال 20، منهجية AFPS

## **ABSTRACT**

Algeria is a country full of architectural wonders that make a part of its heritage, a wealth that has become vulnerable by time due to lack of maintenance and clumsy interventions.

Many interventions such as rehabilitation have now become a necessity for the improvement of heritage's buildings and its structures in order to sustain it for the future generation in a good condition.

The presence of research takes to the most adequate methodology with technical specificities of our heritage which has been built with 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> century's materials, also the different most faced intervention techniques for repairing and enhancing its structure.

Due to the good will of local authorities for preserving the architectural heritage, many works of rehabilitation have taken place in many buildings that have a public interest. The goal of my work is the verification of the relevance and pertinence of these works.

To do that we have chosen as a case of study Emir Abdelkader high school which is an establishment date back to 19<sup>th</sup> century. Our work is to evaluate the vulnerability of the High School After the completion of its rehabilitation relying on The Algerian seismic regulation RPA2003 and the AFPS method, before trying to make a proposal for structural rehabilitation to reduce its vulnerability.

.

**Keywords :**

Heritage, rehabilitation, vulnerability, masonry of the 19th and 20th century, AFPS method

## Table des Matières :

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| <b>Remerciements</b> .....      | I   |
| <b>Résumé</b> .....             | II  |
| <b>Abstract</b> .....           | III |
| <b>ملخص</b> .....               | IV  |
| <b>Liste des figures</b> .....  | XII |
| <b>Liste des tableaux</b> ..... | XV  |

### **Chapitre introductif :**

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| 1.Introduction.....              | 1 |
| 2.Problématique.....             | 1 |
| 3.Hypothèses.....                | 3 |
| 4.Objectifs du travail.....      | 3 |
| 5.Méthodologie de recherche..... | 3 |
| 6.Structure du mémoire.....      | 4 |

### **Partie I : Données théoriques de la recherche**.....5

#### **Chapitre I : Approche conceptuelle, et méthodologie d'une opération de Réhabilitation du Bâti ancien**.....6

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Introduction</b> .....                                                              | 7  |
| <b>I-Concepts et définitions :</b> .....                                               | 7  |
| I-1-Patrimoine.....                                                                    | 7  |
| I-2-Patrimoine Bâti.....                                                               | 7  |
| I-3-Monument.....                                                                      | 7  |
| I-4-Secteurs sauvegardés.....                                                          | 8  |
| I-5-Vulnérabilité.....                                                                 | 8  |
| <b>II-Etat des lieux du patrimoine architectural en Algérie :</b> .....                | 8  |
| <b>III-les opérations d'intervention pour la préservation du patrimoine Bâti</b> ..... | 9  |
| III-1-La Réhabilitation.....                                                           | 9  |
| III-1-2-Types de la Réhabilitation.....                                                | 10 |
| III-1-2-1-Réhabilitation légère.....                                                   | 10 |
| III-1-2-2-Réhabilitation moyenne.....                                                  | 10 |
| III-1-2-3-Réhabilitation Lourde.....                                                   | 11 |
| III-1-2-4-Réhabilitation Exceptionnelle.....                                           | 11 |
| III-1-3-Pourquoi Réhabiliter et pour qui Réhabiliter.....                              | 11 |
| III-1-4-La Réhabilitation et le cadre Réglementaire en Algérie.....                    | 11 |
| III-1-4-1-Loi n°90-08 du 17 avril 1990 relative à la commune.....                      | 12 |
| III-1-4-2-du 7 avril 1990 relative à la wilaya.....                                    | 12 |
| III-1-4-3-Loi 90-29 du 01 décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme..... | 12 |
| III-2-La Restauration.....                                                             | 12 |

|                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| III-3-La Rénovation .....                                                                                       | 13        |
| III-4-La conservation.....                                                                                      | 13        |
| III-5-L'entretien.....                                                                                          | 13        |
| IV-Présentation d'une méthode de Réhabilitation (méthode Réhabimed).....                                        | 14        |
| IV-1-Le Pré-diagnostic.....                                                                                     | 15        |
| IV-1-1-Etablissement des Hypothèses provisoires.....                                                            | 15        |
| IV-1-2-Etude Pluridisciplinaire.....                                                                            | 15        |
| IV-1-2-1- Etude Sociale.....                                                                                    | 15        |
| IV-1-2-2-Etude Historique.....                                                                                  | 16        |
| IV-1-2-3-Etude Architecturale.....                                                                              | 16        |
| IV-1-2-3-a-Le relevé graphique.....                                                                             | 16        |
| IV-1-2-3-b-le relevé topographique.....                                                                         | 17        |
| IV-1-2-3-c-Le relevé Photogrammétrique.....                                                                     | 17        |
| IV-1-2-4-Etude constructive et inspection des désordres.....                                                    | 17        |
| IV-2-Le diagnostic.....                                                                                         | 19        |
| IV-3- Reflexion et cadre de décision.....                                                                       | 19        |
| IV-4-Le Projet.....                                                                                             | 19        |
| IV-5- La Réhabilitation.....                                                                                    | 19        |
| IV-6-L'entretien.....                                                                                           | 20        |
| V-La Réhabilitation sismique du Bâti Existant.....                                                              | 20        |
| V-1-Evaluation de la vulnérabilité sismique du Bâti existant.....                                               | 20        |
| V-2-La méthode AFPS pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique du Bâti Existant.....                        | 20        |
| <b>Conclusion.....</b>                                                                                          | <b>22</b> |
| <b>Chapitre II : Structure en maçonnerie du 19em et 20em siècle, différentes typologies et pathologies.....</b> | <b>23</b> |
| <b>Introduction.....</b>                                                                                        | <b>24</b> |
| II-1-La maçonnerie.....                                                                                         | 24        |
| II-2-Différentes typologies de la maçonnerie.....                                                               | 24        |
| II-2-1-La maçonnerie du Moellon.....                                                                            | 24        |
| II-2-1-2-Types de Moellons.....                                                                                 | 25        |
| II-2-1-2-a-Le moellon Brut.....                                                                                 | 25        |
| II-2-1-2-b-Le moellon d'assise.....                                                                             | 25        |
| II-2-1-2-c-Le moellon d'appareillage.....                                                                       | 25        |
| II-2-2-La maçonnerie de Brique.....                                                                             | 26        |
| II-2-3-La maçonnerie de pierre de Taille.....                                                                   | 26        |
| II-2-4-La maçonnerie mixte.....                                                                                 | 26        |
| II-2-5-Les différents liants.....                                                                               | 26        |
| II-2-5-1-L'argile.....                                                                                          | 26        |
| II-2-5-2-le Plâtre.....                                                                                         | 26        |
| II-2-5-3-La chaux.....                                                                                          | 27        |
| II-2-5-4-Le ciment.....                                                                                         | 27        |
| II-2-5-5-Les mortiers.....                                                                                      | 27        |
| II-3-La maçonnerie jusqu'au 19em siècle.....                                                                    | 27        |

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II-3-1-Les structures verticales.....                                                     | 27 |
| II-3-1-1-Les fondations.....                                                              | 27 |
| II-3-1-2-Fondations sur bon sol.....                                                      | 28 |
| II-3-1-3- Fondation sur mauvais sol.....                                                  | 28 |
| II-3-1-3-a-fondations sur pieux.....                                                      | 28 |
| II-3-1-3-b Fondation sur radier ou sur grille de charpente.....                           | 28 |
| II-3-1-3-c- Fondations sur puis foncée a la main.....                                     | 29 |
| II-3-2-Maçonnerie des murs.....                                                           | 29 |
| II-3-2-1-Murs en moellons.....                                                            | 29 |
| II-3-2-2-Murs en brique.....                                                              | 29 |
| II-3-2-3-Murs en pierre de Taille.....                                                    | 29 |
| II-3-2-4-Murs en maçonnerie mixte.....                                                    | 30 |
| II-3-2-5-Chainage en pierre de Taille.....                                                | 30 |
| II-3-2-6-Chainage en bois.....                                                            | 30 |
| II-3-3-Les structures horizontales.....                                                   | 31 |
| II-3-3-1-Les planchers.....                                                               | 31 |
| II-3-3-1-a-Les planchers en voutains des hauts caves.....                                 | 31 |
| II-3-3-1-b-Les planchers en voutains des Etages.....                                      | 31 |
| II-3-3-1-c-Les planchers en bois.....                                                     | 31 |
| II-4-Evolution de la maçonnerie durant la deuxième moitié du 19 <sup>ème</sup> siècle.... | 33 |
| II-4-1-Structures verticales.....                                                         | 33 |
| II-4-1-1-Le pan en bois avec remplissage en maçonnerie.....                               | 33 |
| II-4-1-2-Le Pan en fer avec Remplissage en maçonnerie.....                                | 33 |
| II-4-1-3- chainage et ancrage en fer.....                                                 | 34 |
| II-4-2-Structures horizontales.....                                                       | 34 |
| II-4-2-1-Les planchers.....                                                               | 34 |
| II-4-2-1-a-Les planchers métalliques.....                                                 | 34 |
| II-4-2-1-b-Les planchers métalliques avec voutains en brique pleine.....                  | 35 |
| II-4-2-1-c-Les planchers métalliques avec Hourdis en auget.....                           | 35 |
| II-4-2-1-d-Les planchers métalliques avec Hourdis plein.....                              | 36 |
| II-4-2-2-Les escaliers.....                                                               | 36 |
| II-5-Pathologies des fondations.....                                                      | 37 |
| II-5-1- Tassement différentiel des sols.....                                              | 37 |
| II-6-Pathologie des murs porteurs.....                                                    | 37 |
| II-6-1- Pathologies des défauts de constructions.....                                     | 37 |
| II-6-2-Murs en fruits et en contre Fruits.....                                            | 37 |
| II-6-3- Pathologies dues au tassement différentiel de la fondation.....                   | 38 |
| II-6-4-Deséquilibre de l'ensemble murs+fondations.....                                    | 38 |
| II-6-5- Différents types de fissures d'un mur porteur en pierre.....                      | 38 |
| II-6-6- Desordres autour de la baie dans un mur en pierre ou en brique.....               | 39 |
| II-6-7-Fractures verticales au niveau des sections internes des murs.....                 | 39 |
| II-6-8-Ecrasement et bombement de la façade.....                                          | 39 |
| II-6-9-Pathologies dues aux mouvements sismiques.....                                     | 40 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| II-7-Desordres des planchers.....                                      | 40 |
| II-7-1-Pathologies affectant les planchers sur arcs et sur voutes..... | 40 |
| II-7-2-Pathologies affectant les planchers en bois.....                | 41 |
| II-7-3-Pathologies affectant les planchers métalliques.....            | 42 |
| II-8- Pathologies des toitures et des système de recouvrement.....     | 42 |
| II-9-Autres pathologies.....                                           | 43 |
| II-9-1-Pathologies de l'humidité.....                                  | 43 |
| II-9-1-1-pathologies de l'humidité ascensionnelle.....                 | 43 |
| II-9-1-2-Pathologies des infiltrations directes.....                   | 43 |
| II-9-1-3-la condensation.....                                          | 43 |
| II-1-1-4- les effets de l'humidité.....                                | 43 |
| II-9-2-Altération des matériaux.....                                   | 44 |
| II-9-2-1-La dégradation de la pierre.....                              | 44 |
| II-9-2-2-la dégradation du bois.....                                   | 44 |
| II-9-2-3-La dégradation des enduits.....                               | 44 |
| II-9-3-Pathologies liées au climat.....                                | 45 |
| II-9-3-1- Actions de la température.....                               | 45 |
| II-9-3-2- Actions du gel et du dégel sur la pierre.....                | 45 |
| II-9-3-3-Actions du vent.....                                          | 45 |
| II-9-4-Pathologies liée à la présence de la végétation.....            | 46 |
| II-9-5-Actions de la pollutions atmosphérique.....                     | 47 |
| <b>Conclusion :</b> .....                                              | 47 |

## **Chapitre III : Techniques de consolidation des ossatures en Maçonnerie et traitement des désordres.....48**

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Introduction</b> .....                                                 | 49 |
| III-1-La Réhabilitation entre notions de durabilités et de sismicité..... | 49 |
| III-1-1-La Réparation.....                                                | 50 |
| III-1-2-Le renforcement.....                                              | 50 |
| III-2-Consolidation des Fondations.....                                   | 50 |
| III-2-1-Injection du sol sous la fondation.....                           | 51 |
| III-2-2-Consolidation en sous œuvre et élargissement de la fondation..... | 51 |
| III-2-3-Consolidation en micro pieux.....                                 | 52 |
| III-3-Réparation d'un mur porteur en maçonnerie.....                      | 52 |
| III-3-1-Remplacement des parties endommagées.....                         | 52 |
| III-3-2-Lutter contre les fissures par décalage des joints.....           | 52 |
| III-3-3-Reprise des fissures.....                                         | 53 |
| III-3-4-Réparation des fissures par fixations du grillage.....            | 53 |
| III-3-5-Reprise d'une fissures par colmatage.....                         | 53 |
| III-3-6-Réparation du gonflement des murs.....                            | 53 |
| III-3-7-Réparation d'un mur par injection du coulis.....                  | 55 |

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| III-4-Renforcement d'un mur en maçonnerie.....                                           | 56        |
| III-4-1-technique de chemisage pour le renforcement d'un mur en maçonnerie...            | 56        |
| III-4-2-Renforcement d'un poteau ou d'un tronçon d'un mur par un gainage en Acier.....   | 57        |
| III-4-3-Renforcement par un contreventement métallique.....                              | 58        |
| III-4-4-Renforcement par un contreventement métallique amorti.....                       | 58        |
| III-4-5-Renforcement par collage à base de fibre de carbone FRC.....                     | 59        |
| III-4-5-1-comparaison entre le collage à base de fibre et de carbone.....                | 61        |
| III-4-6-Renforcement par ajout de précontraints extérieurs.....                          | 61        |
| III-4-7-Renforcement par taxidermie avec des barres d'acier.....                         | 62        |
| III-5- Consolidation et réparation des planchers.....                                    | 62        |
| III-5-1-Renforcement par profilés et tirants métallique du plancher en voutain.....      | 62        |
| III-5-2-Renforcement par gainage d'un plancher métallique avec remplissage.....          | 63        |
| III-5-3-Renforcement d'un plancher métallique par technique du plancher collaborant..... | 64        |
| III-5-4-Renforcement d'un plancher en bois par montant intermédiaire.....                | 64        |
| III-5-5-Traitement des saignées au niveau des appuis des planchers en bois.....          | 65        |
| III-6-Renforcement des arcs en maçonnerie par gainage.....                               | 65        |
| III-7-Traitement des toitures et des systèmes de recouvrement.....                       | 66        |
| III-8-Taitement des pathologies dues à l'humidité.....                                   | 66        |
| III-9-Traitement des végétaux sur la maçonnerie.....                                     | 68        |
| <b>Conclusion :</b> .....                                                                | 69        |
| <b>Partie II : Partie pratique de la recherche.....</b>                                  | <b>70</b> |
| <b>ChapitreIV : Analyse de la réhabilitation du lycée Emir AbdelKader.....</b>           | <b>70</b> |
| <b>Introduction.....</b>                                                                 | <b>71</b> |
| IV-1-Présentation du site.....                                                           | 72        |
| IV-1-1-Situation géographique.....                                                       | 72        |
| IV-1-2-Hisorique de l'occupation française a l'Algérie.....                              | 72        |
| IV-1-3-Vulnérablité du site.....                                                         | 73        |
| IV-1-3-1-Aléa des inondations.....                                                       | 74        |
| IV-1-3-2- Aléa des séismes.....                                                          | 74        |
| IV-1-3-3-Aléa du mouvement du terrain.....                                               | 75        |
| IV-1-3-4-Aléa de la pollution.....                                                       | 76        |
| IV-1-4-Le choix du cas d'étude.....                                                      | 76        |
| IV-1-5-Le Lycée Emir AEK localisation et Aperçue historique.....                         | 77        |
| IV-1-5-1-Situation.....                                                                  | 77        |
| IV-1-5-2-Aperçue Historique.....                                                         | 77        |
| IV-1-5-3-Configuration spatiale du Lycée.....                                            | 78        |
| IV-1-5-4-Division administrative du lycée.....                                           | 80        |
| IV-1-5-5-La partie lycée.....                                                            | 81        |
| IV-1-6-Tendance et style Architecturale.....                                             | 83        |
| IV-1-7-Lecture de la typologie structurelle .....                                        | 84        |

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| IV-1-7-1-La structure ancienne.....                                                    | 84  |
| IV-1-7-1-a-La structure verticale portante.....                                        | 84  |
| IV-1-7-1-b-Arcades et murs de séparation.....                                          | 85  |
| IV-1-7-1-c-La structure horizontale.....                                               | 85  |
| IV-1-7-1-e-La structure de couverture.....                                             | 87  |
| IV-1-7-2-La structure récente.....                                                     | 87  |
| IV-2- La réhabilitation du lycée Emir Abdelkader.....                                  | 88  |
| IV-2-1-L'état des lieux avant les travaux.....                                         | 89  |
| IV-2-1-1-Elements Verticaux.....                                                       | 89  |
| IV-2-1-2-Elements horizontaux.....                                                     | 90  |
| IV-2-1-3-Etat de l'électricité et des conduites d'eau.....                             | 90  |
| IV-2-1-4-Avis techniques et les recommandations mentionnées avant travaux.....         | 91  |
| IV-2-2-Les travaux de Réhabilitation.....                                              | 91  |
| IV-2-2-1-Piliers et Arcades.....                                                       | 91  |
| IV-2-2-2-Les planchers.....                                                            | 92  |
| IV-2-2-3-La toiture.....                                                               | 93  |
| IV-2-2-4-Murs cloison et escaliers.....                                                | 94  |
| IV-2-2-5-Le château d'eau.....                                                         | 94  |
| IV-2-2-6-l'électrecite.....                                                            | 95  |
| IV-2-2-7-Plombrie sanitaire.....                                                       | 95  |
| IV-2-2-8-Menuiserie, Ferronnerie.....                                                  | 95  |
| IV-3- L'analyse de la réhabilitation effectuée.....                                    | 95  |
| IV-3-1-Le pré-diagnostic.....                                                          | 95  |
| IV-3-1-1-L'établissement d'une hypothèse.....                                          | 95  |
| IV-3-2-L'étude pluridisciplinaire.....                                                 | 96  |
| IV-3-2-1-L'analyse structurelle.....                                                   | 96  |
| IV-3-2-1-a-La géométrie en Plan.....                                                   | 96  |
| IV-3-2-1-b-La régularité structurelle en Plan.....                                     | 96  |
| IV-3-2-1-c-La régularité géométrique en Plan.....                                      | 98  |
| IV-3-2-1-d-La régularité géométrique et structurelle en élévation.....                 | 99  |
| IV-3-3-Conclusion de l'analyse structurelle.....                                       | 99  |
| IV-3-4-Evaluation de la vulnérabilité sismique du cas d'étude Avec la Méthode AFPS.... | 100 |
| IV-3-4-1-Conclusion de l'analyse de la vulnérabilité sismique.....                     | 101 |
| IV-3-5-Comportement du bloc de l'administration vis-à-vis les effort du séisme.....    | 101 |
| IV-3-5-1-l'absence des chainages horizontaux au dernier niveau.....                    | 101 |
| IV-3-5-2-l'absence des chainages au niveaux des linteaux des ouvertures.....           | 102 |
| IV-3-5-3-l'absence des chainages verticaux au niveaux des murs porteurs.....           | 102 |
| IV-3-5-4-Absence des chainages d'angle.....                                            | 103 |
| IV-3-6-Recomandations techniques.....                                                  | 103 |
| IV-3-6-1-Critères de choix de la technique de renforcement.....                        | 103 |
| IV-3-6-2-Mesures à établir avant le renforcement.....                                  | 104 |
| IV-3-6-3-Techniques de renforcement proposées.....                                     | 105 |
| IV-3-6-3-a-Renforcement des murs porteurs intérieurs par technique de chemisage.....   | 105 |

|                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| IV-3-6-3-b-Renforcement des murs de la façade extérieure (gainage interne pour les arcades de la galerie, et chemisage du mur pignon)..... | 109 |
| IV-3-6-3-La création d'un chainage horizontal en Béton Armé.....                                                                           | 112 |
| IV-3-6-4-La restauration de la façade extérieure apres les travaux.....                                                                    | 115 |
| IV-3-6-5-Renforcement de la structure récente (cas de la salle de sport du bloc4).116                                                      |     |
| IV-3-6-6- La démolition du château d'eau.....                                                                                              | 117 |
| <b>Conclusion :</b> .....                                                                                                                  | 118 |
| <b>Conclusion générale</b> .....                                                                                                           | 119 |
| <b>Bibliographie :</b> .....                                                                                                               | 123 |
| <b>Annexes</b> .....                                                                                                                       | 126 |

## Liste des Figures :

### Chapitre Introductif

|                                                             |   |
|-------------------------------------------------------------|---|
| Fig.1.photo ancienne du lycée Emir Abdelkader ver 1918..... | 2 |
| Fig 2 schéma représentatif de la structure du mémoire.....  | 5 |

### Chapitre I

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig1.3 : Schéma représentant les différentes étapes de la méthode de réhabilitation Réhabimed.....            | 14 |
| Fig 1.4 : organigramme de l'étape 2 (étude pluridisciplinaire) de la méthode de réhabilitation Réhabimed..... | 18 |

### Chapitre II

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig 2.5 : Maçonnerie de moellon : vocabulaire de base.....                                                        | 25 |
| Fig2.6 : Fondation sur libage à empattement successifs.....                                                       | 28 |
| Fig 2.7 : Fondation à redan sur un terrain en pente.....                                                          | 28 |
| Fig 2.8 : Fondations sur Pieux reliée par longrines.....                                                          | 28 |
| Fig 2.9: Fondation sur grille de charpente ou plate-forme.....                                                    | 28 |
| Fig 2.10 : Fondation sur puits.....                                                                               | 29 |
| Fig 2.11 : Maçonnerie de moellon avec garni et joint traversant.....                                              | 29 |
| Fig 2.12 : Mur en maçonnerie de Brique détérioré .....                                                            | 29 |
| Fig 2.13 : Mur détérioré en Maçonnerie mixte.....                                                                 | 30 |
| Fig 2.14 : Chaine d'angle en pierre de taille à l'angle de deux murs en moellon.....                              | 30 |
| Fig 2.15 : chainage vertical en pierre de taille.....                                                             | 30 |
| Fig 2.16 : Un chainage horizontal en bois.....                                                                    | 30 |
| Fig 2.17 : composants du plancher en voutains des hauts caves.....                                                | 31 |
| Fig2. 18 : composants du plancher en voutains des étages.....                                                     | 31 |
| Fig 2.19 : Plancher en bois travure simple.....                                                                   | 32 |
| Fig 2.20 : Plancher en bois travure composée.....                                                                 | 32 |
| Fig 2.21 : détails d'un plancher en bois.....                                                                     | 32 |
| Fig 2.22 : Refend longitudinal en pan de bois (milieu du 19em siècle).....                                        | 33 |
| Fig 2.23 : Refend en pan de fer (Fin du 19em siècle).....                                                         | 34 |
| Fig 2.24 : Chainage vertical en fer (seconde moitié du 19em siècle).....                                          | 34 |
| Fig 2.25 : Composition d'un plancher métallique.....                                                              | 35 |
| Fig 2.26 : Composition d'un plancher métallique avec voutains en brique pleine.....                               | 35 |
| Fig 2.27 : Composition d'un plancher métallique avec Hourdis en auget.....                                        | 35 |
| Fig 2.28 : Composition d'un plancher métallique avec Hourdis plein.....                                           | 36 |
| Fig 2.29 : Désordre du au tassement différentiel des fondations.....                                              | 38 |
| Fig 2.30: Effort résultant d'un tassement différentiel entre jambages et mur et fissure au niveau de la baie..... | 39 |
| Fig 2.31 : Fracture verticale dans la section interne des murs due aux efforts de compression.....                | 39 |
| Fig 2.32 : Bombement de la façade suite à une charge centré par la toiture.....                                   | 40 |
| Fig 2.33 : écrasement de la façade due aux poussées des ouvertures.....                                           | 40 |
| Fig 2.34 : Fissure en croix entre les ouvertures due au mouvement multidirectionnel lors d'un séisme.....         | 40 |
| Fig 2.35 : déformation d'un plancher sous la poussée d'un arc.....                                                | 41 |
| Fig 2.36 : déformation d'un plancher en bois.....                                                                 | 41 |
| Fig 2.37 : Fissuration d'un plancher en bois (sous-dimensionnement).....                                          | 41 |
| Fig 2.38 : plancher affecté par les Infiltrations.....                                                            | 42 |
| Fig 2.39 : corrosion des poutrelles métalliques D'un plancher en voutain.....                                     | 42 |
| Fig 2.40 : Humidité ascensionnelle du bas au haut de mur.....                                                     | 43 |
| Fig 2.41 : Humidité due à l'action de pluie.....                                                                  | 43 |
| Fig 2.42 : phénomène de condensation.....                                                                         | 43 |
| Fig 2.43 : dégradation du mortier d'un mur en pierre.....                                                         | 44 |
| Fig 2.44 : putréfaction d'un plancher en bois sous l'effet de l'humidité.....                                     | 44 |
| Fig 2.45 : Cloquage de l'enduit sous l'effet de l'humidité.....                                                   | 44 |
| Fig 2.46 : Un soulèvement des tuiles suit à un vent fort.....                                                     | 45 |
| Fig 2.47 : Prolifération de la végétation dans les soubassements d'un mur en pierre.....                          | 46 |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| Fig 2.48 : Développement de la mousse dans les joints..... | 46 |
| Fig 2.49 : Présence d'un figuier dans un mur.....          | 47 |
| Fig 2.50 : Racine dans un mur de soutènement.....          | 47 |

## Chapitre III

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig 3.51 : Injection du sol sous pression sous la fondation.....                                             | 51 |
| Fig 3.32 : consolidation d'une fondation en sous œuvre en maçonnerie.....                                    | 51 |
| Fig3.53 : consolidation d'une fondation en sous œuvre de BA.....                                             | 51 |
| Fig 3.54 : Consolidation d'une fondation par un micro pieux.....                                             | 52 |
| Fig 3.55 : Décalage des joints entre les assises horizontales pour éviter les fissures en coup de sabre..... | 53 |
| Fig 3.56 : Reprise d'une fissure par grillage.....                                                           | 53 |
| Fig 3,57 : Délimitation, décapage de la bande saine et préparation des trous.....                            | 54 |
| Fig 3,58 : Ferrailage, coulage de la gaine et réparation de la zone gonflée.....                             | 55 |
| Fig 3,59 : Technique du soutènement d'un mur gonflé.....                                                     | 55 |
| Fig 3,60 : emplacement des injecteurs dans un mur.....                                                       | 56 |
| Fig 3,61 : injection du coulis sous pression.....                                                            | 56 |
| Fig 3, 62 : coupe illustrant d'un chemisage d'un mur en maçonnerie.....                                      | 57 |
| Fig 3,63 : Renforcement d'un local par chemisage.....                                                        | 57 |
| Fig 3. 64 : Gainage d'un tronçon d'un mur (vue d'angle).....                                                 | 57 |
| Fig 3. 65 : coupe illustrant le Gainage d'un tronçon d'un mur (vue d'angle).....                             | 57 |
| Fig. 3, 66 : renforcement par contreventement d'un métallique bâtiment.....                                  | 58 |
| Fig. 3,67 : Contreventement amorti d'un bâtiment.....                                                        | 58 |
| Fig. 3,68 : Exemple d'un amortisseur.....                                                                    | 58 |
| Fig. 3, 69 : utilisation de la technique du DC 90 dans la résidence du Consule de la Finlande.....           | 59 |
| Fig. 3, 70 : renforcement d'une maçonnerie porteuse en RFC.....                                              | 60 |
| Fig. 3, 71 : renforcement de la structure du pont El Harrach en RFC.....                                     | 60 |
| Fig. 3, 72 : renforcement d'un plancher d'un parking en RFC.....                                             | 60 |
| Fig. 3, 73 : renforcement d'une voute en RFC.....                                                            | 60 |
| Fig 3, 74 : Propriétés des matériaux composites de pointe (Priestley et cou. 1996).....                      | 61 |
| Fig. 3, 75 : renforcement par ajout de précontraints extérieurs APC El Harrach.....                          | 61 |
| Fig 3, 76 : Renforcement par des barres d'acier à l'intérieur des murs.....                                  | 62 |
| Fig 3, 77 Section général et principe du montage des tirants métalliques.....                                | 63 |
| Fig 3, 78 : Renforcement par gainage d'un plancher métallique avec remplissage.....                          | 63 |
| Fig 3, 79 : Renforcement d'un plancher métallique par la technique du plancher collaborant.....              | 64 |
| Fig 3, 80 : Montant intermédiaire en acier divisant la portée en trois parties.....                          | 64 |
| Fig 3, 81 : Supplément de résistance en bois.....                                                            | 64 |
| Fig 3, 82 : traitement des saignées et renforcement des solives en bois endommagées.....                     | 65 |
| Fig 3, 83 : technique de renforcement d'un arc en maçonnerie par gainage.....                                | 65 |
| Fig 3, 84 : Le renforcement de la structure en bois des toitures par des armatures post-contraintes.....     | 66 |
| Fig. 3, 85 : principe de fonctionnement de la technique de l'électro-osmose.....                             | 67 |
| Fig. 3, 86 : les siphons en terre cuite employés dans le procédé de Knappen.....                             | 68 |

## Chapitre IV

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 4,87 : Limites administratives de la commune de la Casbah..... | 72 |
| Fig. 4,88 : Vue panoramique de la Casbah d'Alger.....               | 72 |
| Fig. 4,89 : Tissu arborescent traditionnel de la Casbah.....        | 73 |
| Fig. 4,90 : Tissu colonial en Damier.....                           | 73 |
| Fig. 4,91 : Inondation de Bâb el oued 2001.....                     | 74 |
| Fig. 4,92: Habitat précaire.....                                    | 75 |

|                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 4, 93 : Carte du zonage de Risque du mouvement de terrain.....                                                                                          | 76  |
| Fig. 4,94 : Photo Aérienne du Lycée Emir Abdelkader.....                                                                                                     | 77  |
| Fig. 4,95 : Photo ancienne du lycée vers 1912.....                                                                                                           | 78  |
| Fig. 4,96: Bombardement de la façade principale par le Luftwaffe en 1942.....                                                                                | 78  |
| Fig. 4,97 : Volumétrie du lycée Emir avec les différents blocs, cours et passerelles.....                                                                    | 78  |
| Fig. 4,98 : Façade principale du lycée.....                                                                                                                  | 79  |
| Fig. 4,99 : Cour centrale du lycée.....                                                                                                                      | 79  |
| Fig. 4,100 : Façade Latéral du bloc administration.....                                                                                                      | 79  |
| Fig. 4,101 : Cour intérieur de la bibliothèque.....                                                                                                          | 79  |
| Fig. 4,102 : Division administrative de l'établissement.....                                                                                                 | 80  |
| Fig. 4,103 : La bibliothèque ex chapelle avec pinacle.....                                                                                                   | 80  |
| Fig. 4,104 : La bibliothèque ex chapelle avec pinacle.....                                                                                                   | 80  |
| Fig. 4,105 : Plan RDC de l'administration.....                                                                                                               | 81  |
| Fig. 4,106 : Coupe sur le bloc de l'administration.....                                                                                                      | 82  |
| Fig. 4.107 : Coupe sur la galerie reliant le bloc 3 et 4.....                                                                                                | 82  |
| Fig. 4,108 : Décomposition de la façade principale du lycée.....                                                                                             | 83  |
| Fig. 4,109 : L'entrée majestueuse du Lycée avec un escalier en perron.....                                                                                   | 84  |
| Fig. 4,110 : Mur extérieur en maçonnerie de moellon Au RDC, étage colonne de forme hexagonale en pierre de calcaire et remplissage avec la Brique rouge..... | 84  |
| Fig. 4,111 : Colonnes de la galerie de forme hexagonale.....                                                                                                 | 85  |
| Fig. 4,112 : arcade en brique pleine sur colonne en pierre,Mur du garde-corps avec maçonnerie du Moellon.....                                                | 85  |
| Fig. 4,113 : grande voute supportant le plancher de l'entresol.....                                                                                          | 85  |
| Fig. 4,114 : Coupe AA : détail plancher en voutain.....                                                                                                      | 86  |
| Fig. 4,115 : Coupe BB : détail plancher en voutain.....                                                                                                      | 86  |
| Fig. 4,116 : Détail toiture.....                                                                                                                             | 87  |
| Fig. 4,117 : colonnes intermédiaires, salle de Gym.....                                                                                                      | 87  |
| Fig. 4,118 : la salle de sport au 3em étage du bloc 4.....                                                                                                   | 88  |
| Fig. 4,119 : Fissures au niveau des arcades.....                                                                                                             | 89  |
| Fig. 4,120 : Escalier dépourvu de marche et de palier de Repos.....                                                                                          | 89  |
| Fig. 4,121,122 : Dégradation du revêtement des murs suit à l'action de l'humidité.....                                                                       | 90  |
| Fig. 4,123 : Corrosion avancée des Solives métallique du plancher en voutain des sanitaires.....                                                             | 90  |
| Fig. 4,124 : rupture de fermes en bois et soulèvement des tuiles.....                                                                                        | 90  |
| Fig. 4,125, 126 : état final des galeries après la finition.....                                                                                             | 92  |
| Fig. 4,127: La pose des faux plafonds en lattis roseaux.....                                                                                                 | 92  |
| Fig. 4,128: Reprise de l'étanchéité en multicouche.....                                                                                                      | 92  |
| Fig. 4,129: Reprise du revêtement du sol.....                                                                                                                | 93  |
| Fig. 4,130: Etat du plancher de la galerie après finition des travaux.....                                                                                   | 93  |
| Fig. 4,131: Etat de dégradation avancé des plancher du bloc 4.....                                                                                           | 93  |
| Fig. 4,132: reprise par plancher collaborant plancher du bloc 4.....                                                                                         | 93  |
| Fig. 4,133 Coupe détaillée du plancher collaborant.....                                                                                                      | 93  |
| Fig. 4,134 : Nettoyage et repose des bonnes tuiles.....                                                                                                      | 95  |
| Fig. 4,135 : Détaillé de la reprise des gouttières des eaux pluviales.....                                                                                   | 95  |
| Fig. 4,136: Pose de marche et de contre marche en marbre.....                                                                                                | 95  |
| Fig. 4,137 : Revêtement mural en mignonette.....                                                                                                             | 95  |
| Fig. 4,138 : Rapport longueur/largeur du bloc.....                                                                                                           | 96  |
| Fig. 4,139 : Régularité structurelle niv +00.00.....                                                                                                         | 97  |
| Fig. 4.140 : Régularité structurelle niv +4.18.....                                                                                                          | 98  |
| Fig. 4.141 : Régularité structurelle niv +10.40.....                                                                                                         | 98  |
| Fig. 4.142 : Régularité structurelle niv +16.45.....                                                                                                         | 99  |
| Fig. 4.143 : Régularité structurelle niv +16.45.....                                                                                                         | 99  |
| Fig. 4,144 : Régularité structurelle en élévation.....                                                                                                       | 100 |
| Fig. 4.145 : Effondrement de la charpente en bois.....                                                                                                       | 102 |

|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 4.146 : Dislocation dans la partie haute du mur.....                                                                    | 102 |
| Fig. 4.147 : Fissure dans la partie haute du mur due à l'absence du chaînage horizontal.....                                 | 103 |
| Fig. 4.148 : Fissure en croix au niveau des linteaux.....                                                                    | 103 |
| Fig. 4.149 : Fissures en diagonal dues à l'absence des chaînages.....                                                        | 104 |
| Fig. 4.150 : Dislocation au niveau des angles due à l'absence des.....                                                       | 104 |
| Fig. 4.151: Disposition des parois du chemisage au RDC niveau 00.00.....                                                     | 108 |
| Fig. 4.152 : Disposition des parois du chemisage au RDC niveau+ 4.18.....                                                    | 108 |
| Fig. 4.153 : Disposition des parois du chemisage étage courant.....                                                          | 109 |
| Fig. 4.154 : Détail, chemisage d'un mur.....                                                                                 | 109 |
| Fig. 4.155 : coupe d'un mur chemisé.....                                                                                     | 110 |
| Fig. 4.156 : Chemisage d'angle du mur pignon.....                                                                            | 110 |
| Fig. 4.157 : Coupe du chemisage d'angle.....                                                                                 | 110 |
| Fig. 4.158 : Renforcement du mur pignon par chemisage, la galerie par gainage interne.....                                   | 112 |
| Fig. 4.159 : Détail 1 ; Renforcement d'un pilier de la galerie par gainage interne.....                                      | 112 |
| Fig. 4.160 : Elévation montrant le gainage interne des arcades de la galerie.....                                            | 113 |
| Fig. 4.161 : Disposition du chaînage horizontal en B.A.....                                                                  | 113 |
| Fig. 4.162 : Détail 1, chaînage dans le cas des solives métalliques reposant sur le mur.....                                 | 114 |
| Fig. 4.163: Détail 2 chaînage horizontal périphérique.....                                                                   | 115 |
| Fig. 4.164 : Détail 3, élévation montrant la liaison entre le chaînage horizontal et le chaînage vertical de la galerie..... | 115 |
| Fig. 4.165 : Chaînage et liaison entre le mur et la charpente en bois.....                                                   | 116 |
| Fig. 4.166: Différence de niveau de façade de 5cm induit par le chemisage.....                                               | 116 |
| Fig. 4.167 : Reprise de la différence de niveau dans la façade par un enduit grillagé de deux couches.....                   | 117 |
| Fig. 4.168 : Disposition des contreventements horizontaux de la toiture.....                                                 | 117 |
| Fig. 4.169 : Disposition des X de contreventement latéral.....                                                               | 118 |
| Fig. 4.170 : Détail du contreventement métallique latéral en.....                                                            | 118 |
| Fig. 4.171 : Le château d'eau sur terrasse.....                                                                              | 119 |

## **Liste des Tableaux :**

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 1 : évaluation qualitative de la présomption de vulnérabilité sismique de la méthode AFPS..... | 21  |
| Tableau 2 : Propriétés des matériaux composites de pointe.....                                         | 63  |
| Tableau 3 : évaluation qualitative de la présomption de vulnérabilité sismique du cas d'étude.....     | 101 |
| Tableau 4 : Tableau comparatif entre le chaînage en béton armé et le chemisage.....                    | 112 |

## 1.Introduction :

L'Algérie et au long de son histoire a connu la succession de plusieurs civilisations, ces dernières ont marqué leur passage par l'édification de nombreuses merveilles architecturales qui demeurent jusqu'à nos jours ; c'était le cas notamment pour la période de la colonisation française au cours d'un siècle et trois décennies. Un patrimoine riche, un langage architectural diversifié et représentatif d'une valeur culturelle, mais malheureusement qui est devenu vulnérable au fil du temps face aux mutations irréversibles. Cet héritage se trouve actuellement dans un état de dégradation très avancé menaçant à la fois l'hygiène, le confort et la sécurité de ses occupants.

Vue cet état vétuste dans lequel se trouve ce cadre bâti, des interventions urgentes telles que des opérations de réhabilitation et de restauration sont nécessaires afin d'améliorer en premier lieu les conditions de vie des usagers, la stabilité structurelle de ces ouvrages, et en fin assurer leur pérennité dans le temps pour les transmettre aux générations futures.

Cependant, la prise en charge du patrimoine colonial dans le cadre des opérations de la réhabilitation urbaine en Algérie nécessite une pensée spécifique se rapportant surtout aux exigences de ces constructions et de ses habitants. Pour se faire une étude approfondie de la vulnérabilité du bâti existant est indispensable, cette dernière doit prendre en charge plusieurs critères dont l'âge du bâtiment, le matériau et le type de structure utilisés, l'usage ainsi que son état de maintenance sont les facteurs les plus importants à analyser afin de déterminer les méthodes et les techniques d'interventions les plus adéquates.

Les constructions anciennes sont avant tout un assemblage de plusieurs matériaux liés par des mortiers. Parmi les constructions anciennes, celles qui sont construites en maçonnerie, cette typologie reste l'une des techniques traditionnelles les plus utilisées dans notre pays, « nombre d'entre eux sont menacés par l'effondrement, à cause de l'absence de pratique de conservation et renforcement, il existe une variété de gamme de travaux à effectuer, elle peut s'étendre de l'amélioration technique ponctuelle à la restructuration lourde ». « **L.Idir, 2012** »

Tout en admettant que la durabilité des éléments structurels est intimement liée aux caractéristiques physicochimiques et mécaniques des matériaux utilisés, la capacité portante de ces ouvrages doit être améliorée si ces éléments sont fissurés suite aux dégâts inattendus tels que les tremblements de terre ou les inondations. A ce sujet, l'exécution des travaux de renforcement d'un monument historique exige une maîtrise des techniques et une connaissance en profondeur des spécificités de l'architecture traditionnelle (y compris celle qui est construite en maçonnerie). «**X. Casanova, 2007** »

## 2.Problématique générale :

Il s'avère qu'avec le temps, plusieurs facteurs se réunissent en contribuant à l'affaiblissement des constructions anciennes construites en maçonnerie. « *Les principales causes de dégradation des constructions sont : le vieillissement des matériaux, les variations des températures, les charges climatiques, les mouvements des terrains, l'augmentation des surcharges au-delà de la valeur prévue...* ». « **P. Brenda 2004** »

Il existe encore d'autres pathologies structurelles qui peuvent remettre en cause la stabilité des constructions :

- Terrains instables ou peu résistants.
- Fondations sous dimensionnées, non résistantes ou excentrées.
- Racines d'arbres trop proches.
- La base des murs exposée à l'action de l'eau, aux heurts accidentels de véhicules, de bestiaux, ou de résultats de travaux périodiques de voirie et d'agriculture.
- Mauvaise exécution des murs : absence de calepinage des bandes, emplacement des clefs de bandes non rebouchés, variation dans les terres employées, compactage irrégulier, une teneur en eau très inférieure ou supérieure à l'optimal (provoquant une réduction de la cohésion ou des fissures de retrait).

En Algérie, et Même si la volonté de construire une histoire scientifique et surtout architecturale, dépassant les séquelles du colonialisme, s'est affirmée à partir des années 80, une idée très répandue aujourd'hui, Ce patrimoine est victime de manque d'entretiens et d'interventions maladroites. .

Cette situation inquiétante nous mène à poser la problématique suivante :

- ***Les travaux de réhabilitation et de restauration effectués sur les vieux édifices historiques sont-ils en mesure d'assurer leur stabilité afin de les préserver et les transmettre aux générations futures ?***

## 2.1.Cas d'étude :

Notre cas d'étude s'agit de L'ex grand lycée d'Alger ou Lycée Bugeaud d'Alger, actuel Lycée Emir Abdelkader qui se situe à Bâb-El-Oued face au bâtiment de la DGSN et adossé au jardin de Prague (ex-Marengo). C'est le plus ancien lycée d'Alger qui fut bâti entre 1862 et 1868 sur les plans des architectes *Claudé et Giauchain*.



**Fig. 1 : Photo ancienne du lycée ver 1918**

Source : [www.cdha.fr](http://www.cdha.fr).

Vue l'importance de cet édifice, et dans le cadre de la politique nationale de remettre en valeur les constructions historiques, des travaux de réhabilitation ont été effectués touchant essentiellement les parties endommagées de cet établissement, après avoir détecté une certaine vulnérabilité dans quelques blocs de ce derniers.

L'opération de réhabilitation et de restauration dans le lycée a touché deux types d'ossatures revenant à deux époques différentes. La partie qui nous intéresse est celle de l'époque ancienne construite en murs porteurs en pierre (moellon) liée par un mortier à base d'argile et chaux associées à des colonnes en pierres taillées jointes entre elles.

## 2.2.Problématiques spécifiques :

Afin de répondre à notre problématique générale, nous allons d'abord essayer de trouver des réponses aux questions suivantes :

- Quel est le système structurel utilisé dans la construction de notre cas d'étude ? et quels sont les matériaux employés ?
- Quels types de travaux ont été exécutés pour la réhabilitation du lycée Emir ?
- La notion de la sismicité de cette construction est-elle prise en charge ?
- Les travaux de réhabilitation ont-ils réglé les problèmes structurels de l'édifice ?
- Existe-il un risque de voir d'autres dommages structurels sur le moyen ou le long terme ?
- Comment peut-on intervenir afin d'améliorer le comportement de la structure existante vis-à-vis aux différentes aléas ?

## 3.Les hypothèses :

- **La première hypothèse** : l'état actuel du système structurel du lycée émir lui permet de résister face aux différents aléas, du coup, les travaux exécutés étaient superficiels.
- **La deuxième hypothèse** : le système structurel est vulnérable et nécessite une intervention de réhabilitation plus pertinente permettant d'améliorer sa capacité de déformation son subir de dégâts apparents

## 4. L'objectif du travail :

- Déterminer les spécificités architecturales et structurelles du patrimoine bâti en maçonnerie du 19ème siècle en Algérie.
- Mettre le doigt sur les vraies causes de la dégradation du cadre bâti de cette typologie structurelle
- Définir la réhabilitation en tant que méthodologie et techniques d'intervention.
- La proposition d'une solution technique afin de réduire la vulnérabilité structurelle du lycée émir Abdelkader.

## 5. Méthodologie de recherche :

Afin d'atteindre notre objectif tracé, nous allons suivre dans la présente recherche les étapes suivantes :

1. Une recherche bibliographique afin de contourner notre thème de recherche, cette première touchera :
  - La méthodologie d'une opération de réhabilitation, le cadre réglementaire en Algérie, ainsi que quelques notions et concepts de base ayant une relation avec notre thème.

- La typologie structurelle en maçonnerie, ses caractéristiques ainsi que les principaux désordres qu'ils y affectent
  - Les techniques d'intervention les plus fréquents pour le renforcement de cette typologie structurelle.
2. L'analyse de notre cas d'étude et le diagnostic de sa vulnérabilité en se basant sur :
- La description du lycée, de ses spécificités historiques, architecturales et ses caractéristiques structurelles.
  - La collecte des données concernant l'état de l'édifice avant sa réhabilitation et après l'exécution des travaux tout en prenant les documents fournis par le bureau d'étude chargé de l'opération et le control technique comme référence.
  - L'enquête sur terrain, la prise des photos et la modélisation 3D du bâtiment
  - Vérification de la conformité du système construction avec le règlement du RPA 2003
  - Le diagnostic de la vulnérabilité de l'édifice selon la méthode AFPS.
3. La proposition d'une réhabilitation structurelle du lycée émir afin de réduire sa vulnérabilité.

## **6. La structure du mémoire :**

Notre mémoire se présentera sous la forme de trois grandes parties :

La première est une partie théorique englobant trois chapitres :

- Le premier chapitre combinera entre les définitions des concepts liés à notre thème de recherche, l'état des lieux du patrimoine architectural du 19<sup>ème</sup> et du 20<sup>ème</sup> siècle en Algérie, et les différentes opérations d'intervention pour la préservation du vieux bâti notamment l'opération de la réhabilitation, tout en donnant des exemples sur des méthodes de réhabilitation qu'on pourrait exploiter dans les parties qui suivent dans la recherche.
- Le deuxième chapitre tiendra en compte des constructions en maçonnerie en général, celle en maçonnerie de pierre dans notre pays précisément, de l'évolution de leurs structures au fil du temps, et enfin des différentes pathologies qui peuvent y affecter.
- Le troisième chapitre viendra ensuite compléter son précédent, pour mettre les doigts sur les techniques et les modes d'interventions les plus utilisés pour remédier aux différents pathologies cités.

La deuxième partie pratique de recherche reposera sur le bagage constitué lors de la partie bibliographique et traitera :

- Une analyse de la zone d'étude et par la suite du cas d'étude.
- Le diagnostic de la vulnérabilité du lycée Emir.
- La proposition d'une réhabilitation structurelle du lycée

La troisième et la dernière partie de notre recherche, il sera question d'établir un récapitulatif de notre travail, tout en donnant une réponse sur notre problématique et nos hypothèses supposées au départ, et en présentant les résultats atteints à la finalité de notre recherche.

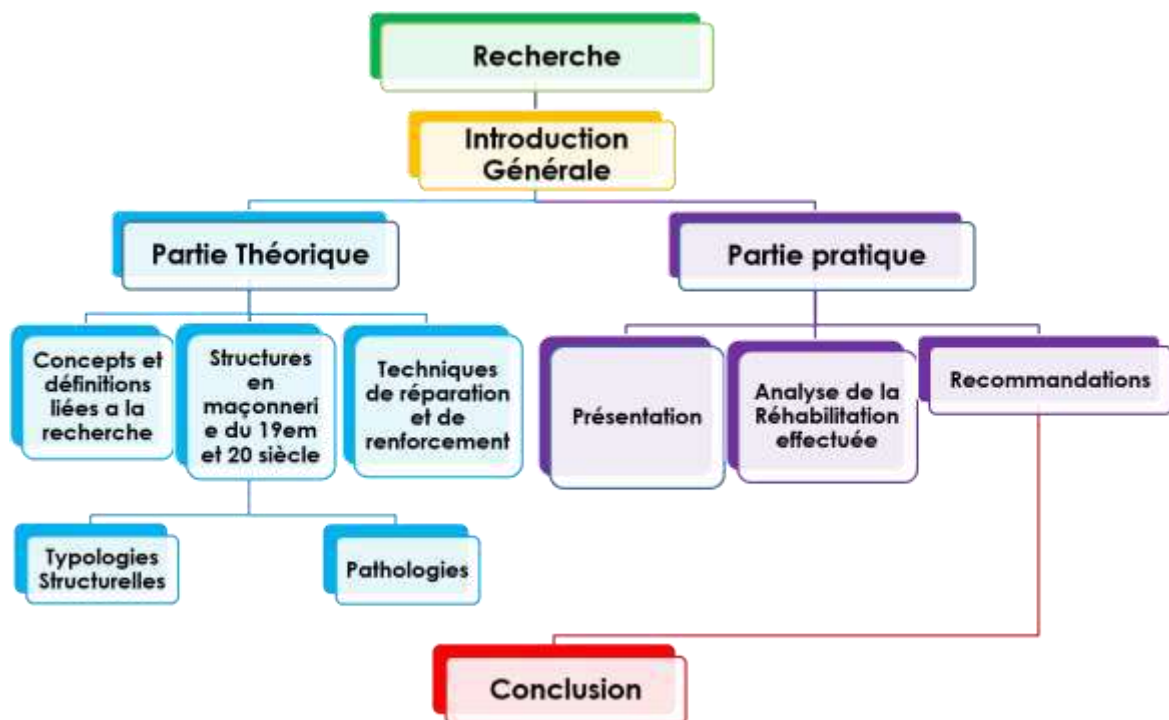


Fig. 2 : schéma représentatif de la structure du mémoire

# PARTIE I : Données Théoriques de la Recherche

## Chapitre I : Approche conceptuelle, et méthodologie d'une opération de Réhabilitation du Bâti ancien

## Introduction :

Dans le présent chapitre, nous aborderons les différents concepts et définitions théoriques ayant une relation avec notre champ de recherche, Il s'agira donc de mettre l'accent sur l'état des lieux du patrimoine bâti en Algérie ainsi que les différents modes d'intervention pour la préservation de ce dernier

En admettant que notre thème se base essentiellement sur de la réhabilitation, il sera nécessaire donc de présenter cette opération en tant que méthodologie d'intervention, les différents échelles sur laquelle elle intervienne et les domaines aux quelle elle fait appel.

## I-Concepts et définitions

### I-1-Le patrimoine :

D'origine latine « *Patrimonium* » désigne dans son sens large l'ensemble des biens hérités du père et de la mère et l'ensemble des biens de la famille.

Aujourd'hui ce concept s'est élargi pour atteindre la totalité des biens hérités du passé, du plus lointain au plus proche, soit d'ordre culturel ou soit d'ordre naturel, en se basant essentiellement sur deux principes : la possession la transmission. Par ailleurs, pour qu'un bien devienne « un patrimoine », il faut donc qu'une collectivité humaine, se l'approprie et le considère comme valeur communautaire locale régionale ou nationale. « **La Rousse 2010** ».

### I-2-Le patrimoine bâti :

Le patrimoine bâti était une expression utilisée pour qualifier uniquement les monuments historiques dont les experts reconnaissaient leurs valeurs exceptionnelle. Après la charte de Venise en 1967, le terme patrimoine s'est étaler pour arriver aux œuvres modestes ayant acquis une valeur culturelle à travers le temps. « **Ait Hamouda.I 2013** ». Pour les biens intéressant l'architecture et l'urbanisme il s'agissait bien donc de : « **Bouanane Khentouche.N 2008** »

- Les monuments prestigieux ou historiques.
- Les biens immobiliers patrimoniaux.
- Les ensembles historiques.
- Les secteurs sauvegardés.
- Les espaces publics.
- Les secteurs d'extension urbaine.
- Patrimoine Archéologique.
- Les milieux naturels.
- Le paysage urbain et naturel.

### I-3-Monument :

Depuis la période de la renaissance jusqu'au 20 siècle, le concept du patrimoine était toujours associé aux monuments. D'origine latine « *monumentum* » le concept monument est dérivé du mot « *monère* » ayant comme signification avertir ou rappeler le souvenir d'un personnage ou

d'un événement. Au fil du temps la notion du monument a évolué, selon l'historien Alois RIEGL on peut distinguer trois types de monuments :

- **Le monument voulu ou monument mémoire** : qui est l'œuvre érigée avec l'intention de maintenir à jamais présents dans la conscience humaine des générations futures des événements ou des faits particuliers.
- **Le monument de l'art** : une œuvre humaine tangible, visible et audible et qui se distingue par sa valeur artistique.
- **Le monument d'histoire** : tirant leur valeur au laps de temps, et qui renvoient vers une période particulière de l'histoire.

#### **I-4-Secteurs sauvegardés :**

Les secteurs sauvegardés sont mis en place dans le but de protéger le cadre urbain et architectural et permettre une évolution harmonieuse entre ces premiers et les nouvelles fonctions apparues dans les villes contemporaines. Pour se faire les (PPSMVSS) ou le plan permanent de sauvegarde fixe l'ensemble des règles et des servitudes à respecter tout en s'inscrivant dans une continuité avec le plan d'aménagement et d'urbanisme. « **L.Frier 1997** »

Un secteur sauvegardé peut être défini comme une mesure de protection portant selon la loi sur un ensemble immobilier urbain ou rural qui se caractérise par sa prédominance de zone d'habitat et qui par son homogénéité et par son unité architecturale et esthétique présente un intérêt historique, architectural, artistique ou traditionnel qui en justifie la protection, la restauration, la réhabilitation et la mise en valeur.

#### **I-5-Vulnérabilité :**

L'état de vulnérabilité d'un bâtiment s'exprime dans son niveau de fragilité. En effet un bâtiment est dit vulnérable lorsque son état de maintenance ne lui permet pas de faire face aux multiples risques sans subir de dommages apparents. L'évaluation de la vulnérabilité d'un bâtiment existant se fait à l'aide d'une analyse d'inspection des différents facteurs qui y l'affectent, parmi ces facteurs, l'âge du bâtiment, les matériaux et le type de structure utilisé ainsi que son état de maintenance et son type d'usage sont les éléments les plus essentiels à identifier. « **F.Amireche, 2011** »

### **II- L'état des lieux du patrimoine architectural en Algérie :**

Dans nos jours, la richesse architecturale léguée par les différentes civilisations subit un ensemble de problèmes tels que la dégradation du cadre bâti, du cadre de vie et le manque de la prise en charge par l'état du à l'absence d'une politique continue de protection, ainsi que l'absence total du mouvement associatif spécialisé dans la préservation du patrimoine dans notre pays.

Si les médinas construites par la population locale ont réussi à préserver le patrimoine architectural non touché par la colonisation française, le patrimoine de la période du 19<sup>em</sup> et du 20<sup>em</sup> siècle semble souffrir de plus de problèmes suite à la réunion de plusieurs facteurs.

Sachant qu'après l'indépendance la population des grandes villes se sont explosée comme une conséquence du phénomène de l'exode rurale, cet accroissement est arrivé jusqu'à 150 % dans certaines villes tels que Tlemcen et Constantine voir même à 200 % dans les villes côtières tels qu'Alger et Annaba. L'héritage colonial est donc récupéré dans sa totalité par les Algériens, car au bout de quelques semaines après l'indépendance, les constructions à usage d'habitation ont été complètement occupée, du coup il était très difficile parfois voire même impossible de désigner les vrais propriétaires de ces logements. « F.Amireche, 2011 »

Il est important à souligner qu'il existe deux types d'héritage colonial :

- le premier cas ce sont des monuments publics ou les nouveaux ministères et les sièges administratifs s'y sont installés. Cette catégorie des bâtiments se trouvent dans un très bon état vue que leurs entretiens sont pris en charge par les autorités locales. Par contre il y en a d'autres établissements tels que les lycées et les collèges, leur état de conservation se diffère d'un cas à un autre souvent selon leur valeur et importance.
- Le deuxième cas s'agit-il des habitations privées qu'elle soit individuelles ou collectives, ces dernières se voient actuellement dans un état de dégradation très avancé.

Pour le deuxième cas des habitations qui sont devenues le nouveau cadre de vie de ces occupants, et sachant que les habitants sont dans leur majorité des arrivants des zones rurales, ces derniers se sont retrouvés dans une situation contradictoire ou l'espace vécu n'obéit pas à leurs besoins et à leurs pratiques sociales vue la grande différence entre les deux modes de vies. Cette populations et afin d'approprier l'espace bâti avec leurs pratiques s'est autorisé à apporter quelques modifications sur l'aménagement de ces appartements, un réaménagement anarchique et qui n'est pas basé sur des études dans la majorité des bâtisses a affaibli leurs stabilités structurelle.

En plus de ces facteurs cités, la situation financière de ces familles ne leur permette pas d'effectuer des travaux d'entretien car il se contente souvent de payer le loyer en attendant des actions de l'état pour prendre en charge leur cas.

En conclusion nous pouvons dire que même s'il y a une bonne volonté de l'état de préserver cette richesse architectural à travers les travaux d'entretien de restauration ou de réhabilitation, le problème reste plus profond puisque ces travaux ne doivent pas se limiter aux monuments historiques de grande envergure et les établissements occupés par les administrations mais aussi aux constructions occupées par les simple citoyens et qui présente une valeur patrimoniale.

### **III-Les opérations d'intervention pour la préservation du patrimoine :**

#### **III-1-La Réhabilitation**

La réhabilitation est un processus d'intervention sur le bâti ancien, pour améliorer les conditions de vie des habitants sans porter atteinte aux valeurs patrimoniales de l'édifice. Cette opération

pourra, selon les cas et l'état de l'intervention du bâti ancien, connaître quatre niveaux d'intervention aussi importante l'une que l'autre : la réhabilitation légère (touchant l'enveloppe- nettoyage et réfection légère/ au côté esthétique), la réhabilitation moyenne, la réhabilitation lourde et exceptionnelle qui englobe les interventions sur les structures verticales, horizontales et fondations. « Casanova 2007 »

Elle est définie aussi dans la charte de Lisbonne comme étant les « *travaux dont la finalité est la récupération et la remise en état d'une construction, une fois résolues toutes les anomalies constructives, fonctionnelles d'hygiène et de sécurité cumulées tout au long des années, et menant à bien une modernisation dont le but est de lui faire mieux remplir ses fonctions, jusqu'à s'approcher des actuels niveaux d'exigence* »

Il existe donc une multitude de définitions de l'opération de la réhabilitation, mais enfin toutes ces définitions tournent autour du même contexte, ce dernier récapitule la réhabilitation comme étant une opération qui consiste, d'une part, à améliorer l'état constructif du bâti, et d'autre part, à assurer le confort thermique, acoustique ainsi que les meilleures conditions d'hygiène aux occupants « Casanova 2007 ». D'une manière générale, cette opération doit prendre en charge « l'intégrité de la structure, de son caractère et de sa forme toute en étant compatible avec les standards de la vie acceptable ».

Ce qui il faut retenir enfin de ces définitions, c'est que la réhabilitation est faite pour prolonger la durée de vie d'un bâtiment et de le protéger pour le transmettre aux générations futures en bon état. Ceci nécessite une conciliation de plusieurs domaines (historiques, architectural, et technique), une connaissance de près de l'objet d'étude pour déterminer les pathologies, comprendre les causes pour arriver à la fin de proposer solutions adéquates.

### **III-1-2- Types de réhabilitation « J. Drege, J. Puttati, c. Illouz, 1997 ».**

#### **III-1-2-1-Réhabilitation légère :**

Concerne les constructions bien conservées, elle consiste à améliorer des équipements ciblés de l'édifice (sanitaire, peinture, électricité) sans avoir touché les parties communes de l'habitation tels que les escaliers ou les installations de chauffage central. En outre cette opération n'exige pas un déplacement des habitants dans le cas d'un immeuble à usage d'habitation, il suffit juste d'organiser les travaux d'une manière cohérente et veiller au bon déroulement du chantier à l'aide des applications particulières.

#### **III-1-2-2-Réhabilitation moyenne :**

C'est une opération qui vise à réhabiliter les constructions dont la structure n'a pas subi de grands dommages. Au contraire de la première celle-ci peut toucher les parties communes de la construction comme la peinture de la cage d'escalier dans le cas d'un immeuble résidentiel, en allant jusqu'aux espaces privatifs des logements. Elle peut aussi améliorer le confort du bâtiment comme l'installation des systèmes de climatisation ou de chauffage, car ces derniers n'induisent pas des modifications dans le cloisonnement intérieur des logements.

### **III-1-2-3-Réhabilitation lourde :**

C'est une opération en plus des opérations précédentes, comprend une redistribution des logements par étages ou des pièces par logements. L'intervention sur les parties communes de la bâtisse est plus complète, elle comporte en plus un ravalement des façades, la réfection des toitures, mais surtout elle touche les maçonneries et le gros œuvre.

### **III-1-2-4-Réhabilitation exceptionnelle :**

Une opération très lourde et très délicate qui nécessite le déplacement des habitants, elle se présente dans des immeubles qui se trouvent dans un état de dégradation très avancé. Elle permet de les remettre en état en biais des renforcements, voir même remplacer certaines parties comme la toiture, la cage d'escalier et les installations diverses. Cette opération complexe peut aller jusqu'à la reprise ou le remplacement de la structure porteuse si la stabilité de ce bâtiment est menacée.

### **III-1-3-Pourquoi réhabiliter et pour qui réhabiliter ? :**

Avant d'entamer une opération de réhabilitation, il faut d'abord connaître les raisons pour lesquelles doit-on réhabiliter et pour qui on va le faire. C'est pour cette raison que la manipulation de cette opération nécessite une gestion de la situation. Les enjeux peuvent être d'ordre démographique et social : c'est le cas où on décide de réhabiliter pour une population attachée à son bien et dont le déplacement de cette population risque d'affaiblir l'équilibre social. Dans des cas différents on décide de réhabiliter pour renouveler la population dans certaines zones, l'objectif c'est d'avoir plus d'attractivité en attirant de nouvelles catégories d'occupants de différentes couches sociales (étudiants, jeunes ménages, personnes âgées... etc.). L'enjeu ici donc se manifeste par une mobilité qui résulte d'une mixité sociale et d'une régularité du marché du logement.

Les enjeux changent aujourd'hui d'une situation à une autre, cependant la mise à jour de ces premiers est indispensable pour les maîtres d'ouvrages qui sont obligés à effectuer des études approfondies des objets d'étude et de ses occupants afin de déterminer les objectifs. Une concertation des différents acteurs donc est nécessaire (propriétaires privés et publics, élus locaux, représentants des habitants, services de l'état, travailleurs sociaux, commerçants, artisans...). C'est une démarche qui se base sur le dialogue avec la population (propriétaire ou locataire). Ces derniers auront un grand impact dans la détermination des enjeux et des objectifs de l'opération de la réhabilitation. « Soukan, Dahli, 2012 ».

### **III-1-4- La réhabilitation et le cadre réglementaire en Algérie :**

Sachant que le mouvement associatif concernant la préservation du patrimoine n'est pas une idée très répandue dans notre pays, ce patrimoine est donc pris en charge par les autorités algériennes. Pour ceci de nombreuses dispositions relatives à la sauvegarde du bâti existant figurent, dans le corpus des textes législatifs et réglementaires algériens.

Parmi ces dispositions, il existe celles qui désignent de manière explicite la réhabilitation, comme mode à mettre en œuvre pour conserver le bâti existant, en outre, d'autres dispositions

dans ce même corpus législatif sous-entendent la réhabilitation dans l'usage des termes polysémiques, de préservation, sauvegarde, restauration et rénovation.

#### **III-1-4-1-Loi n°90-08 du 17 avril 1990 relative à la commune :**

Dans le cadre de la protection du patrimoine architectural, la présente loi en vertu de son article 93, rend la commune responsable de la préservation et de la protection des sites et monuments existant sur son territoire, de même, la loi charge la commune de la responsabilité de la sauvegarde du caractère esthétique et architectural des agglomérations. Plus loin, la loi dans son article 106 stipule entre autres, que la commune à compétence en matière d'habitat, d'encourager et d'organiser toute association d'habitants, en vue de mettre en œuvre des opérations de sauvegarde, d'entretien et /ou de rénovation d'immeubles ou de quartiers. « **Joradp n°15, 1990, p.420** ».

#### **III-1-4-2-du 7 avril 1990 relative à la wilaya :**

Au chapitre réservé à l'habitat, l'article 82 de la présente loi charge l'assemblée populaire de wilaya, d'apporter le soutien aux communes dans la mise en œuvre de leurs programmes d'habitat et à ce titre entre autres, de participer à des opérations de rénovation et de réhabilitation en concertation avec les communes. « **Joradp n°15, 1990, p.434** ».

#### **III-1-4-3-Loi 90-29 du 01 décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme :**

Concernant le traitement réservé au bâti existant dans le cadre de cette loi, notamment dans les principaux instruments d'aménagement et d'urbanisme (dont le plan directeur d'aménagement et d'urbanisme PDAU et le plan d'occupation des sols, POS), l'article 20 de la loi stipule, que le PDAU doit inclure dans les secteurs urbanisés qu'il déterminera, sur le territoire auquel il se rapportera, les parties du territoire à rénover, à restaurer et à protéger. Aussi, dans l'article 31 de la loi, il est indiqué que le plan d'occupation des sols est tenu à préciser, les quartiers, rues, monuments et sites à protéger, à rénover et à restaurer. A cet égard, cette loi reste insuffisante, au sujet des traitements réservés au bâti existant et cela en omettant de citer aussi dans ses articles 20 et 31 la réhabilitation, qui peut concerner une grande partie du bâti existant. « **Joradp n°52, 1990, p.1408** »

#### **III-2-La restauration :**

L'opération de la restauration est une intervention directe sur l'œuvre choisi en fonction de son importance, des qualités, et des valeurs qu'il possède et qui justifient cette intervention ayant comme but de remédier à ses défauts d'aspect ou de présentation et parfaire sa lecture, sa perception. Il s'agit de prolonger la vie d'une chose qui risque de mourir pour enfin le transmettre aux générations futures. Le débat sur cette notion est loin d'être fermé, l'objectif final de la restauration fait l'objet d'une grande problématique entre les chercheurs, s'agit-il de retrouver un état originel de l'édifice, un état parfait idéalisé selon un canon , ou un état conforme à notre gout ? De plus le fait d'intervenir sur l'œuvre implique sa modification, ce qui soulève le problème de l'authenticité. « **A. Laurent 2005** »

Comme la réhabilitation, avant d'entamer une restauration, une étude pluridisciplinaire est indispensable, cette dernière prendra en compte non seulement le cadre historique de l'œuvre

dans sa globalité pour mieux connaître les modifications apportées dans chaque période historique, mais aussi les matériaux et le type de structures utilisés. Ceci se fera en parallèle avec l'inspection des causes, des désordres et des dégradations remarqués pour enfin aboutir aux choix adéquats du type d'intervention exigé.

Dès que le type d'intervention est fixé, le choix des techniques traditionnelles ou innovantes devra se faire cas par cas, tout en donnant priorité aux dispositions les moins envahissantes et les plus respectueuses avec la valeur patrimoniale de l'édifice et en prenant en compte les exigences de sécurité et durabilité. A ce stade là, les mesures d'intervention doivent être réversibles le plus possible, de façon que si d'autres méthodes d'intervention plus adéquates sont découvertes, elles pourront être mises en œuvre. Dans le cas contraire ou les mesures d'intervention sont irréversibles, on doit assurer que les interventions futures puissent encore intervenir. « Icomos. 2003 »

### **III-3-La rénovation :**

La rénovation a comme définition dans le domaine du bâtiment une intervention qui vise à améliorer un bâti existant, par des interventions parfois profondes dites « lourdes », afin d'en prolonger la durée d'exploitation ou pour en modifier la fonction et cela se faisant, sous des préoccupations du renouvellement et de l'image architecturale du dit bâti à rénover. «Collectif Artémis, 2006».

La rénovation peut comporter comme intervention, la démolition de tout ou de la majeure partie du bâtiment à rénover, la modification des cloisonnements, le changement d'équipements,...etc. «P. Joffroy ,1999»

### **III-4-Conservation :**

C'est une opération qui vise à remédier aux défaillances de la matière d'un édifice pour parvenir à préserver ses valeurs et continuer à les jouir au fil du temps. Dans la conservation on peut distinguer la conservation préventive qui crée les conditions optimales de préservation et la conservation curative qui intervient sur l'objet directement pour retarder son altération. « A. Laurent 2005 »

### **III-5-L'entretien :**

Pour l'opération de l'entretien, elle peut intervenir juste après une étape du pré-diagnostic vue le bon état de la bâtisse, ainsi qu'après la finition des travaux de conservation et durant la vie utile du bâtiment. Il est défini selon la charte de Bourra dans son article 1.5 comme étant « *l'action continue qui prodigue des soins protecteurs à la matière et au contexte d'un lieu ou d'un bien patrimonial* ».

L'entretien programmé est dit donc correctif lorsqu'il s'agit d'une réparation des parties endommagées, tandis qu'il est préventif quand on intervient sur un élément avant sa détérioration en réalisant un calendrier qui gère les opérations d'entretien avec le temps. « J.Perret 1995 ».

## IV-Présentation d'une méthode de Réhabilitation « Méthode Réhabimed » :

Dans le domaine du bâtiment, il existe plusieurs méthodes de réhabilitation à employer. Nous allons présenter dans ce qui suit une des méthodes de réhabilitation les plus répandues, la méthode Réhabimed. Le choix de cette méthode s'est fait par rapport à la richesse de la documentation et des informations fournies par cette méthode, mais aussi par sa compatibilité avec notre cas d'étude vue qu'elle est destinée spécifiquement pour le patrimoine des différents pays méditerranéens dont notre objet d'étude en fait partie. Ayant comme objet d'étude l'architecture traditionnelle méditerranéenne, le projet Réhabimed mené par son chef Xavier Casanova, et dans le but de la mise en valeur et de la protection du patrimoine des différents pays méditerranéens, nous propose une méthode afin de promouvoir une réhabilitation efficace et respectueuse.

En suivant un cheminement successif, cette méthode de réhabilitation comprend au total quatre étapes indispensables. La première étape celle de la connaissance du bâti regroupe le pré-diagnostic et l'étude pluridisciplinaire de plusieurs domaines (Social, historique, architectural et constructif). La deuxième se basera essentiellement sur le diagnostic établi à partir de l'analyse pluridisciplinaire, tandis que la troisième phase c'est la phase du projet ou des travaux sur chantier. Dès que les trois étapes sont achevées on passera à l'étape de l'entretien, cette dernière se fera suivant un calendrier précis afin de préserver le bâti et garder son aspect final après l'opération de la réhabilitation le plus long possible du temps. « Casanova, 2007 »



Fig.1-3 : Schéma représentant les différentes étapes de la méthode de réhabilitation Réhabimed.

Source : Casnova 2007, Méthode Réhabimed P43

## **IV-1-Le pré-diagnostic :**

Une étape à effectuer lors de la première visite sur site, c'est le point de clé de la phase de l'inspection. Il est recommandé de rassembler le maximum des documents écrits relatifs au site ou à l'édifice (carte, plan, écrit, photos, etc.). C'est plutôt une observation primaire sur le système constructif, les valeurs architecturales et les pathologies qui l'affectent. Cette phase permettra aussi aux intervenants non seulement de déterminer la nature juridique du bien et des statuts légaux des occupants (locataires ou propriétaires), mais aussi d'établir une « rencontre –contacte » avec les habitants qui peut fournir des informations utiles sur le plan historique et qui seront considérées ensuite comme une source orale. Cette dernière va assurer l'implication directe de ces personnes dans le processus théorique de la réhabilitation, sachant qu'une telle opération ne sera réussie que lorsqu'elle fait intervenir tous les acteurs ayant une relation avec ce bien.

A souligner qu'à la fin de cette étape, un document doit être effectué appelé « le rapport du pré-diagnostic ». Ce document va juger la nécessité d'entamer une opération de réhabilitation ou seulement d'établir un simple entretien. Cette décision se fera à la base des informations recueillies sur l'état de la conservation du bâtiment notamment sur sa stabilité structurelle. A noter que ce rapport doit être à la portée de toutes personnes ayant une volonté d'envisager une opération de réhabilitation. « Casanova, 2007 »

### **IV-1-1-Etablir des hypothèses provisoires :**

-pour mieux cibler les recherches et en s'appuyant sur le rapport du pré-diagnostic, il est préférable de se fixer des objectifs pour l'étape suivante de l'analyse pluridisciplinaire. Pour se faire des hypothèses provisoires sont établies par les enquêteurs, ces dernières sont à confirmer ou à infirmer et reformuler selon les résultats obtenues par les différents domaines de l'analyse prévue. « Casanova, 2007 »

### **IV-1-2-L'analyse pluridisciplinaire :**

-une fois que le pré-diagnostic mène à la nécessité d'effectuer une opération de réhabilitation, une étude pluridisciplinaire est lancée touchant à son tour plusieurs domaines et faisant intervenir plusieurs acteurs. C'est une étude plus approfondie sur les différents aspects du bien concerné (historique, culturel, esthétique, physique...Etc.) « Casanova, 2007 »

#### **IV-1-2-1-Etude sociale :**

-une recherche sociologique est indispensable avant toute opération de réhabilitation, elle permettra d'une part, si l'intervention est importante, d'assurer un éventuel relogement des locataires ou propriétaire, et d'autre part, de déterminer leurs catégories socio-professionnelles. Ainsi que les liens qu'ils développent avec le bâti.

La préservation de l'architecture traditionnelle est tributaire des études anthropologiques afin de documenter les manières d'habiter, et de les rendre compatible avec les modes de vie.

#### **IV-1-2-2-Etude historique :**

-« L'analyse historique doit précéder l'analyse de l'œuvre. Il n'y a que les cas d'urgence qui peuvent justifier qu'il en soit autrement. La pertinence des observations faites sur l'œuvre est singulièrement renforcée par la connaissance des données historiques. Cependant la recherche historique n'est pas nécessairement arrivée à son terme quand on commence l'analyse de l'œuvre. Un retour raisonné à certaines sources peut permettre de conforter cette analyse »  
« Pérouse de Montclos, 2003 ».

De cette citation de Jean-Marie Pérouse, on constate la grande importance de l'aspect historique lors d'une opération de réhabilitation. L'enquête historique peut se faire de deux manières différentes, la première est basée sur les sources documentaires, archives notariales, archives familiales, photographies anciennes qui aideront ensuite à sa compréhension et son évolution à travers ses transformations, dans cette méthode-là, l'histoire orale les récits appuyés sur des textes décrivant l'architecture du bâtiment peuvent être de grand apport pour l'investigation historique « J.P Saint Aubin 1992 ». La deuxième manière est de considérer le bâtiment lui-même comme un document historique, ou on lit et on comprend son évolution, car ce dernier et par le biais de la méthode archéologique sera étudié comme une culture matérielle, parallèlement à son relevé graphique tel que (plan, coupe, façade, plan cadastral...etc.). De ce côté, les éléments faisant l'objet de l'étude sont :

- Analyse des matériaux : forme, type, gabarit, appareillage et origine géographique.
- Analyse des enduits et mortiers : composition physico-chimique, couleurs, stratification permettant l'identification. Le repérage des transformations du bâti et remaniements (perçement et rebouchage d'ouverture...etc.).

#### **IV-1-2-3-Etude Architecturale :**

-L'analyse architecturale traite l'ensemble des caractéristiques spatiales de l'œuvre architecturale tel que les dimensions, les modules, les typologies architecturales ainsi que les fonctions et les activités exercées dans le lieu. Elle permettra aussi de déterminer les parties originelles et les modifications apportées à travers le temps. Pour se faire, il est indispensable d'établir un relevé de l'édifice, ce dernier permet une meilleure connaissance et compréhension du bâtiment et de son architecture. Il s'agit d'une reproduction sur la base d'un dessin, conformément à l'état existant. Notant que la difficulté ici se traduit par l'irrégularité des plans dans la majorité des constructions traditionnelles. Le parement de ces dernières (couleurs, textures, irrégularité des façades) nécessite de son tour une participation pluridisciplinaire du fait que l'utilisation des couleurs et des peintures exigent une étude à base historico-artistique à la fois constructive des techniques traditionnelles d'exécution.

Cependant nous pouvons distinguer trois types de relevé :

##### **- a-Le relevé graphique :**

Cette méthode englobe deux parties à savoir le relevé manuel et le dessin graphique. Le premier s'effectue à l'aide des instruments de mesures classiques (le décamètre, le niveau à eau, jalons d'alignement, fil à plomb, boussole...etc.), il sera dessiné en

croquis (plan, élévations, coupes de la constructions sur lesquelles seront reportés des mesures, des indicateurs et des commentaires descriptifs), tandis que le dessin graphique est le développement de ces croquis en dessin technique en échelle avec des indications du nord, l'orientation, la date du relevé et de son auteur

- **b-Le relevé topographique :**

Pour plus de précision dans le relevé, on opte pour le relevé topographique, qui consiste à utiliser des instruments de mesures optiques pour les points inaccessibles, c'est un complément du relevé graphique.

- **C-Le relevé photogrammétrique :**

Pour la réduction du temps lors de l'intervention les photos sont d'un apport important, elles permettent de minimiser les croquis à dessiner, et de capter les détails architecturaux et esthétiques surtout que lors d'une visite certains détails échappent à l'intervenant.

#### **IV-1-2-4-Etude constructive et inspection des désordres :**

-Après l'étude architecturale, une étude constructive doit être établie. Cette dernière a comme objectif la reconnaissance de tous les éléments structuraux et constructifs du bâtiment. Le relevé des matériaux utilisés permet de recueillir leurs caractéristiques ainsi que leur état de conservation. L'état de la stabilité structurelle pourra être évalué ensuite à l'aide d'une étude géotechnique en analysant la cohérence structurelle de l'ensemble et la capacité de résistance et en vérifiant la connectivité du bâtiment (état et position) avec les infrastructures de base (réseau d'assainissement, de gaz, d'eau potable et de l'électricité).

A base de cette étude structurelle, les désordres et les déficits de la construction sont relevés. L'inspection visuelle consiste à déterminer l'origine du désordre de la part de sa forme, sa nature et son évolution à travers le temps. L'inspection systématique cherche du général vers le détail du désordre de l'élément structurel, et pour mieux de précision elle est assimilée aux instruments de mesures.

A la fin de cette étape, le relevé des désordres sera matérialisé par une cartographie sur laquelle apparaîtront les déficits apparents tels (les fissures et humidité) affectant les murs porteurs et les planchers à travers un examen précis au niveau de la façade. L'inspection des désordres permettra aussi de localiser les lésions (direction et profondeur), les aplombs ou gonflement des murs et le degré des salissures qui indique l'émergence d'une humidité. A noter aussi le degré de la stabilité et de la conservation au moment du relevé nécessite une étude scientifique approfondie qui exige la présence de plusieurs spécialistes (chimistes, géologue, biologiste et les responsables du control technique de la construction), des échantillons de l'édifice sont prélevés et envoyés pour les laboratoires pour des tests. « Casanova 2007 »

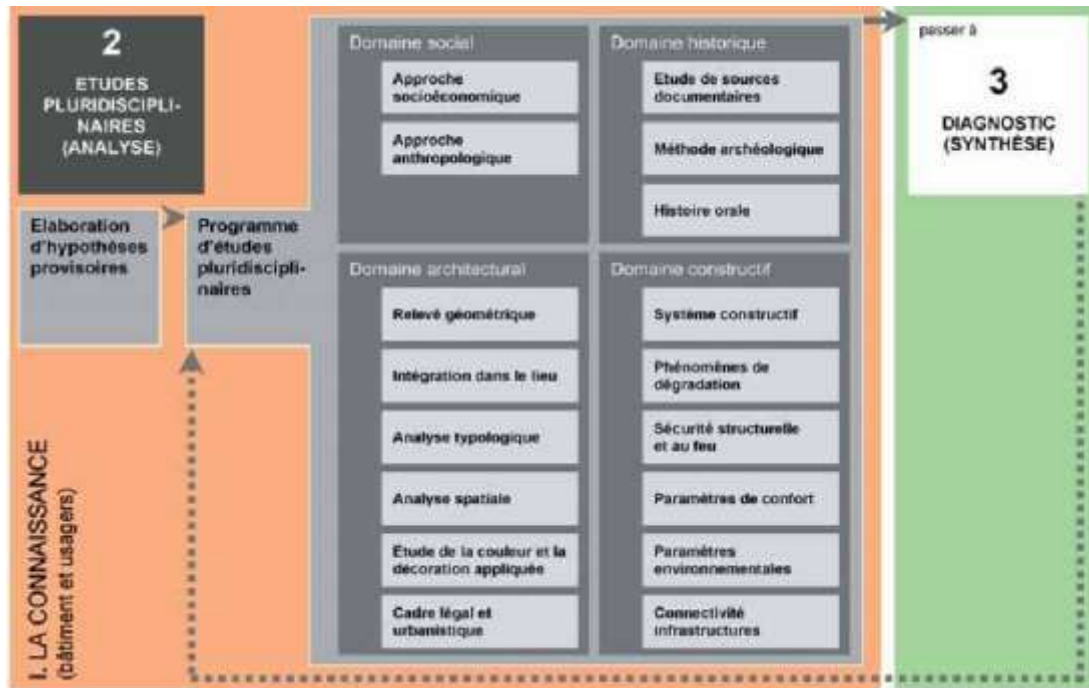


Fig.1-4 : organigramme de l'étape 2 (étude pluridisciplinaire) de la méthode de réhabilitation Réhabimed.  
Source : Casnova 2007, Méthode Réhabimed P43

## IV-2- Le Diagnostic :

Fondée sur l'étape précédente de l'analyse pluridisciplinaire, l'étape du diagnostic est une réflexion critique sur l'état actuel de la bâtisse ou on doit ordonner les informations en les fixant graphiquement sur le relevé géométrique du bâtiment. A ce niveau-là de l'étude on pourra également confirmer ou infirmer les hypothèses émises au départ. Enfin de cette phase il est recommandé d'établir un rapport nommé « rapport du diagnostic », ce dernier comporte globalement trois cartes :

- Carte des valeurs : là où on notera les valeurs spatiales, de couleur, historiques, artistiques de chaque partie de l'ensemble.
- Carte de déficits : on notera la problématique sociale, les prestations du bâtiment, les lésions et les dégradations.
- La carte des usages précédents et/ou existants sur laquelle on portera la manière dont il est ou a été utilisé le bâtiment avant l'intervention. « Casanova 2007 »

Après avoir établi le rapport du diagnostic, le choix du type de l'intervention peut se faire en fonction de l'importance des déficits rencontrés. Il se pourrait que les dommages rencontrés soient superficiels et ne nécessitent aucune opération de réhabilitation mais de simples entretiens. Dans le cas contraire on opte pour une des quatre types de réhabilitation cités.

### IV-3-Réflexion et cadre de décisions :

- **Faisabilité :** il s'agit de discuter avec le promoteur la possibilité de la mise en œuvre des travaux, en parallèle, un dialogue avec le propriétaire est nécessaire afin d'évaluer ses capacités économiques. A cette phase on établira trois études partielles : la première tiendra compte des parties de l'édifice qui vont être transformés ou ce qu'on appelle une carte de transformabilité, la deuxième abordera le nouveau programme proposé par le client ou par l'architecte, et la troisième mettra le doigt sur le cadre réglementaire vis-à-vis les règles de l'urbanisme.
- **Confirmation des critères :** sachant que les critères d'intervention sur l'architecture traditionnelle méditerranéenne ne sont pas fixes vue la diversité du langage architectural, cette étape a comme objectif de fixer les critères d'intervention pour chaque cas d'étude. A noter que la possibilité d'opter pour d'autres solutions telles que la restauration ou la conservation sera toujours gardée.
- **Cadre de décision :** dès que les critères d'intervention sont fixés, la décision concernant le type de la réhabilitation pourra être effectué tout en assurant l'équilibre entre les ressources économiques, la qualité du cadre de vie des usagers, la sécurité de l'édifice et la sauvegarde des valeurs patrimoniales de l'œuvre concerné.

### IV-4-Le projet

Comme tout projet à réaliser, l'état d'avant-projet est indispensable. Dans notre projet elle consiste à établir un profond dialogue avec les propriétaires pour assurer un processus participatif. Ceci est nécessaire en terme de mettre en rapport les réformes proposées les critères proposés et le bâtiment existant. Enfin le promoteur fera aussi partie de cette étape pour garantir la conformité des travaux à exécuter et le cadre réglementaire.

Une fois la phase de l'avant-projet est achevée, le projet pourra être entamé. Le projet développera en détail non seulement les démarches administratives à suivre et le cout des travaux, mais aussi les techniques d'intervention adéquates et possibles à réaliser. S'agira-t-il d'utilisation des techniques de réhabilitation traditionnelles ou moderne ? Tout dépendra de la faisabilité des travaux et des compétences des promoteurs. La réversibilité des travaux doit être assurée au maximum surtout en cas de découverte d'autres techniques de réhabilitation plus compatibles à la dernière minute.

### IV-5-La réhabilitation :

L'exécution des travaux de réhabilitation suivra un enchainement habituel commençant par la signature du contrat de la construction, en passant par l'obtention du permis de construire et l'exécution des travaux et en finissant par la livraison des travaux.

#### **IV-6-L'entretien :**

Si la majorité des bâtiments de l'architecture traditionnelle méditerranéenne se trouvent aujourd'hui dans un état vétuste, c'est parce qu'elles sont vulnérables en premier lieu mais aussi à cause d'absence d'une méthode d'entretien efficace. Si l'entretien correctif est déjà connu et se fait parallèlement aux travaux de réhabilitation, la méthode Réhabimed nous propose une autre méthode d'entretien nommée, l'entretien planifié et préventif. Il s'agit de se fixer des travaux d'entretien suivant un calendrier au fur et à mesure que des dégradations sont prévues. Il ne s'agira pas d'attendre que les dommages se produisent pour les réparer mais d'intervenir avant que les causes de ces dégradations réagissent sur l'œuvre pour éliminer ou au moins limiter les dégâts.

#### **V-La réhabilitation sismique du Bâti existant :**

Si les règles parasismiques sont bien claires aujourd'hui dans les constructions nouvelles, le séisme n'a pas été toujours été considéré de manière adéquaté dans les constructions ancienne.

La réhabilitation sismique du vieux bâti consiste à évaluer la vulnérabilité des constructions pour une mise aux normes, et leur assurer un comportement adéquat vis-à-vis des séismes.  
« F.Amireche, 2011 »

##### **V-1-Evaluation de la vulnérabilité sismique du bâti existant :**

L'évaluation de la vulnérabilité d'un bâtiment existant tiendra en compte de plusieurs paramètres et nécessite une analyse précise sur le comportement du bâtiment vis-à-vis le séisme. Cependant, la difficulté de cette opération en Algérie réside dans l'absence d'une méthode claire dans le règlement parasismique Algérien.

Les constructions patrimoniales en Algérie sont affrontées face à cette situation inquiétante, peu de travaux de réhabilitation effectués aujourd'hui prennent en compte le facteur de la sismicité dans le renforcement de ces richesses architecturales pour cette raison.

Pour bien cerner cette problématique nous allons présenter dans ce qui suit une méthode adoptée par l'Association Française du Génie Parasismique (AFPS) pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique du bâti existant.

##### **V-2-Méthode AFPS pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique du bâti existant :**

L'Association Française du Génie Parasismique a pour objet l'étude des tremblements de terre, celle de leurs conséquences sur le sol, sur les constructions et sur leur environnement, et la recherche et la promotion de toutes mesures tendant à minimiser ces conséquences et à protéger les vies humaines.

L'évaluation de la vulnérabilité du bâti existant est faite à l'aide d'un tableau d'évaluation, dans lequel une cote (coefficient de pénalité), est attribuée aux divers facteurs de vulnérabilité, ces

cotes permettent de calculer un coefficient k variant de 0 à 100. Selon la valeur de K on conclut sur une présomption de : « N.Attari 2015 »

- Très forte vulnérabilité  $k > 100$ .
- forte vulnérabilité  $50 < k < 100$ .
- Moyenne vulnérabilité  $25 < k < 50$ .
- Faible vulnérabilité  $10 < k < 25$ .
- Très faible vulnérabilité  $10 < k$ .

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

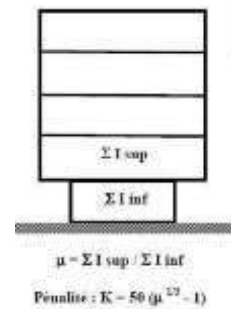
**Tableau 1 : évaluation qualitative de la présomption de vulnérabilité sismique de la méthode AFPS**

- Formule 1  $K = 50 (\mu^{1/3} - 1)$  avec  $\mu = \Sigma I \text{ supérieur} / \Sigma I \text{ inférieur}$
- Formule 2  $K = 25 (1000 \lambda - 5)^{2/4}$  avec  $\lambda = \Sigma I / S H$

**Dans ces formules :**  $\Sigma I$  = somme des inerties des segments de voile dans la direction de calcul ( $m^4$ )

$S$  = surface du plancher courant ( $m^2$ )

$H$  = hauteur totale du bâtiment (m)



## Conclusion :

Ce premier chapitre englobant les concepts clés de notre thème de recherche va nous servir ensuite comme une plateforme sur laquelle nous fonderont notre recherche.

La réhabilitation du bâti ancien en Algérie d'une part, n'est pas une idée très répandue, mis appart quelques monuments historiques ou des bâtiments à usage nécessaire, d'autre part l'absence d'une méthodologie de réhabilitation bien précise adopté par la loi, ou du règlement parasismique portant sur le bâti existant nous mets dans l'obligation de chercher d'autres méthodes étrangères adéquates avec les spécifiés de notre patrimoine.

Les deux méthodes présentées dans ce chapitre ne sont pas les uniques méthodes utilisées pour entamer une opération de réhabilitation ou évaluer la vulnérabilité sismique du bâti ancien, leur choix a été effectué en fonction de leur compatibilité avec notre thème de recherche mais aussi en raison de leur simplicité d'application sur notre cas d'étude, ces méthodes seront ensuite les fondations sur lesquelles nous allons amorcer notre partie pratique

# Chapitre II : structures en maçonnerie du 19<sup>ém</sup> et 20<sup>em</sup> siècle ; différentes typologies et pathologies

# Introduction

Dans cette partie de notre recherche on va aborder la typologie structurelle en maçonnerie, en se basant essentiellement sur la maçonnerie en pierre l'une des techniques de construction utilisées dans les bâtisses coloniales notamment celles du 19ème siècle, tout en mettant l'accent sur les différents sources de pathologies qui peuvent les affecter.

Dans une première partie, ce chapitre touchera non seulement les structures anciennes en maçonnerie, mais aussi l'évolution de ces dernières avec l'apparition de nouvelles technologies ayant un impact direct sur le domaine de la construction telle que l'invention du laminage grâce à la production industrielle du métal.

Quant à la deuxième partie du chapitre, on développera les pathologies les plus fréquentes qu'on peut les rencontrer dans une telle typologie structurelle, qu'elles soient résultantes des conditions climatiques, de défauts de construction, des désordres structurels, du facteur de temps ou de catastrophes naturelles.

## II-1-La maçonnerie :

Etant une des techniques qui utilise pour l'essentiel que des petits éléments hourdés au mortier, et qui ne nécessite pas par, la suite de grand moyen dans un chantier, la maçonnerie est considérée comme la technique la plus répandue au monde. On appelle maçonnerie « *un ouvrage composé de matériaux (blocs béton, briques, pierres, etc.) unis par un liant (mortier, ciment, plâtre, etc.), le plus souvent dans le but de construire un mur* ». « F.Lagier 2006 »

Parmi les matériaux utilisés pour la maçonnerie on retrouve la pierre. On jetant un coup d'œil sur les constructions anciennes, ce matériau était toujours favorisé par nos ancêtres vue sa proximité et son abondance dans la nature. Ce matériau est approprié à la construction en raison des variantes morphologiques possibles, sa forme peut être travaillée, il reste totalement naturel de par sa composition chimique. En effet, les types de pierres diffèrent d'une zone à une autre, leurs résistance, porosité, et leurs couleurs ne sont pas les mêmes. « S.Allili 2013 »

En revanche, la pierre massive n'est utilisée actuellement que dans des parties de la maçonnerie sous forme de moellon ou de pierres de tailles. Concernant les constructions neuves, elle est souvent introduite pour l'enrichissement de la façade : la réalisation des encadrements des baies, les chaînages d'angles en association avec d'autres maçonneries enduites. Le type de la pierre le plus utilisé de nos jours, concerne les pierres minces en revêtements attachés le plus souvent, mais aussi collés.

Enfin, la diminution de l'utilisation de la pierre est due au développement des nouvelles techniques et de matériaux tels que le béton et la brique, du coup son utilisation se limite à la décoration des édifices prestigieux. Les éléments structuraux sont faits en acier et en béton.

## II-2-Différentes typologies de la maçonnerie :

### II-2-1-La maçonnerie de moellon :

Pendant la période de la colonisation française et durant le 19 et le 20 siècle la pierre reste la plus utilisée dans les constructions. Parmi les types de pierre les plus répandus en Algérie durant

ces deux siècles on trouve le moellon. Ce type de pierre est utilisé non seulement en fonction de sa disponibilité localement, mais aussi pour sa facilité de mise en œuvre, la pierre appelée moellon est d'une dimension dont laquelle l'homme peut la soulever et la transporter facilement. « J. Coignet, L. Coignet 2006 »

Les moellons sont classés suivant la dureté et la résistance de roche d'origine, il est dit donc :

- **Dur ou de roche** : caractérisé par une grande résistance et forte densité, il est utilisé dans les soubassements des murs, les fondations et les murs de soutènements.
- **Traitable ou semi durs** : utilisé dans les murs porteurs et de clôture.
- **Tendre** : un moellon de faible résistance utilisé pour les parties hautes de l'ouvrage.

## II-2-1-2-Types de moellon :

On peut distinguer trois types de moellon « J. Coignet, L. Coignet 2006 » :

- **A-Le moellon brut** : utilisé tel qu'il arrive de la carrière, après un débarrassage de la matière argileuse qui couvre sa partie supérieure. Ses faces doivent être grossièrement plates pour qu'elles puissent reposer sur la maçonnerie. Son utilisation dans les différentes parties de la construction dépend de sa taille et de sa forme. Quand il s'agit d'une grande épaisseur de 20 à 30 cm et une largeur de 30 à 40 cm il est utilisé dans les fondations ou les chainages d'angle, tant qu'il est utilisé dans les voutes et les arcs lorsque sa forme est allongée et plate, on le retrouve aussi dans les élévations des murs, la maçonnerie courante et les massifs.
- **B-Le moellon d'assise** : avec une tête équaree placée dans les parties des parements vus. Il peut être têtue et dégrossi au marteau de façon qu'il est saillant en ne dépassant pas les 2 cm, smillé portant des parties oblique, ou enfin piqué avec une tête dressée à la pointe.
- **C-Le moellon d'appareil** : en général il est similaire à une petite pierre de taille, ses arrêtes sont alignés et ses angles sont vifs. Il est utilisé dans les arcs, les voutes ou des bandes plates.

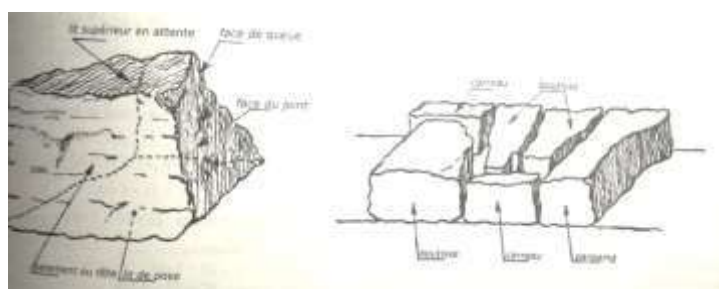


Fig2.5 : Maçonnerie de moellon : vocabulaire de base.

Source : COIGNET Jean, COIGNET Laurent

La Maison ancienne : Construction. Diagnostic. Intervention, coll. «Au pied du mur», 2<sup>e</sup> éd, Eyrolles, Paris, 2006, p.15.

## **II-2-2-La maçonnerie de brique :**

Dans la brique nous pourrions distinguer deux types : la première est la brique crue appelée brique « adobe » séchée au soleil et la brique cuite durcie au four. Les briques fréquentes ont une forme parallélépipédique avec des formes différentes. Les dimensions les plus rencontrées à cette époque sont : « J. Coignet, L. Coignet 2006 »

- 22 x 11 x 5 cm
- 22 x 11 x 5,5 cm
- 22 x 11 x 6 cm
- 42 x 29 x 5 cm
- 42 x 14 x 5 cm.

Notant qu'à la fin du 19<sup>em</sup> siècle et le début du 20<sup>em</sup> siècle, la révolution industrielle a induit l'apparence d'une nouvelle typologie de brique. Les plus usées au 20<sup>em</sup> siècle sont les briques silico-calcaire appelé aussi « brique de grès ».

## **II-2-3-La maçonnerie de pierre de taille :**

Les pierres de taille sont caractérisées par leur poids important qui rend sa mise en œuvre plus difficile en terme de manipulation sur chantier, la tâche de l'ouvrier devient plus complexe sans utilisation de machins. Ce sont de grosses pierres d'appareil avec des grandes dimensions dont leurs formes sont obtenues par des tailles spéciales.

## **II-2-4-La maçonnerie mixte :**

On appelle une maçonnerie mixte une maçonnerie où le parement et l'intérieur sont construits différemment. En revanche si cette technique est utilisée pour la des raisons économiques, elle nécessite plus de précaution pour éviter les tassements différentiels dans les éléments verticaux comme conséquence de la différence du poids entre les composants d'un mur.

## **II-2-5-Les différents types de liants : « J. Coignet, L. Coignet 2006 »**

### **II-2-5-1-L'Argile :**

L'argile est considérée comme le liant le plus ancien, il devient plastique en association avec de l'eau et durcit lorsqu'elle s'évapore. On peut donc l'utiliser pour les lier les ossatures verticales (les murs) et horizontales (les couvertures en terrasse). Le développement des techniques de construction a permis après d'améliorer le durcissement de l'argile par cuisson.

### **II-2-5-2-Le plâtre :**

Utilisé souvent pour la fabrication des enduits intérieurs ou de plaques au plâtre et obtenu par la cuisson du gypse, le plâtre convient aux briques et pierres vu ses excellentes qualités d'adhérence, il est par contre déconseillé au scellement des pièces en fer à cause de sa perméabilité.

### **II-2-5-3La chaux :**

Découverte beaucoup bien avant le plâtre, la chaux est utilisée pour la composition des enduits et des badigeons. Elle est dite « aérienne » lorsque la pierre de chaux est un calcaire pur, tandis qu'elle est hydraulique lorsqu'il s'agit de pierre de calcaire argileux. Ce liant est cher en raison de la grande température recommandée pour son cuisson.

### **II-2-5-4-Le ciment :**

Le ciment est utilisé depuis le 19<sup>ème</sup> siècle après son invention en Angleterre. La prise rapide, la dureté, la faible porosité et l'hydraulicité sont des qualités qui le favorisent à la chaux dans nos jours.

### **II-2-5-5-Les mortiers :**

Les mortiers sont obtenus par l'association des liants avec du sable ou la terre et de l'eau. On peut donc avoir de mortier de chaux et plâtre, et de chaux et/ou de ciment selon la nature des liants, lorsqu'on ajoute du gravier à ces mortiers on obtient des bétons. Afin de cumuler les avantages des liants différents, souvent ils sont mélangés.

## **II-3-La maçonnerie jusqu'à la première moitié du 19<sup>ème</sup> siècle :**

### **II-3-1-Les Structures verticales :**

#### **II-3-1-1-Les fondations : « J. Coignet, L. Coignet 2006 »**

Sachant qu'avant le 19<sup>em</sup> siècle et en absence des outils de mesures de la capacité portante des sols, les bâtisseurs choisissaient le type de fondation adéquat pour les constructions en fonction de leurs envergures, programme proposé et par expérience cumulée, dès le début de ce siècle une découverte a permis aux architectes de faire connaissance des natures des sols, ceci se faisait à l'aide d'une tarière à main de fer. Du cout même si les sols étaient de natures différentes, ils étaient classés en deux catégories :

- Les sols incompressibles ou peu compressibles à base de roche, de gravier de sable ou même d'argile compacté. Ces types de sols sont qualifiés de bons sols.
- Les sols fortement compressibles ou les mauvais sols tels que les terres végétales et terres argileuses à forte teneur en eau. Le plus souvent dans ces cas on utilise les puits ou encore les pieux pour atteindre la couche résistante.

### II-3-1-2-Les fondations sur bon sol

Constitué d'un mur en maçonnerie plus épais que les murs situés en haut, le dimensionnement de ces fondations diffère d'un architecte à un autre et d'une région à une autre. La différence d'épaisseur entre le mur de fondation et le mur sur lequel il repose est absorbée par une, deux ou même trois retraits successifs. Lors d'une construction sur un terrain en pente, la fondation comporte une série de redan.

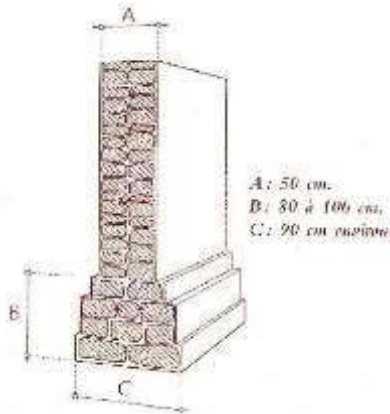


Fig. 2.6 : Fondation sur libage à empattement successifs.

Source : J. Coignet, L. Coignet, Maison.Op Cité.p15

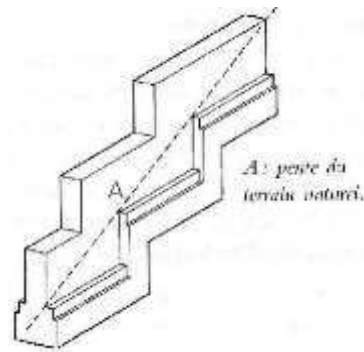


fig2.7: Fondation à redan sur un terrain en pente

Source : J. Coignet, L. Coignet, Maison.Op Cité.p15

### II-3-1-3-Les fondations sur un mauvais sol :

#### II-3-1-3-a-Fondation sur pieux :

Les pieux sont distribués en quinconce avec un entraxe qui varie en fonction de leurs diamètres et du poids de la construction. La tête du pieu est reliée avec grille de charpente formée de longrine et des traversines.

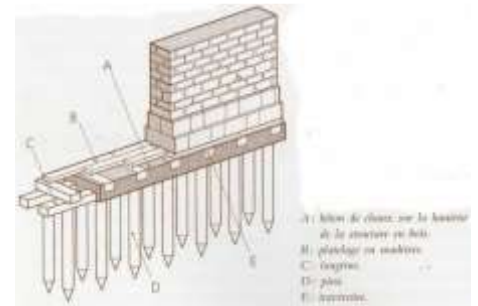


Fig 2.8 : Fondations sur Pieux reliée par longrines.

J. Coignet, L. Coignet, Maison.Op Cité.p16

#### II-3-1-3-b-Fondation sur radier ou grille de charpente :

Une méthode qui consiste à poser la fondation directement sur une grille de charpente, ce type de fondation est utilisé lorsque la profondeur du bon sol n'est pas très importante.



Fig 2.9 : Fondation sur grille de charpente ou plate-forme

J. Coignet, L. Coignet, Maison.Op Cité.p18

### II-3-1-3-c-Fondation par puits foncé à la main :

Les puits creusé à la main servent comme un pied droit à un système d'arc en plein cintre sur lequel s'appuient les murs d'élévation.

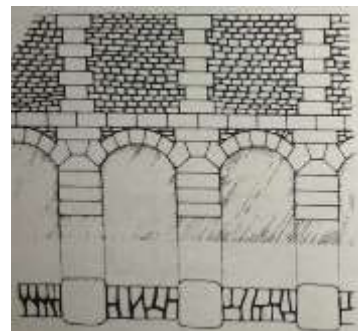


Fig 2.10 : Fondation sur puits.

Source : J. Coignet, L. Coignet, Maison.Op Cité. p 19

### II-3-2-Maçonnerie des murs :

#### II-3-2-1-Murs en moellon

Ces murs figurent toujours sous forme de deux rangers parallèles dont chacune d'entre fait un parement. Sur la longueur des murs on trouve en alternances des moellons en queue pour créer des amorces des chainages transversaux entre deux parements de mur. Pour les angles on choisit des moellons de fort échantillonnage appelé libage. Les murs en moellon sont hourdés par des mortiers de chaux et de plâtre sauf pour les murs de fondations ou l'utilisation des du plâtre est interdite. « J.Coignet, L. Coignet 2006 »



Fig 2.11 : Maçonnerie de moellon avec garni et joint traversant

Source : S.Alili, Guide technique pour une opération de Réhabilitation du patrimoine villagois Kabyle, TiziOuzou, 2013,p97.

#### II-3-2-2-Murs en brique :

Les cloisons ou les galandages sont réalisée avec des briques posé debout ou de chant, chaque joint vertical de la brique en pose doit correspondre au milieu de la brique inférieure posée. Les cloisons de séparation intérieure sont réalisées avec des briques posée à plat. Les briques creuses apparues dans les années 1850 sont utilisées pour les cloisons légères quant à leurs forme elles varient entre les fabricants. « Atelier Casbah, 1980 »



#### II-3-2-3-Murs en pierre de taille :

Fig 2.12 : Mur détérioré en maçonnerie de Brique

Source : S.Alili, op cité, p98

La maçonnerie de murs en pierre de taille est solide lorsque les pierres sont de grandes tailles et aplaties, le rapport entre la hauteur des pierres et la longueur ne doit pas dépasser 5 pour la pierre dure et 4 pour la pierre tendre pour que ces dernières puissent résister aux efforts de la compression. Les pierres sont entrecroisées entre les différentes parties du mur notamment pour les angles pour assurer les chainages.

Les joints verticaux dans ce type des murs sont de 5 mm d'épaisseur, quant aux joints horizontaux sont de 3 à 4 mm Concernant les angles les joints sont aigus au lieu d'être droits. Les couches de mortier sont apparentes et épaisses sous les lits et dans les joints qu'à fleur des parements. « J. Coignet, L. Coignet 2006 »

#### II-3-2-4-Murs en maçonnerie mixte (moellon et brique cuite) :

Ces murs traditionnels sont appareillés de façon hétérogène, avec une composition de deux matériaux d'assises différentes mais régulièrement. La maçonnerie en brique pourra être combinée soit avec des remplissages en moellon (fourrure en moellon brut hourdé pour les murs épais, deux parements), soit en fabriquant des murs avec un parement extérieur en brique revêtu d'un enduit de protection et parement intérieur avec le moellon. « **Euromed Héritage, 2002** »

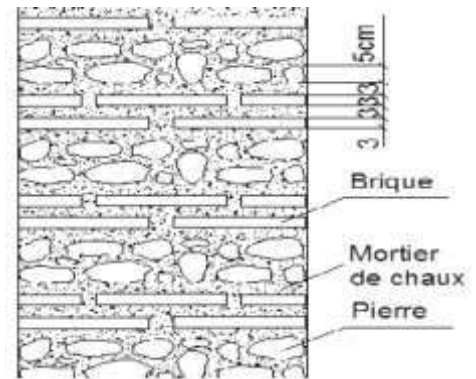


Fig 2.13 : Murs détérioré en Maçonnerie mixte.

Source : S.Alili, op cité p : 98

#### II-3-2-5-Chainage en pierre de taille :

Afin de renforcer les différents parties de la paroi recevant le plus des charges, le chainage vertical ou le jambage sous poutres sont réalisés avec les matériaux les plus résistants ; la pierre la brique, le fer ou le bois accomplissent le travail du renforcement vis-à-vis aux contraintes de compression dans les murs en moellon tout en fournissant une résistance à la traction. Ces chainages sont souvent inapparents après l'utilisation des enduits. « **J. Coignet, L. Coignet 2006** »

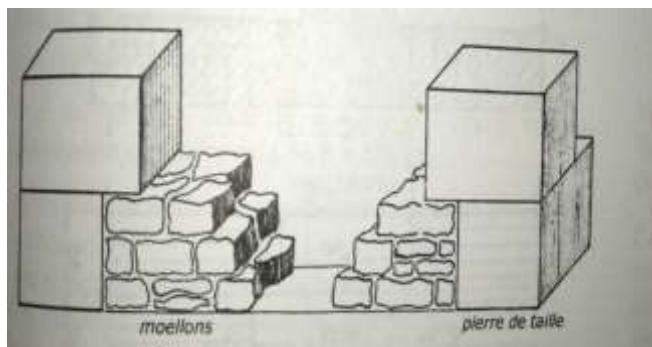


Fig 2.14 : Chaine d'angle en pierre de taille à l'angle de deux murs en moellon.

Source : J. Coignet, L. Coignet, Maison.Op cité p 20

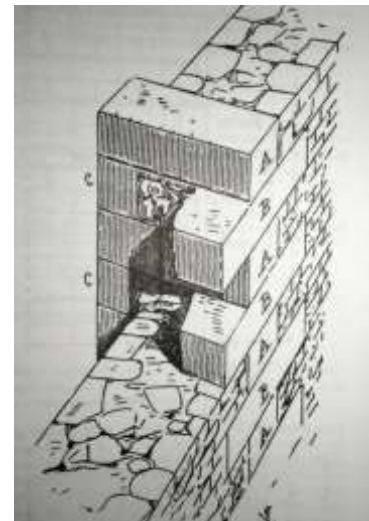


Fig 2.15 : chainage vertical en pierre de taille

Source : J. Coignet, L. Coignet, Maison.Op cité, p20.

#### II-3-2-6-Chainage en bois :

Avant l'utilisation du fer, le bois était jusqu'à les années 1850 utilisé pour les chainages des parois sous forme de « plateforme » occupant la moitié de l'épaisseur des murs. Ce chainage est apparent dans certaines façades dans les parties hautes des fenêtres. Le chainage en bois fut ensuite abandonné en faveur des chainages en fer en fonction des graves désordres et pourrissement qu'ils y affectent. « **J. Coignet, L. Coignet 2006** »



Fig 2.16: Un chainage horizontal en bois.

Source : J. Coignet, L. Coignet, Maison.Op cité p 25

## II-3-3-Les Structures Horizontales :

### II-3-3-1Les Planchers :

En jouant un rôle très important dans la structure, les planchers reçoivent les charges verticales et les surcharges d'exploitation pour les transmettre aux éléments verticaux de la structure et ensuite aux fondations. Nous allons ici présenter quelque types de planchers les plus utilisés dans les bâtiments coloniaux du 19 siècle

#### II-3-3-1-a-Les planchers en voutains des hauts caves :

Les planchers des hauts de cave peuvent être construits sur une ossature primaire des voutes d'arêtes, le plus souvent de voutes en berceau bâties sur cintre et couchis. Ces dernières sont faites de moellons dégrossis de 15 à 20 cm d'épaisseur appareillés et bloqués de mortier de chaux. L'intrados de ces voutes est généralement en continuité avec le parement intérieur des murs de sous-sols. « J. Coignet, L. Coignet 2006 »

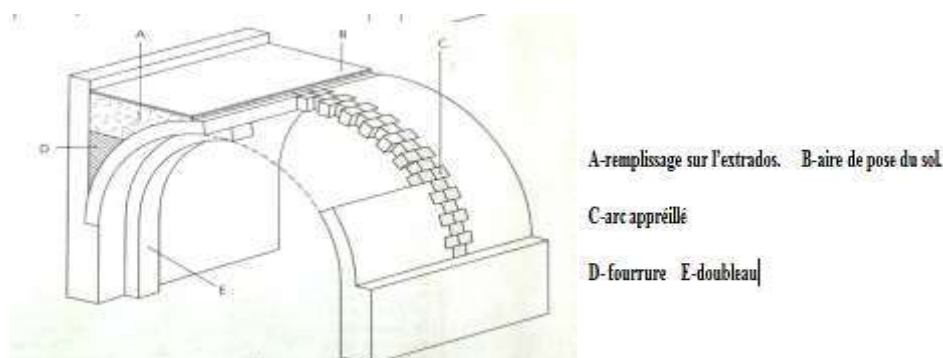


Fig 2.17 : composants du plancher en voutains des hauts caves.

Source : J. Coignet, L. Coignet, Op Cité. p25

#### II-3-3-1-b-Planchers en voutains des étages

Les planchers en arc en maçonnerie et poutres en bois sont utilisés lorsqu'on envisage d'avoir de grandes portées et plus d'espaces libres au rez de chaussée. Le ou les murs porteurs latéraux sont percés d'arcades. Dont le rythme est celui des arcs porteurs du plancher. « L.Idir 2012»

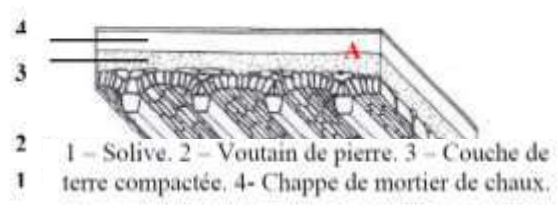


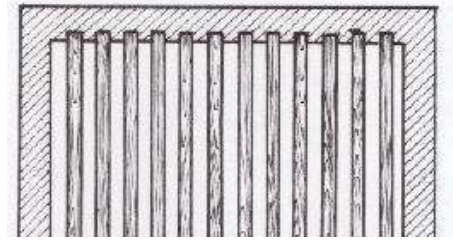
Fig2. 18 : composants du plancher en voutains des étages

Source : ANAH, Agence Nationale pour  
L'Amélioration de l'habitat (Paris), Les  
Planchers anciens, Editions du Moniteur  
Paris, 1979, p.4.

#### II-3-3-1-c-Les Planchers en bois :

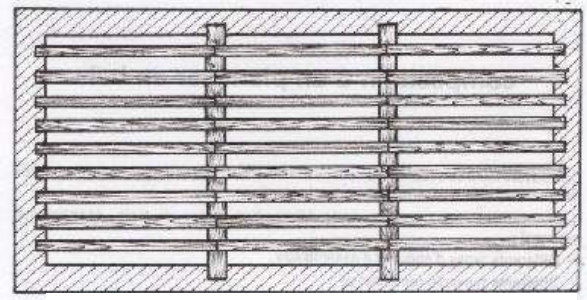
Les planchers en bois sont l'assemblage par simple superposition de pièces de charpente travaillant en flexion et portant les supports du revêtement de sol. L'ensemble de cet assemblage couvre l'espace délimité par quatre murs dont deux sont porteurs. On peut classer deux types de planchers en bois : « Agence Nationale pour l'Amélioration de l'habitat (Paris), 1979 ».

- Le plancher en travure simples : constitué de solives équidistantes parallèles et appuyées sur les murs avec une portée maximale de 4,5 m. l'entraxe entre ces solives dépend de la structure porteuse et de la nature des sols.

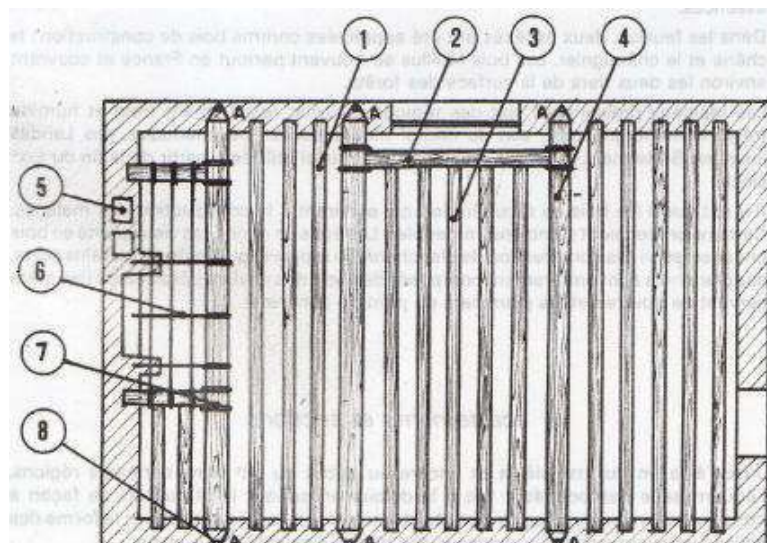


**Fig 2.19 : Plancher en bois travure simple.**  
Source : ANAH, 1979 op cité, p4

- Le plancher en travures composites : ces planchers se composent de poutres portantes du mur en mur sur lesquelles sont posées des solives. La travure composée permet de franchir jusqu'à 8 m de portée suivant la résistance et la nature de bois.



**Fig 2.20 : Plancher en bois travure composée.**  
Source : ANAH, 1979 op cité, p4



- |                                            |                                |
|--------------------------------------------|--------------------------------|
| 1. Solive simple                           | 5. Conduit de fumée            |
| 2. Chevêtre (également appelé « linçoir ») | 6. Gros fers de section carrée |
| 3. Solive « boiteuse »                     | 7. Etrier métallique           |
| 4. Solive d'enchevêtrement                 | 8. Ancrage dans la maçonnerie  |

**Fig 2.21 : détails d'un plancher en bois**  
Source : ANAH,1979 op cité, p5.

## **II-4-Evolution de la maçonnerie durant la deuxième moitié du 19<sup>em</sup> siècle : « J. Coignet, L. Coignet 2006 »**

Contrairement au bois qui reste le plus utilisé dans les structures en maçonnerie jusqu'à la moitié du 19<sup>em</sup> siècle, l'utilisation du fer dans les parois verticales de la maçonnerie se limitait aux assemblages et les renforts tels que les chaînes, tirants et crampons. Avec l'invention du laminage grâce à la production industrielle du métal, les éléments les plus classiques dans la construction métallique tels que les cornières, les plats, le double T, le U...etc. les parois en ossatures utilisées à l'époque sont constituées de pan en bois et pan en fer avec un remplissage en maçonnerie.

### **II-4-1-Structure verticale : « J. Coignet, L. Coignet 2006 »**

#### **II-4-1-1-Le pan en bois avec remplissage en maçonnerie :**

La configuration d'un pan en bois se présente sous forme de pièces horizontales les « sablières », et de pièces verticales, les poteaux avec une hauteur d'étage, les poteaux corniers placés aux angles ainsi que les croisements des parois principales, les tout forme les grandes mailles d'une ossature en bois.



**Fig 2.22: Refend longitudinal en pan de bois (milieu du 19<sup>em</sup> siècle)**

**Source : J. Coignet, L. Coignet, Maison.Op cité p 25**

Les remplissages de la maçonnerie sont obtenus soit avec des briques creuses ou pleines ou les plus fréquents avec des plâtras ou des déchets de coupe de moellon. Ces derniers sont plaqués à l'intérieur des mailles rectangulaires, le tout est monté au plâtre.

#### **II-4-1-2-Le pan en fer avec remplissage en maçonnerie :**

Les pans en fer ont été utilisés à la place des pans en bois à partir des années 1850, mais au fil du temps ils ont été abandonnés à cause du risque de dilation et de corrosion de leur ossature, en plus de leur importante conductivité thermique et leur faible isolation thermique.

Concernant leurs compositions, et comme les pans en bois, ils se présentent sous forme de sablières, linteaux, poteaux principaux et haussières. La stabilité des pans en fer est assurée par le remplissage en maçonnerie en brique pleine ou creuse montée à l'intérieur des profilés en I et en C.



**Fig 2.23 : Refend en pan de fer (Fin du 19em siècle).**

Source : J. Coignet, L. Coignet, Maison.Op cité, p25

#### **II-4-1-3-Chainage et ancrage en fer :**

Avec l'apparition de la production industrielle du fer, et plus de cohésion entre les murs, des chaînes placées dans les parois ainsi que des « ancrs » et des « tirants » qui les relient, assure la fonction de chaînage et d'ancrage jugée primordiale dans l'ensemble de la structure de l'édifice.

Cette technique est utilisée en maçonnerie ordinaire comme dans les murs en pans de bois en participant dans le renforcement de ce dernier non seulement avec la maçonnerie par le biais de fortes barres de fer verticales « ancre » qu'elles soient apparentes à l'extérieur des édifices dans certains cas ou noyées dans leurs épaisseurs dans d'autre cas, mais aussi avec les principales pièces de la charpente ( poutre maitresse, sablière haute...etc.).



**Fig 2.24 : Chainage vertical en fer (seconde moitié du 19em siècle).**

Source : J. Coignet, L. Coignet, Maison.Op cité.p25.

### **II-4-2-Structure horizontale**

#### **II-4-2-1-Les planchers :**

##### **II-4-2-1-a-Les planchers métalliques :**

Le plancher métallique a fait son apparition dans le bâtiment pendant la seconde moitié du 19<sup>ème</sup> siècle. En 1900, il avait conquis une bonne part du marché et a continué à progresser en se diversifiant pendant un demi-siècle avant que le béton ne se développe à son détriment.

En suivant le même principe structurel du plancher en bois, les planchers métalliques se divisent de leurs tours en deux catégories : les planchers à travures simples et à travures composée. Les solives ou les profilées métalliques reposent sur les murs avec un remplissage sur lequel un coulage en béton maigre de plâtre, béton ou autre est effectué. « I. Ait Hamouda, 2013 »

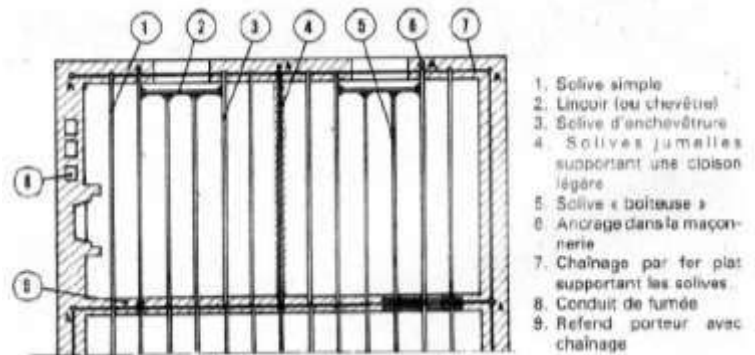


Fig 2.25 : Composition d'un plancher métallique.

Source : ANAH, 1979, op cité p46

#### II-4-2-1-b-Les planchers métalliques avec voutains en brique pleine :

Les planchers métalliques avec voutain en briques plein utilisé dans les bâtisses anciennes de la deuxième moitié du 19<sup>ème</sup> siècle, sont employés surtout dans les parties du bâtiment recevant des charges lourdes notamment au rez de chaussée. « I. Ait Hamouda, 2013 »

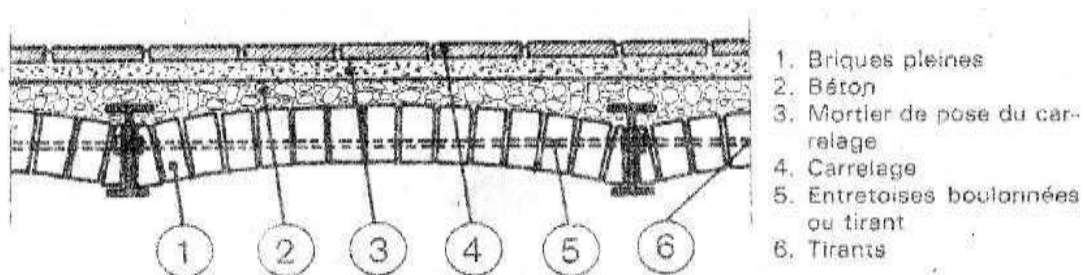


Fig 2.26 : Composition d'un plancher métallique avec voutains en brique pleine.

Source : ANAH, 1979, op cité p52

#### II-4-2-1-c-Le plancher métallique avec Hourdis en auget :

Ce de planchers est plus fréquent en zones urbaines, il a été utilisé dans les constructions anciennes pour être revêtu ensuite avec un parquet en bois. « I. Ait Hamouda, 2013 »

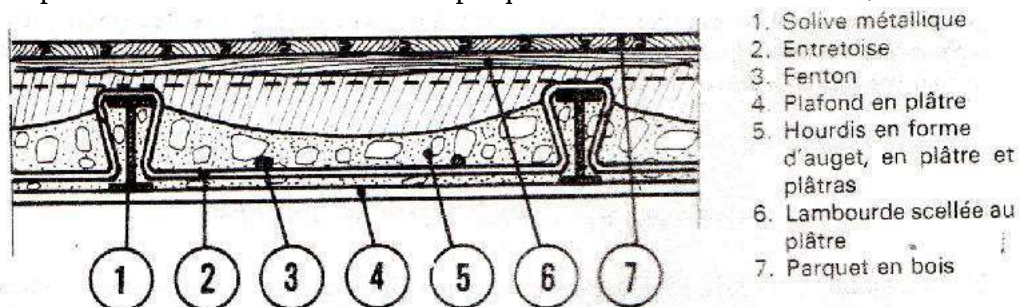


Fig 2.27 : Composition d'un plancher métallique avec Hourdis en auget.

Source : ANAH, 1979, op cité p52

#### II-4-2-1-d-Le plancher métallique avec Hourdis plein :

Le plancher métallique avec hourdis plein ne diffère de celui avec hourdis en auget, que par le remplissage en plâtre et en plâtras pour former un hourdis plein. Ceci est dans le but de former un plancher rigide dont tous les éléments sont reliés entre eux pour recevoir un revêtement en carrelage plus lourd que celui en parquet de bois. « I. Ait Hamouda, 2013 »

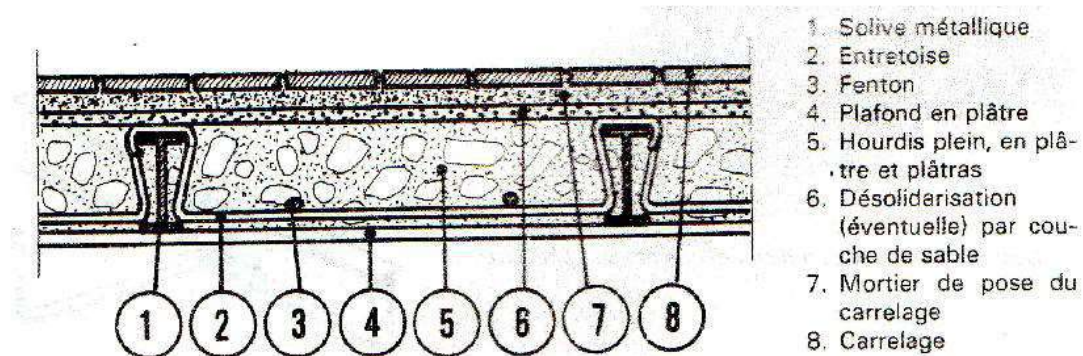


Fig 2.28 : Composition d'un plancher métallique avec Hourdis plein

Source : ANAH, 1979, op cité p, 52

#### II-4-2-2 Les escaliers :

Les escaliers traditionnels peuvent être construits dans une cage d'escalier délimitée par des murs porteurs sur lesquels ils s'appuient, par une simple cloison qui limite leur volume des autres espaces ou carrément ouvert sur les autres espaces du rez de chaussée.

On peut distinguer trois types d'escalier traditionnels : « J. Coignet, L. Coignet 2006 »

- les escaliers en maçonnerie de pierre : ce type est souvent utilisé dans les bâtiments construits en maçonnerie appareillée avec ou sans fourrure ou bien dans les maçonneries ordinaires, on les retrouve pas dans les structures en pan-de-bois ou les constructions en pisé car les systèmes constructifs sont hétérogènes.
- Les escaliers en bois et maçonnerie : il s'agit des escaliers composites en bois et mortier habillés d'enduits coupe-feu pour faire face aux incendies. On distingue ici deux systèmes constructifs très contrastés suivant que la paillasse de l'escalier est en maçonnerie d'enduit rapportée sous la volée portée par une ossature en bois, ou qu'elle est en briques et porteuse de la volée.
- Les escaliers en bois : ils sont soit réalisés en bois dur et précieux pour les constructions prestigieuses, ou des escaliers utilitaires le plus souvent réalisés en bois ordinaire. Ils peuvent adopter tous les traces des autres types d'escaliers.

## **II-5-Désordres des fondations :**

### **II-5-1-Tassement différentiel des sols :**

L'équilibre des fondations anciennes peut être perturbé par des tassements différentiels des sols supports. Ces derniers peuvent être vérifiés sans travaux de dégagement des fondations car les désordres sont claires aux niveaux des murs porteurs et des façades extérieurs et s'expriment par des fissures. « Casanova 2007 »

Les causes principales du tassement des sols :

- Sol porteur hétérogène : la présence sous la même fondation d'un sol dont la résistance et la perméabilité sont contrastées.
- Modification irrégulière de la descente des charges : résultante d'une surélévation partielle ou d'une ouverture d'un grand portail au niveau du rez de chaussée par exemple.
- Ouverture des tranchées : l'ouverture d'une tranchée riveraine (travaux de voirie) ou d'une tranchée passant sous les murs (branchements divers des constructions).
- Modification localisée de la teneur en eau du sol support.
- Dégradation d'une partie de la fondation ou la base du mur.

## **II-6-Pathologies structurelles des murs porteurs :**

### **II-6-1-Pathologies des défauts de construction :**

Si la plupart des bâtiments anciens se dégradent à travers le temps suite à des actions climatiques, physiques, chimiques ou accidentellement après avoir subi un phénomène naturel, il existe des constructions présentant un certain niveau de vulnérabilité à cause des défauts de conceptions ou de mise en œuvre. Ceci est souvent dû aux raisons économiques ou l'enveloppe du projet ne permet d'avoir des bons matériaux, de la rapidité de mise en œuvre ou enfin de la facilité de construction. Qu'elle soit construite en pierre, en brique ou en terre les anomalies rencontrées sont les mêmes : sensibilité au gel, absence de chape d'étanchéité remblai argileux, fondations affouillables, des déformations et des fissures dues au tassement non maîtrisés du cintre ou des fondations mal fondées. « Casanova 2007 »

### **II-6-2-Murs en fruit et en contre fruit :**

Les murs traditionnels sont rarement verticaux, du coup le phénomène du fruit lorsque le pied du mur est avancé par rapport au aplomb du sommet, ou le phénomène du contre-fruit lorsque c'est l'inverse. « J. Coignet, L. Coignet 2006 »

### II-6-3-Pathologies due au tassement différentiel de la fondation :

Parmi les causes les plus fréquentes de l'apparition des désordres sur les murs porteurs, l'apparition des tassements différentiels aux niveaux des fondations. Quel que soit la cause de ce mouvement, ces dommages apparaissent souvent d'une manière progressive, ceci nous permettra de déterminer les sources du problème et les mesures préventifs en conséquence. La reconnaissance de ce type de mouvement se fait à l'aide des tableaux des fissures et des lézards. « Casanova 2007 »

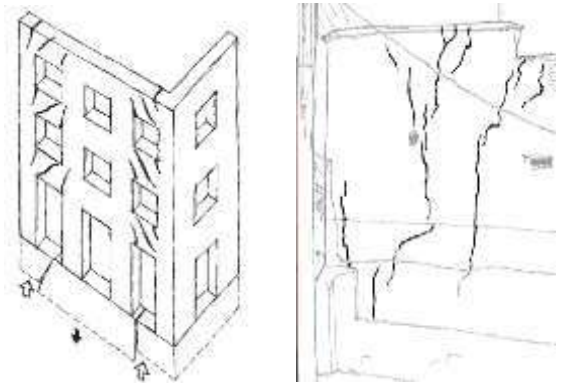


Fig 2.29 : Désordre dû au tassement différentiel des fondations.

Source : Casanova, Op cité p215

### II-6-4-Déséquilibre de l'ensemble fondations murs :

Les murs porteurs acheminent les différentes charges vers les fondations linéaires réparties puis sur le sol. Dans le cas d'une augmentation des charges inégalement réparties suite à une surélévation par exemple sur un sol hétérogène dont la capacité portante est variée, un déséquilibre du système fondation+mur est provoqué. Les déformations induites se différencient d'un type de murs à un autre : « Casanova 2007 »

- Dans le cas d'un mur maçonnerie de brique, la fissure est visible dans les joints.
- Le mur en maçonnerie de pierre d'une longueur importante : une rupture au niveau des pierres est apparue pour que les contraintes soient équilibrées.
- La maçonnerie ordinaire : ce type de mur monté avec le mortier de chaux dont sa plasticité lui permet de répartir les charges sur les pierres, la déformation est moins importante mais s'exprime souvent avec des faux aplombs. Dans le cas exceptionnel ou la déformation est importante, fissure est remarquée au niveau des joints entre moellons.

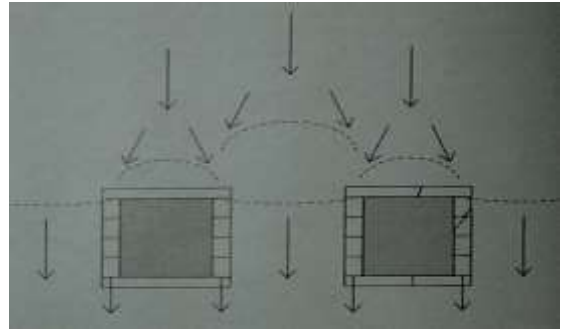
### II-6-5-Différents types de fissures d'un mur porteur en pierre : « A.Caussariou, T. Gaumart, 2005 »

- **Le faïençage** : Il s'agit d'un réseau de fissures en mailles, de largeur généralement inférieure à 0,2 mm et ne concerne que la couche superficielle de l'enduit. Le faïençage ne peut donc mettre en péril la stabilité du bâtiment, le problème qu'il pose est d'ordre esthétique.
- **Les fissures** : C'est des ouvertures de largeur comprise entre 0,2 et 2mm, qui concernent l'enduit, mais également les éléments de structure à l'instar des murs.
- **Les microfissures** : Ce sont des ouvertures de largeur inférieure à 0,2mm, elles concernent généralement toute l'épaisseur de l'enduit.

- **Les lézardes :** C'est des grosses fissures, dont la largeur de l'ouverture est supérieure à 2mm et concernent la totalité de l'épaisseur du mur.

### II-6-6-Désordres autour de la baie dans les murs en pierre et en brique :

Les désordres autour de la baie peuvent être classés en deux catégories : les désordres due aux défauts de la construction de la baie elle-même, et ceux qui sont résultants des efforts subit par l'ensemble des pans de murs ou du bâtiment suite à un tassement des fondations, ou un tassement différentiel entre les jambages et le mur courant (résistance à la compression forte aux jambages et faible dans le mur).



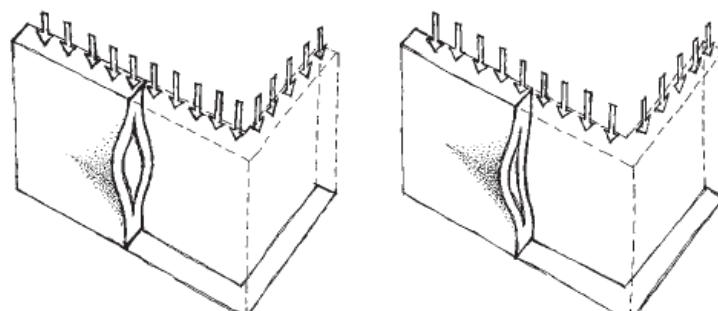
**Fig 2.30 : Effort résultant d'un tassement différentiel entre jambages et mur et fissure au niveau de la baie.**

Source : J. Coignet, L. Coignet 2006.Op,cité p61

La rupture du cadre de la baie joue le rôle du mécanisme de sécurité, car son déclenchement évite un désordre plus important ou un écoulement. « J. Coignet, L. Coignet 2006 »

### II-6-7-Fractures verticales au niveau des sections internes des murs :

Induites suite à un excès de compression sur un mur épais et qui se présente sous la forme d'une fissure verticale interne et qui tend progressivement à partager le mur en deux. Ces fractures sont plus fréquentes dans les murs dont l'intérieur n'est pas homogène ou les sections internes sont faibles à cause de la disposition des moellons. La difficulté dans ce type de désordre se résume dans la non-visibilité des dommages sur le plan extérieur des murs, la fracture progresse jusqu'à provoquer l'écoulement de cet élément. « Casanova 2007 »



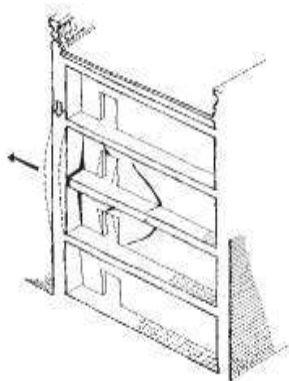
**Fig 2.31 : Fracture verticale dans la section interne des murs due aux efforts de compression.**

Source : Casanova, op cité p 215

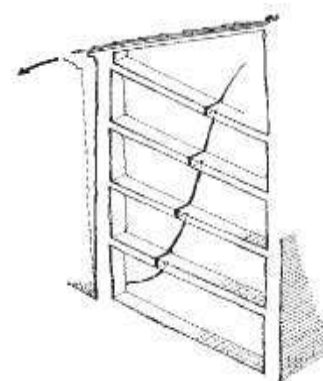
### II-6-8-Ecrasement et bombement de la façade :

Une pathologie due à l'accumulation des déformations au fil du temps sous prétextes des sollicitations verticales et horizontales sur les matériaux en modifiant leurs caractéristiques mécaniques. Concernant les écrasements, ils sont dus aux poussées des couvertures, aux

déplacements des fondations et aux effets de l'humidité et des changements climatiques. Quant aux bombements de la façade, ils sont provoqués par l'effet des charges centrées ou décentrées transmises par les toitures et par les planchers. « Casanova 2007 »



**Fig 2.32 : Bombement de la façade suite à une charge centrée par la toiture**  
Source : Casanova, op cité p 216

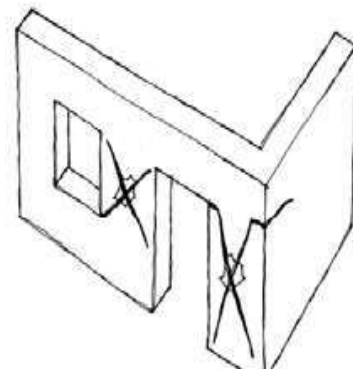


**Fig 2.33 : écrasement de la façade due aux poussées des ouvertures**  
Source : Casanova, op cité, p216

## **II-6-9-Pathologies due aux mouvements sismiques :**

Les constructions en maçonnerie à base de terre et de pierre sont les plus affrontées aux désordres dues aux séismes. Etant des matériaux qui offrent peu de résistance aux efforts sismiques, la pierre et la terre ont une mauvaise résistance aux tensions de traction de coupe, et une faible ductilité à apporter comme des réponses aux sollicitations multidirectionnelles introduites par ces mouvements. Le désordre visuel se manifeste par la présence d'une fissure en croix au niveau des pans situés entre les ouvertures. Il existe encore des dommages invisibles à l'œil nu à l'intérieur des murs (désolidarisation et microfissures) en réduisant la capacité portante de ces derniers.

« Idem »



**Fig 2.34 : Fissure en croix entre les ouvertures due au mouvement multidirectionnel lors d'un séisme.**  
Source : Casanova, op cité, p 216

## **II-7-Désordres des planchers :**

### **II-7-1-Pathologies affectant les planchers sur arc et sur voute :**

Les désordres touchant les planchers sur arcs et sur voutes peuvent être d'origines multiples, parmi ces derniers nous pouvons citer : « I. Ait Hamouda, 2013 »

- Déséquilibre de l'ensemble du système (fondations + murs)
- L'humidité : en s'appuyant sur les deux murs, le plancher peut être endommagé si un de ses coté d'appuis est mouillé.

- Modification tardive : l'augmentation des surcharges d'exploitation peut créer une charge concentrée en agissant l'équilibre du plancher.
- Tassement différentiel du mur de la voute : cela et du a la faiblesse des supports de la voute (absence des tirants métalliques et des contreforts).

Ces pathologies que ne venons de citer s'expriment souvent par : « J. Coignet, L. Coignet 2006 »

- Tassement des arcs de la voute et l'augmentation de poussée sur les murs latéraux.
- Déformation géométrique du plancher et apparition des fissures.
- Risque d'écoulement des planchers.

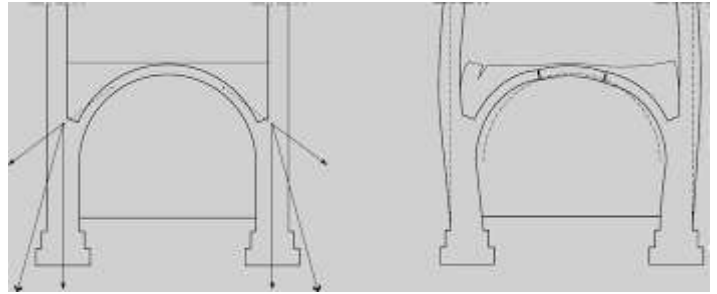


Fig 2.35 : déformation d'un plancher sous la poussée d'un arc.  
Source : J. Coignet, L. Coignet.Op cité p 48

## II-7-2-Pathologies affectant les planchers en bois :

L'origine des pathologies des planchers en bois peuvent être classées en trois catégories en général : « *idem* »

- Défauts de conception : le sous dimensionnement des solives et des poutrelles provoquant des déformations.
- L'humidité causant le pourrissement du bois, des fissures et des lézards.
- Les attaques des insectes.

Quant aux avaries remarquées suite à ces pathologies, elles se manifestent souvent sous forme de déformation, de putréfaction du bois ainsi que des fissures de poutrelles.

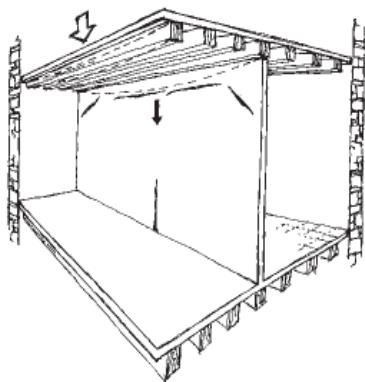


Fig 36 : déformation d'un plancher en bois.  
Source : X. Casanova, op cité.p231

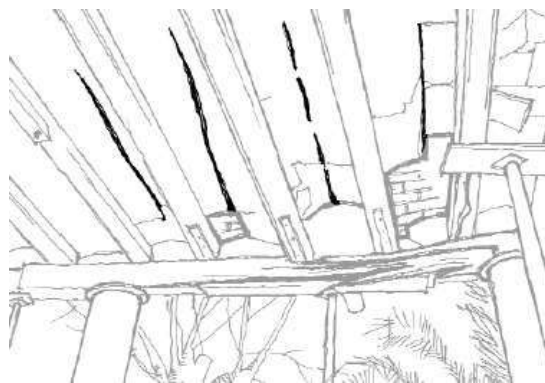


Fig 37 : Fissuration d'un plancher en bois  
(sous-dimensionnement).  
Source : X. Casanova, op cité p 231

### **II-7-3-Pathologies des planchers métalliques :**

Les principales causes des désordres des planchers métalliques sont toujours aux infiltrations des eaux qui induisent une corrosion de ses ossatures. En revanche ce type de plancher sont vulnérables face au feu et nécessite une protection par des mesures spéciales.



**Fig 38 : plancher affecté par les Infiltrations.**

**Source :BET Harchaoui 2008**



**Fig 39 : corrosion des poutrelles métalliques D'un plancher en voutain.**

**Source :BET Harchaoui 2008**

### **II-8-Pathologies des toitures et des systèmes de recouvrement :**

Pour la majorité de toitures du patrimoine colonial en Algérie, on opte pour une toiture en charpente en bois recouverte par une toiture en tuile.

En effet, pour la structure en bois des toitures, il est préférable de la remplacer complètement par une nouvelle charpente vue qu'elle est exposée directement à l'humidité. Dans le cas contraire ou son état permet d'envisager des travaux de renforcement, les armatures post-contraintes sont les plus utilisées pour la création d'un nouveau équilibre des efforts de traction.

Concernant la couverture des toitures endommagées, le type d'intervention approprié est déterminé l'aide d'une étude spécifique des matériaux et de leur état de vétusté. Sur la base de cette étude, on pourra donc spécifier si la réhabilitation de cet élément se limitera au remplacement des tuiles arrachées et des ouvrages d'évacuation, ou que la réparation nécessitera l'emploi d'un nouveau complexe d'étanchéité. « S.Allili, 2013 »

## II-9-Autres Pathologies :

### II-9-1-Pathologies de l'humidité :

Apparue dans la majorité des constructions anciennes, l'humidité est à l'origine des principaux désordres affectant la qualité du cadre vie qui peut aller jusqu'à l'insalubrité, ainsi que la dégradation des matériaux du décor et de construction jusqu'à la détérioration des éléments composant la structure, touchant essentiellement le bois, les pierres perméables, les enduits intérieurs et mortiers de chaux. Ayant plusieurs origines, l'humidité peut se présenter dans un bâtiment sous trois formes : « ANAH Paris, 1989 »

#### II-9-1-1-L'humidité ascensionnelle :

L'humidité ascensionnelle ou la remontée capillaire se fait du bas en haut et du froid au chaud, ou l'eau présente dans les sous-sols et les soubassements du mur remontent vers les parois. Ce phénomène arrive lorsque les matériaux composants du mur sont poreux en jouant le rôle des tubes capillaires permettant à l'eau de se s'élever vers la maçonnerie. On distingue ici deux types de matériaux, les matériaux à porosité fermée et les matériaux à porosité ouverte.

#### II-9-1-2-Infiltration directe :

Il s'agit des eaux provenant des précipitations (pluies et neiges), qui coulent sur le mur de la façade extérieure due à un défaut de fabrication de la toiture. Ce ruissellement des eaux est conduit par les fissures des enduits et des matériaux capillaires pouvant atteindre ensuite l'intérieur des maçonneries en pierre et en pisé. Ce type de dommages est souvent observé dans les zones maritimes où la pluie dépose du sel dans la maçonnerie.

#### II-9-1-3-La condensation :

Un phénomène arrivant lorsque la vapeur d'eau se trouvant à l'intérieur de la construction, rencontre une paroi froide dont sa température correspond à son point de rosée. La vapeur d'eau condensée peut résulter de la respiration des occupants ainsi que des locaux soumis à production de la vapeur (cuisine, buanderie, salle de bain...etc.).

#### II-9-1-4-Les effets de l'humidité : « ANAH Paris, 1989 »

- Dégradation des matériaux de la maçonnerie.
- Perte du confort thermique.
- Pourrissement du bois.
- Le cloquage de la peinture
- Le décollement du papier peint.
- L'éclatement des matériaux par le gel.

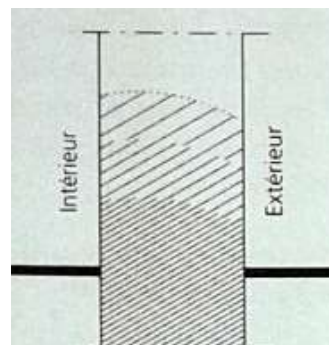


Fig 2.40 : Humidité ascensionnelle du bas au haut de mur

Source : ANAH.op cité p 89

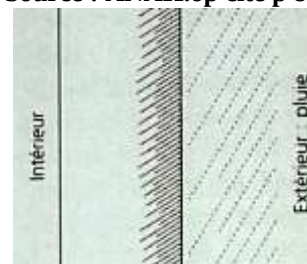


Fig 2.41 : Humidité due à l'action de pluie.

Source : ANAH.op cité p 89

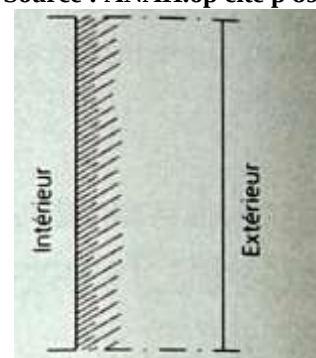


Fig 2.42 : phénomène de condensation.

Source : ANAH.op cité p 89

- Création des efflorescences.

## II-9-2-Altération des matériaux :

Sous l'effet de plusieurs facteurs, les matériaux se dégradent au fil du temps en perdant leur résistance mécanique et leur aspect esthétique. Cette dégradation se manifeste souvent sur les surfaces des murs, les planchers, les toitures ainsi que les enduits de finitions. «Casanova 2007 »

### II-9-2-1-La dégradation de la pierre :

Parmi les causes majeures rencontrées dans la maçonnerie de pierre, la dégradation de ce matériau. Les origines de cette dégradation sont de trois facteurs essentiels, l'humidité, les causes chimiques et les aléas dues aux facteurs biologiques et la pollution atmosphérique, et enfin des causes mécaniques qui affaiblissent sa rigidité. Les pathologies sont visibles en tant que lézards, fissures ou détachement de la pierre lors du décollement du mortier. « S.Allili, 2013 »



**Fig 2.43 : dégradation du mortier d'un mur en pierre.**  
Source : S.Allili, p99

### II-9-2-2-Dégradation du bois :

Les fissures, la pourriture et la perte de solidité sont les dégâts les plus fréquentes dans les structures en bois. En plus des raisons structurelles, les causes qui peuvent affecter une ossature en bois sont les variations des températures, l'humidité, et les facteurs biologiques tels que l'apparition des champignons et des insectes, ces derniers se développent en présence d'humidité (plus de 20 %) et dans une température de (20 à 30 degré) causant des fissures longitudinales et réduisant sa solidité. En plus de ses facteurs, on trouve aussi les défauts de construction, car des fois on utilise du bois non séché ou provenant d'arbres coupées dans des périodes inappropriées. « S.Allili, 2013 »



**Fig 2.44 : putréfaction d'un plancher en bois**  
Sous l'effet de l'humidité  
Source : S.Allili ,p120

### II-9-2-3-Dégradation des enduits :

Les enduits utilisés dans les constructions anciennes sont souvent à base de chaux associée au sable pour fabriquer un mortier. Les origines des pathologies remarquées sur la chaux sont soit provenues des défauts de construction (un mauvais dosage, une mauvaise application ou un matériau inapproprié), ou bien, des pathologies dues à la présence d'humidité qu'elle soit une remontée capillaire ou des infiltrations directes. Quant aux désordres rencontrés, il s'agit des fissures de ses différentes formes, la perte de l'aspect de la durabilité (un vieillissement accéléré) provoquant un décollement des plaques d'enduit. « S.Allili, 2013 »



**Fig 2.45 : Cloquage de l'enduit sous l'effet de l'humidité.**  
Source : S.Allili ,p120

## **II-9-3-Les pathologies dues au climat :**

### **II-9-3-1-Actions de la température :**

Le grand écart entre la température journalière et celle de la nuit peut avoir un impact direct sur les matériaux, ces derniers et selon leur composants (minéraux ou cristaux) se modifient en obtenant une contraction volumique suite à cet écart. Les dommages s'expriment souvent sous la forme de fissures, des éclatements ou des écailllements

### **II-9-3-2-Actions du gel et du dégel sur la pierre :**

Le gel et le dégel ont un grand impact dans l'altération de la pierre, ce dernier se traduit directement dans la modification des caractéristiques mécaniques de ce matériau. Lors du gel l'eau augmente de 9 % de volume, ce phénomène provoque des tensions mécaniques incluant des ruptures microscopiques au début et macroscopiques dans la suite.

La dégradation de la pierre dans ce cas, résulte de l'atteinte de la valeur critique de la teneur en eau dans les pores, au-delà de cette valeur le matériau subit des altérations, sachant que cette valeur varie selon les caractéristiques des matériaux de 60 à 100 % du volume total des vides.  
« M.Mamillon, 2003 »

### **II-9-3-3-Actions des vents :**

#### **II-9-3-3-a-Actions des vents sur les murs :**

La pierre est un matériau qui s'altère naturellement, ceci est dû aux modifications des contraintes mécaniques et physico-chimiques ainsi qu'à une exposition prolongée aux vents. Au fait, les vents peuvent être nuisibles pour un mur en maçonnerie dans la mesure où les fines particules de grains et de poussière apportées par ce premier se fauillent dans les lits les plus tendres d'un mur en constituant des surfaces creuses, contrairement aux lits les plus durs qui résistent en gardent leurs aspects initiaux. « S. Allili 2013 ».

#### **II-9-3-3-b-Actions des vents sur les toitures :**

Pareilles aux murs, les toitures subissent l'action du vent qui peut provoquer des dommages importants. Les toitures constituées de tuiles et sous l'effet du vent perdent leur homogénéité et solidité, ces éléments exposés se détachent de leur place se soulèvent ou se cassent carrément. Quant aux toitures en terre elles s'affaiblissent comme conséquence de l'érosion de ce matériau, en risquant ensuite le phénomène des infiltrations des eaux pluviales. « S. Allili 2013 ».



**Fig 2.46 : Un soulèvement des tuiles suit à un vent fort**  
Source : S.Allili p 98

## II-9-4-Pathologies liées à la présence de la végétation :

Le climat méditerranéen étant chaud et humide, est l'environnement le plus approprié au développement de certains organismes biologiques végétaux. Des lichens, des mousses des allègues et quelques arbustes et plantes se propage dans une construction en atténuant la maçonnerie et pouvant être à l'origine de plusieurs désordres et altérations physiques et chimiques. « Casanova 2007 »

### II-9-4-1-Les allègues et lichens :

En présence d'humidité et en manque ou absence d'éclairage, des micro-organismes se développent dans une construction, en se positionnant souvent dans les soubassements de la façade, lieu favorisé de l'humidité ascensionnelle. Ces métabolismes souvent sont accompagnés de l'émergence de quelques taches noire, chose indiquant la présence d'une forte humidité. En ce qui concerne les désordres induits, les allègues sont les végétaux les plus répandus provoquant l'érosion des matériaux notamment de la pierre qui se dégrade en surface et en profondeur suit au développement des micro-racines de ces premiers. Les mousses de leur part, se développent dans les joints touchant essentiellement les mortiers et causant leur décollement. « R.Collombet 1985 »



**Fig 2.47: Prolifération de la végétation dans les soubassements d'un mur en pierre.**  
Source : S.Allili, p 108



**Fig 2.48 : Développement de la mousse dans les joints.**  
Source : S.Allili, p 108

### II-9-4-2-Les arbustes et les plantes :

Ayant une taille plus importante que les végétations précédentes, les arbustes et les plantes se développent dans une maçonnerie par défaut d'entretien. Leurs racines sont plus grandes pouvant éclater les roches et les joints par une pression continue appliquée, ajoutant à ça, la présence des éléments chimiques provenant des rejets de leurs acides pour récupérer les aliments nutritifs. Tout ceci mène vers la détérioration des matériaux composants de la maçonnerie. « J.Phillipon, 1990 »



**Fig 2.49 : Présence d'un figuier dans un mur.**  
Source : S.Allili, p110



**Fig 2.50: Racine dans un mur de soutènement.**  
Source : : S.Allili,, p 109

### **II-9-5-Actions de la pollution atmosphérique :**

Un taux de pollution atmosphérique élevé peut contribuer à la dégradation d'un parement en pierre. Si la pollution dans un milieu rural n'est pas élevée et ne présentant pas de grandes lésions apparentes, en modifiant seulement les composants minéralogiques de la pierre, la pollution dans le milieu urbain contenant de l'industrie, entraîne des modifications à travers des agents polluants provoquant l'érosion et la décohésion de la plaque extérieures exposée aux intempéries.

## **Conclusion :**

Comme nous l'avons pu voir dans ce chapitre, les structures en maçonnerie ont évolué avec le temps ; la maçonnerie de la pierre et de la brique était liée directement à d'autres matériaux de construction à l'image du bois mais étroitement jointe au métal ou son utilisation se limitait à quelques endroits de l'ouvrage, jusqu'à la deuxième moitié du 19<sup>ème</sup> siècle où l'emploi de ce matériau commençait à se généraliser.

En effet, les origines de la dégradation structurelle dans les structures en maçonnerie sont de natures différentes et nécessitent un traitement particulier selon les types des avaries constatées et de leur état de gravité.

Le véritable obstacle que peut rencontrer une opération de réhabilitation structurelle c'est bien l'absence des supports graphiques et écrits concernant les bâtisses anciennes, sachant que leur réalisation ne se base pas sur des études mais plutôt sur l'expérience accumulée de ses bâtisseurs.

Du coup, même s'il est possible de déterminer le type d'ossature employée dans un bâtiment, il est très difficile voire même quasiment impossible dans certains cas, de deviner l'emplacement exacte de certains éléments tels que les fondations par exemple.

Enfin, ce chapitre est venu pour introduire le prochain chapitre portant sur les techniques de consolidation des structures en maçonnerie et de traitement des désordres induits des différents pathologies qu'on vient de citer dans le présent chapitre.

# Chapitre III : techniques de consolidation des ossatures en maçonnerie et traitement des désordres

## **Introduction :**

Après la présentation des différents composants des ossatures en maçonnerie, de leurs évolution au fil du temps ainsi que des multiples désordres qu'ils y affectent, par le biais de ce chapitre et pour plus d'éclaircissement, on essayera d'aborder les procédés techniques de la réhabilitation structurelle et de la consolidation de cette typologie, en tenant en compte des deux notions de la sismicité et de durabilité exigées pour ce type de travaux.

En effet la réhabilitation structurelle n'est pas la seule à effectuer pour la conservation d'un bien patrimonial, car il est aussi indispensable de garder l'aspect extérieur d'un bâtiment, mais elle constitue un élément essentiel dans une démarche de réhabilitation.

C'est la phase la plus difficile vue que sa réalisation nécessite une connaissance des techniques et des moyens de constructions utilisés dans le passé et une main d'œuvre spécialisée qui est très rare de nos jours.

### **III-1-Réhabilitation entre notions de durabilité et sismicité :**

Bien que de la réhabilitation du patrimoine bâti est une opération visant à la conservation d'un bien matériel et à l'amélioration des conditions de vie de ses occupants, elle est actuellement fortement associée aux notions du développement durable et de la sismicité, ces dernières prennent les usagers de l'espaces comme un centre d'intérêt.

D'une part, L'évolution des besoins de l'être humain occupant un cadre bâti, nous met aujourd'hui dans l'obligation d'intégrer la dimension temporelle afin de mieux articuler le passé, le présent et le futur de ces biens culturels pour les transmettre aux générations futures dans de bonnes conditions. Cette préservation et transmission est devenue aujourd'hui l'un des modes privilégiés de la durabilité « Soukan, Dahli, 2012 ».

La réhabilitation et le développement durable est une relation à prendre en considération lors du choix de la technique de renforcement ou de consolidation de notre ouvrage, il ne s'agit pas uniquement d'attendre que notre édifice subisse de dégradations pour le réparer, mais de le renforcer pour lutter contre des dégâts indésirables dans le futur.

D'autre part, les constructions patrimoniales et en raison de manque de moyens ont été conçue en prenant en considération uniquement la stabilité de l'ouvrage vis-à-vis les charges permanente et les surcharges d'exploitation. L'absence d'une réglementation parasismique à cette époque mettait obligeait les bâtisseurs de se référer sur leurs propres expériences dans ce domaine. La réhabilitation sismique est donc un autre facteur à tenir en compte surtout que l'on sache bien que la majorité des édifices a valeur patrimoniales se localise dans la partie nord de notre pays, une zone caractérisé par une forte sismicité.

Suivant l'état de la structure endommagée, la réhabilitation structurelle donc peut être subdivisée en deux catégories : Réparation où Renforcement. « M.Kassoul, 2014 »

### **III-1-1-Réparation :**

Le terme « réparation » signifie que les éléments structuraux ou non-structuraux endommagés atteignent encore un minimum de résistance, rigidité et ductilité qu'ils doivent avoir avant un séisme. Ceci signifie que la 'réparation' est limitée seulement aux éléments endommagés et dans ce sens 'de réparation' doit être considéré comme réhabilitation locale. « **M.Kassoul, 2014** »

### **III-1-2-Renforcement :**

Le terme « renforcement » signifie l'augmentation de la résistance sismique de la structure avec des réhabilitations au-delà de la réparation. Ceci signifie qu'en plus de la réhabilitation locale aux éléments endommagés, la réhabilitation de type global sera effectuée, de sorte que le comportement structural global du bâtiment soit amélioré « **M.Kassoul, 2014** ».

Les techniques qu'on propose dans ce chapitre varient entre réparation des dommages fréquemment rencontrés dans les constructions en maçonnerie et du renforcement de ces derniers vis-à-vis les différents aléas notamment celles du séisme.

### **III-2-Consolidation des fondations :**

Si le renforcement des parties apparentes de l'édifice tel que les murs de façade, murs intérieurs, les plancher ou encore le système de recouvrement se confronte à l'obligation de la préservation de l'aspect esthétique constituant la richesse et l'identité de l'ouvrage, le choix de la technique de consolidation de ses parties inapparentes tels que les fondations enfoncées dans le sol s'ouvre l'opportunité d'introduire de nouvelles méthodes et matériaux.

En admettant que les types de fondations anciennes existantes y compris celles en pierre peuvent être classés en deux catégories ; les fondations peu profondes (semelles ou empattement) et les fondations profondes (pieux, pilotis, piles, piliers ou fondation a caissons), le choix de la technique de leur consolidation qu'elle soit traditionnelle ou moderne doit tenir compte en premier lieu de la raison de leur dégradation qui peut provenir de plusieurs source dont on peut citer « **Casanova 2007** » :

- Affaissement du à l'augmentation des charges.
- Modification de la géométrie de la structure.
- Tremblement de terre, explosion.
- Changement de niveau de l'eau et/ou actions chimiques.

Il est jugé impératif avant de traitement des fondations d'établir une étude géotechnique pour les sols sur lesquelles elles reposent, ainsi que d'inspecter leur situation et leur moment. Parmi les différentes techniques de renforcement des fondations du bâti existant on trouve :

### III-2-1-Injection du sol sous la fondation :

Dans certains édifices où le sol de la fondation ne devient plus résistant aux charges permanentes et les sollicitations verticales, un phénomène très fréquent du au changement de la fonction du bâtiment au fil du temps et qui se manifeste par un tassement vertical de la fondation, on opte pour une solution d'injection du sol sous pression sous la fondation endommagée, cette technique a comme but d'augmenter la capacité portante du sol et de sa résistance en compression. Pour se faire plusieurs matériaux sont utilisés « ANAH, 1981 » :

- Coulis de ciments.
- Coulis d'argile ou de bentonite.
- Coulis à base de produits chimiques liquides ou résines organiques.



Fig 3.51 : Injection du sol sous pression sous la fondation

L'injection du terrain sous la fondation est aussi utilisée lors du soulèvement du niveau des eaux souterraines, celles-ci se déplacent d'une manière continue et emportent avec elles des particules du sol en créant à la fois des cavités, des trous et un comportement hétérogène dans ce dernier. « Casanova 2007 ».

### III-2-2-Consolidation en sous œuvre et élargissement de la fondation :

Une technique consistant renforcer la fondation existante par une addition d'une masse supplémentaire. C'est une opération à mener si le dimensionnement de la fondation existante est jugé insuffisant suite à une étude déterminant la capacité portante du sol et de la masse des matériaux composant la fondation (pierre et matériaux du remplissage).

Après avoir étayé la partie supérieure du mur, La nouvelle fondation souvent réalisée en brique doit être fixée avec l'ancienne à l'aide des barres et des câbles pour que l'ensemble soit stable et ne pourra pas se déplacer latéralement.

L'ajout d'une fondation supplémentaire nécessitera au préalable l'élargissement de la fouille de la fondation préexistante, ceci permettra aussi d'assurer la stabilité du mur sur la fondation et d'augmenter la surface de répartition des charges sur le sol. « Hussein, 2004 ».

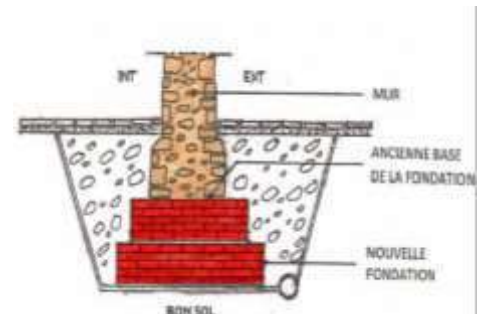


Fig 3.52 : consolidation d'une fondation en sous œuvre en maçonnerie

Source : M. Ait Hamouda, La conservation du patrimoine bâti en Algérie, Oran, 2013, p55

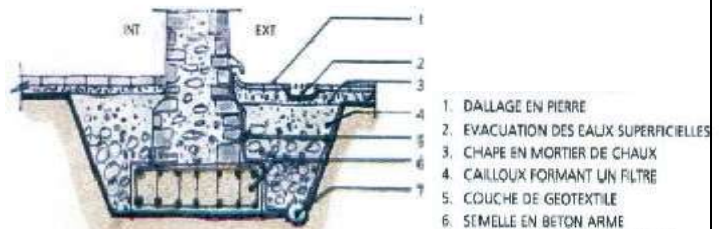
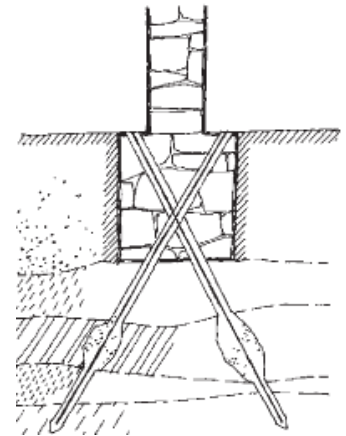


Fig3.53 : consolidation d'une fondation en sous œuvre de BA  
Source : HUSSEIN Frédéric, NOURISSIER Gilles, CASANOVAS Xavier, Architecture traditionnelle libanaise, CORPUS Levant, Avignon (France), 2004, Fiche.1.01.

### III-2-3-Consolidation en micro pieux :

Si la technique du renforcement par une fondation supplémentaire est rarement utilisée à cause de la difficulté d'absorber les efforts du cisaillement entre les interfaces des deux fondations (ancienne et nouvelle), la technique de micro pieux reste la plus utilisée actuellement. Cette dernière est applicable lorsque le sol de la fondation possède une faible résistance aux efforts de compression et que le bon sol se trouve à une profondeur importante.



Ayant comme objectif de rechercher le bon sol sous une fondation existante, les micro pieux sont des petits diamètres sous forme de tuyaux en grande capacité enfoncés dans le sol et associés au mortier et de barres filtrées pour l'amélioration de la résistance en traction et en compression.

**Fig 3.54 : Consolidation d'une fondation par un micro pieux**

Source : ANAH, Op cité, p14

C'est une technique très économique surtout en cas des sols difficiles tels que les roches ou les cavités, ou encore l'accès à l'espace de travail est difficile le cas souvent rencontré dans les situations de mise en niveaux après les tremblements de terre « ANAH, 1981 ».

### III-3-Réparation des murs porteurs en maçonnerie :

Il existe une multitude de méthodes de réparation des murs en maçonnerie :

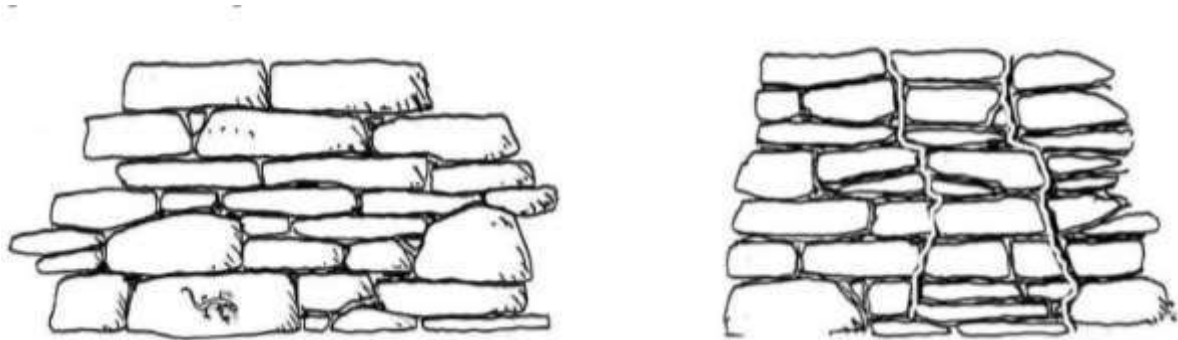
#### III-3-1-Remplacement physique des éléments endommagés :

En effet, cette méthode consiste à remplacer le matériau de la partie fissurée, bombé ou risquant une dégradation possible. Dans le cas d'un mur en pierre il est indispensable de reconstruire avec le même matériau dont la résistance et la déformabilité sont conforme dans le but de retrouver la capacité portante initiale. L'objectif final de cette opération est d'exclure complètement la cause du dommage, de l'empêcher à agir une autre fois, ou dans le pire des cas la constatation d'un désordre passif « Casanova 2007 »

#### III-3-2-Lutter contre les fissures par décalage de joints :

Selon José Luiz Gonzalez Moréno-Navaro, remédier aux fissures par des agrafes ne sert à rien si la source de la fissure elle-même n'est pas éliminée, « quand on a remédié aux causes, les agrafes ne servent à rien, et si les causes sont encore actives, elles sont tout aussi inutiles, vue que la maçonnerie ne peut pas assumer la traction, et à défaut de céder sur la zone agrafées, elle peut céder encore plus loin».

Pour éviter les fissures en « coupe de sabre », les joints ne doivent pas former une ligne droite, il faut donc poser la pierre à cheval sur les deux autres, ceci évitera ensuite d'avoir un parement en « piles d'assiette ». « S.Allili, 2013 ».



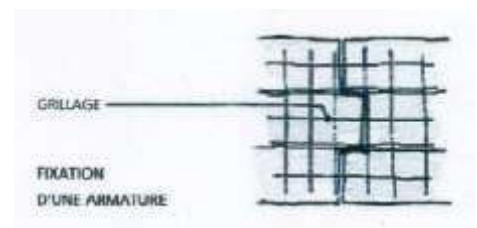
**Fig 3.55 : Décalage des joints entre les assises horizontales pour éviter les fissures en coup de sabre**  
Source : S.ALLILI, op cité, p 74

### **III-3-3-Reprise des fissures :**

La reprise des fissures peut être effectuée par plusieurs moyens. Le but de cette opération est de retrouver la continuité perdue dans le mur endommagé de façon que les tensions puissent être redistribuées d'une manière homogène. Parmi les techniques de reprise de fissures on retrouve :

#### **III-3-4-Réparation d'une fissure par fixation de grillage :**

La fissure va être réparée à l'aide d'un grillage galvanisé ou d'un grillage de fibres synthétique de maillage supérieur à 2cm fixé sur la zone endommagée. Ceci se fera après le décapage de l'ancien enduit et du nettoyage avec d'injecter du coulis de chaux dans la fissure « F.Hussein, 2004 »



**Fig 3.56 : Reprise d'une fissure par grillage.**  
Source : HUSSEIN Frédéric, NOURISSIER Gilles, CASANOVAS Xavier, op.cit.  
Fiche.1.07.

#### **III-3-5-Réparation d'une fissure par colmatage**

Dans le colmatage ou autrement dit le remplissage de la fissure en mastic on peut distinguer deux types ; « F.Hussein, 2004 »

- le colmatage superficiel, qui consiste à un traitement de la fissure sur quelque millimètre,
- le colmatage profond en remplissant le total de la fissure par du mastic. Cette méthode est appliquée surtout dans les murs en brique.

#### **III-3-6-Réparation des gonflements des murs :**

Le gonflement d'un mur peut être la résultante de deux causes principales :

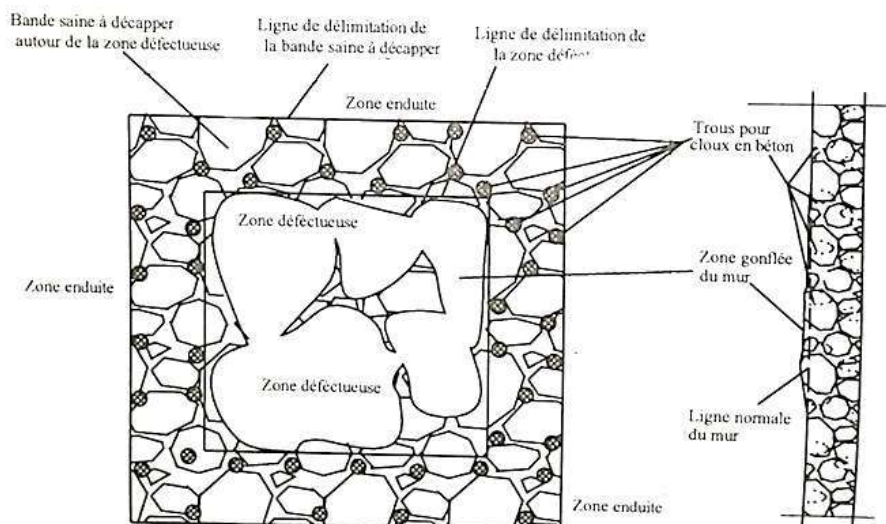
- **Gonflement sans existence de poussée horizontale** : le premier cas est le plus fréquent, il s'agit de l'affaiblissement de quelques endroits du mur suite à l'augmentation de l'effort de compression induite par des charges verticales ou simplement après une migration de particules de mortier de la maçonnerie.
- **Gonflement avec existence de poussée horizontale** : cette poussée latérale est due dans la majorité des cas de la poussée des terres pour le cas des édifices construits dans des terrains en pente.

Le traitement du gonflement du mur diffère d'un cas à un autre :

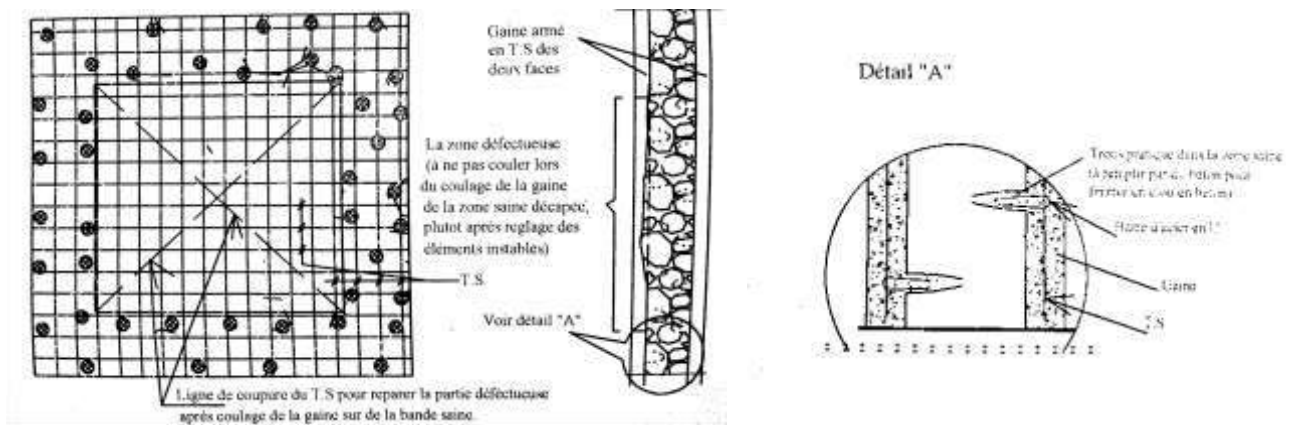
Pour le premier cas ou le gonflement se produit par les efforts de compression, la solution consiste à créer des gainages des deux faces de murs afin de limiter le fonctionnement des parties affectées. Ceci se fait par des clous en béton armée et des barres en U ancrée dans la gaine et inclus dans le corps du mur

La mise en œuvre de ce traitement suit les étapes suivantes :

- Délimitation de la zone gonflée et tracer un rectangle autour.
- Décapage de la zone d'une zone de 1m autour du rectangle tracé.
- Réalisation des trous de 20cm de diamètre et d'une profondeur égale à la moitié de l'épaisseur du mur, ces trous serviront ensuite pour la mise en place des clous en béton
- La mise en place de l'armature en treillis soudé sur la zone affectée et décapée et de fer en forme de u dans les trous réalisés.
- Couler la gaine dans la zone décapée et laisser la zone affectée uniquement couverte par le treillis soudé
- Couper les treillis soudés dans la zone défectueuse, démonter la maçonnerie, refaire sa construction
- Enfin, mettre en place une autre plaque de treillis soudés et terminer le coulage de la gaine



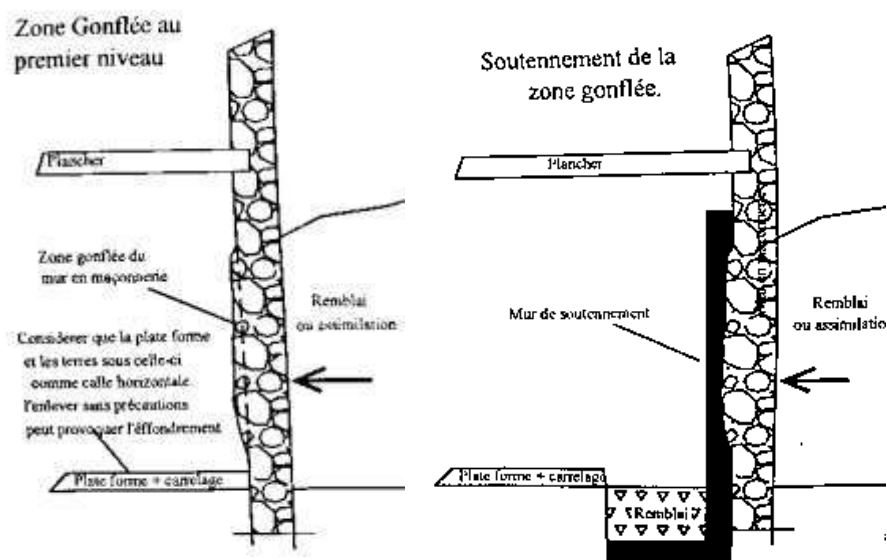
**Fig 3,57 : Délimitation, décapage de la bande saine et préparation des trous**  
Source : M.Dekhmouche, Procédés de renforcement du vieux bâti, 2007 p17.



**Fig3, 58 : Ferrailage, coulage de la gaine et réparation de la zone gonflée**  
Source : M.Dekhmouche, Procédés de renforcement du vieux bâti, 2007 p17.

Pour le deuxième cas de gonflement avec une existence d'une poussée latérale, la consolidation se fait simplement à l'aide d'un mur de soutènement équilibrant cette poussée. Pour se faire il suffit de suivre les étapes suivantes : « M.Dekhmouche 2007 ».

- Définition de la source de la poussée horizontale de son ampleur.
- Dimensionnement du mur de soutènement à mettre en place.
- Mise en place d'un étayage jouant le rôle d'une calée horizontale.
- Construction du mur de soutènement dont sa hauteur doit dépasser le niveau supérieur de la zone gonflée.



**Fig 3,59 : Technique du soutènement d'un mur gonflé**  
Source : M.Dekhmouche, Procédés de renforcement du vieux bâti, 2007,

### III-3-7-Réparation d'un mur par injection du coulis :

La réparation d'une structure en maçonnerie reste une des techniques les plus utilisées, cependant le choix du type de coulis nécessite au préalable une étude sur les caractéristiques des matériaux constituant cette maçonnerie, pour ceci les critères essentiels à prendre en considération sont comme ce qui suit : «F.Belhamel, 2010 »

- Évaluation de la porosité du mur afin de vérifier son injectabilité.
- Choix du coulis approprié de façon à ce que sa compatibilité avec la maçonnerie à réparer soit assurée.
- Procédé de l'injection (choix du nombre et de la distribution des injecteurs, pression d'injection, période d'exécution) qui doit être préalablement déterminé.
- Vérification au laboratoire et au site par des tests ou essais de la faisabilité et de l'efficacité du coulis d'injection.
- Déterminer l'état mécanique de la construction et de mettre en lumière les faiblesses éventuelles de la structure.
- Déterminer l'état et les propriétés mécaniques physiques et chimiques de tous les matériaux en place y compris les mortiers.

L'injection permet de combler la fissure en profondeur et d'augmenter la résistance du mur ainsi que son étanchéité, le durcissement et l'adhérence du liquide permet à la restitution de la continuité originelle de l'élément endommagé « A. Caussarieu, 2005 »

Le coulis à base de ciment semble être plus approprié au type de la maçonnerie ancienne que celui à base de polymère, ce dernier risque d'être incompatible avec des matériaux tels que la brique ou la pierre et avec leur comportement probablement sensible dans le temps. «F.Belhamel, 2010 »

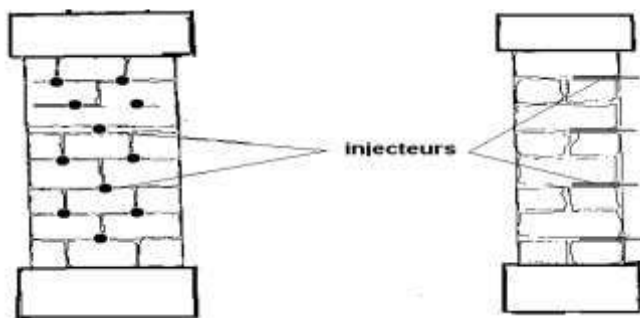


Fig 3, 60 : emplacement des injecteurs dans un mur  
Source : F.Belhamel CNERIB 2010



Fig 3, 61 : injection du coulis sous pression  
Source : X.Casanova, op cité p 214

### III-4-Renforcement des murs en maçonnerie :

#### III-4-1-Technique de chemisage pour le renforcement d'un mur en maçonnerie :

Si la réparation d'un mur en injection du coulis sous pression nécessite une étude sur l'adéquation de cette intervention avec les propriétés des matériaux constituant de la maçonnerie, la technique de chemisage des murs est très efficace et peut être adoptée pour tous les types de la maçonnerie notamment celle en pierre ou en brique.

La technique est basée sur l'application d'une couche de béton armée mince aux additifs appropriés empêchant le rétrécissement. L'armature en treillis soudé assure l'adhérence au mur.

Concernant la mise en œuvre de ce type de renforcement, il est exécuté sur les deux côtés du mur. Des barres appelées «cravates» sont disposées à travers l'épaisseur du mur pour relier les deux couches de béton plaquées sur les deux parements du mur.

La technique est tout à fait efficace puisqu'elle permet d'augmenter la résistance et la rigidité des bâtiments non renforcés de maçonnerie. «F.Belhamel, 2010 »

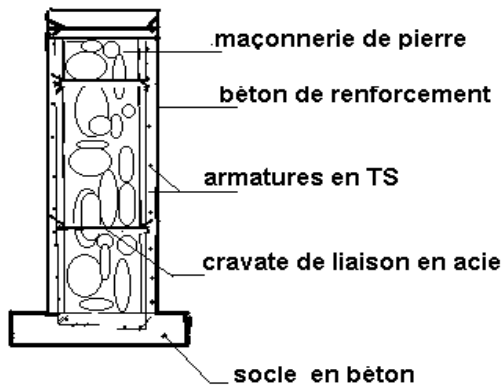


Fig 3, 62 : coupe illustrant d'un chemisage d'un mur en maçonnerie.  
Source : F.Belhamel CNERIB 2010

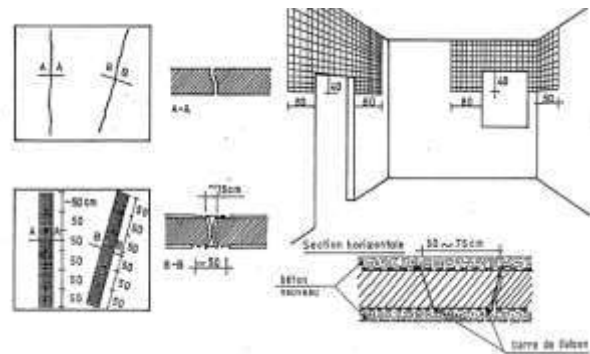


Fig 3,63 : Renforcement d'un local par chemisage  
Source : F.Belhamel CNERIB 2010

### III-4-2-Réparation d'un poteau ou d'un tronçon d'un mur en maçonnerie par gainage d'acier :

Cette méthode est applicable pour les piliers ou des murs d'une longueur allant jusqu'à 3m ou les fissures induites sont dues aux réactions des appuis des poutres maitresses, elles prennent la forme d'une ouverture inclinée dans le mur et d'une dimension minimale de 3 cm.

En ce qui est mise en œuvre de cette solution technique, nous pouvons suivre les étapes suivantes : « M.Dekhmouche 2007 ».

- Dégagement des angles du mur notamment où se trouvent les fissures, ces dernières se localisant souvent à partir du haut du plancher courant jusqu'au sous la poutre du plancher du dessus
- Mise en place des cornières sur les quatre angles du mur.
- Relier les cornières entre elles par des fers plats.



Fig 3. 64 : Gainage d'un tronçon d'un mur (vue d'angle)  
Source : M.Dekhmouche, op cité, p 26

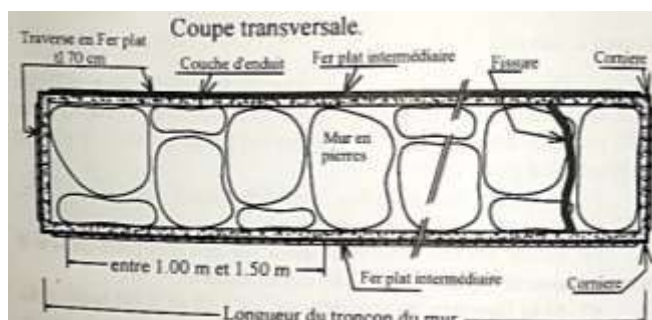


Fig 3. 65 : coupe illustrant le Gainage d'un tronçon d'un mur (vue d'angle)  
Source : M.Dekhmouche, op cité, p 66

### III-4-3-Renforcement par contreventement métallique :

Ce type est employé dans les bâtiments à portique, un système qui consiste à réaliser une ossature métallique étroitement liaisonnée à la maçonnerie, de manière à assurer une collaboration efficace dans la reprise des efforts.

Dans ce cas La maçonnerie transmet les forces verticales, pendant que la structure métallique composée de barres horizontales et verticales en acier et de diagonales comprimées reprend les forces horizontales. «F.Belhamel, 2010 »

Parmi les inconvénients de cette technique, c'est qu'elle peut être inacceptable sur le plan architectural surtout dans le cas des bâtiments à valeur patrimoniale, ou la richesse architecturale est exprimée sur les façades.



Fig. 3, 66 : renforcement par contreventement d'un métallique bâtiment.  
Source : F.Belhamel CNERIB 2010

### III-4-4-Renforcement par contreventement métallique amorti :

La technique du renforcement par contreventement métallique a connu un grand essor avec l'invention des amortisseurs dissipateurs d'énergie.

Ce système ayant comme mode de fonctionnement pareil à celui d'un amortisseur de voiture, ou les barres diagonales sont dotée d'un amortisseur chargé de dissiper une partie de l'énergie à laquelle est soumis le bâtiment «N.Attari, 2015 »



Fig. 3,67 : Contreventement amorti d'un bâtiment.  
Source : N.Attari, Cours 2015

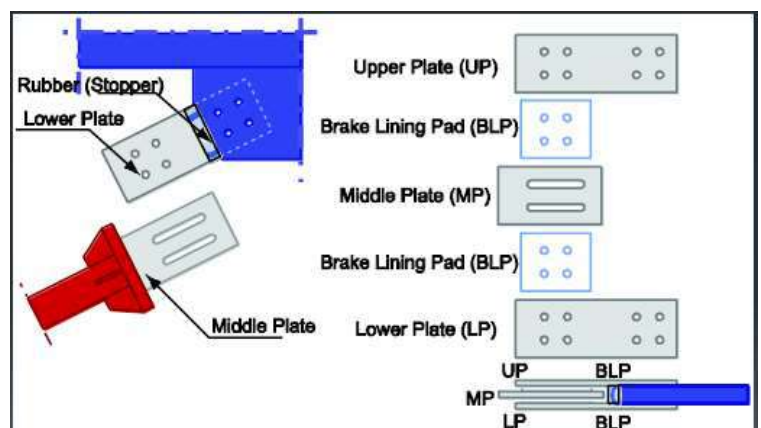


Fig. 3,68 : Exemple d'un amortisseur  
Source : N.Attari, Cours 2015

### **Exemple d'un contreventement métallique amorti « Le DC 90 » :**

Parmi les dissipateurs de l'énergie, on retrouve l'amortisseur DC 90 utilisé dans le renforcement sismique des structures en maçonnerie, cette technique déjà utilisée en Algérie dans la résidence du consul de la Finlande à Alger consiste à intégrer ce dissipateur d'énergie dans les fondations ou encore dans les croix du contreventement en continuité avec les diagonales. La difficulté dans cette technique réside le niveau de maîtrise de la main d'œuvre notamment au niveau des ancrages. «N.Attari, 2015 »



**Fig. 3, 69 : utilisation de la technique du DC 90 dans la résidence du Consule de la Finlande**  
Source : N.Attari, Cours 2015

### **III-4-5-Renforcement par collage à base de fibres de Carbone FRC : «S. si Taieb, CNERIB 2010»**

Parmi les techniques innovatrices dans le renforcement des structures porteuses on retrouve la technique de collage à base de carbone, cette dernière est basée sur le principe d'un placage de matériau composite à base de fibres de carbone matricées dans un liant synthétique appliqué à froid sur le support de l'élément à renforcer pour augmenter ses performances à la flexion et aux efforts tranchants.

Cette technique offre de multiples avantages avec des domaines d'application élargis, elle peut être utilisée non seulement sur des supports en béton armé ou précontraints, mais aussi sur d'autres supports tels l'acier, le bois et la pierre ; parmi les avantages de cette technique nous pouvons citer :

- En effet, les lamelles sont cinq fois plus légères que l'acier, dix fois plus résistantes (donc plus optimisées),
- d'une faible épaisseur et d'une grande flexibilité (donc plus faciles à transporter).
- elles offrent une meilleure résistance au feu et à la fatigue.
- Elles s'adaptent plus facilement aux supports ; les croisements de lamelles peuvent se faire sans travaux complémentaires.
- Ne nécessitent pas d'étais ni d'autre système de maintien provisoire.

- Quant à leur durabilité et à leur résistance, elles ne subissent pas de corrosion ni d'autres attaques chimiques.

Quant aux inconvénients de ces lamelles elles se limitent en :

- Leurs prix élevé.
- Sensibilité à l'abrasion.
- Raideur à l'enroulement filamentaire, bobinage difficile.

La technique de collage a base fibres de carbones peut être employé pour les raisons suivantes :

- Ferrailage insuffisant par conception.
- Changement de destination des ouvrages.
- Endommagement des armatures existantes.
- Amélioration des conditions de service.

Pour la mise en œuvre de cette technique, il est recommandé d'ancrer les lamelles dans un béton sain et de disposer de la longueur nécessaire, on applique ensuite un adhésif époxy en couche de 1 mm sur la surface déjà préparée ainsi que sur la face supérieure des lamelles, préalablement traitées en usine pour avoir la rugosité adéquate, et qui doivent également être propres.



**Fig. 3, 70 : renforcement d'une maçonnerie porteuse en RFC**  
Source : Si Taieb, CNERIB 2010



**Fig. 3, 71 : renforcement de la structure du pont El Harrach en RFC**  
Source : Si Taieb, CNERIB 2010



**Fig. 3, 72 : renforcement d'un plancher d'un parking en RFC**  
Source : Si Taieb, CNERIB 2010



**Fig. 3, 73 : renforcement d'une voûte en RFC**  
Source : N.Attari, cours, 2015.

### III-4-5-1-Comparaison entre fibres de verre et fibres de carbone :

Les fibres de Carbone ne sont pas les seuls à être utilisés dans la technique de collage, il existe encore des collages à base de verre RFW et des collages à base de verre bidirectionnel RFW. Le renforcement par RFW est utilisé dans le but d'optimiser la performance du composite.

Ayant le même principe de fonctionnement et d'application, les renforcements en collage à base de fibres de carbone se différencient de ceux à base de fibres de verre par leur performance. En général la première catégorie est plus solide et rigide que la deuxième. Le tableau et le schéma présentés ci-dessous confirment cette hypothèse.

«M.Kassoul 2015 »

| Matériau                    | Module d'élasticité (Gpa) | Limite d'élasticité à la traction, $f_e$ (Mpa) | Limite d'allongement, $\epsilon_e$ (%) |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Fibres                      |                           |                                                |                                        |
| Carbone                     | 160 - 270                 | 1400 - 6800                                    | 1,0 - 2,5                              |
| Aramide (Kevlar29)          | 62 - 83                   | 2800                                           | 3,6 - 4,0                              |
| Verre                       | 81                        | 3400                                           | 4,9                                    |
| Polycarbonate (Spectra 900) | 117                       | 2600                                           | 3,5                                    |
| Résine                      |                           |                                                |                                        |
| Époxyde                     | 2,0 - 4,5                 | 27 - 62                                        | 4 - 14                                 |
| Vinylester                  | 3,6                       | 80                                             | 4                                      |

Tableau 2 : Propriétés des matériaux composites de pointe (Priestley et cou. 1996).

Source : M.Kassoul, cours, université de Chlef 2015

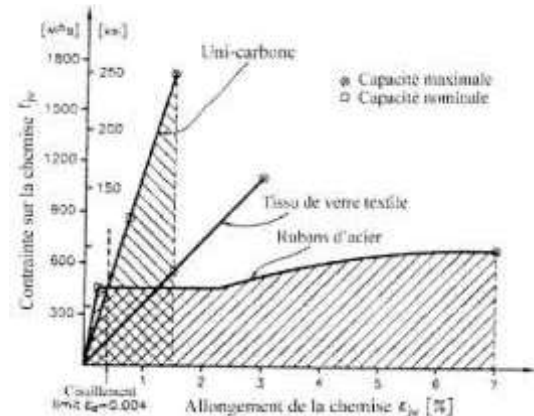


Fig 3, 74 : Propriétés des matériaux composites de pointe (Priestley et cou. 1996).  
Source : Idem

### III-4-6-Renforcement par ajout de précontraints extérieurs :

Une technique s'appliquant sur tous les types des bâtiments et consistant à l'amélioration de la performance des éléments structuraux au moyen d'une précontrainte externe qui assure une armature supplémentaire ainsi qu'une pression latérale active. Cette technique est utilisée surtout pour la rigidification des poutres et des planchers, parmi les avantages du renforcement par ajout de précontraints extérieurs on retrouve : «N.Attari 2015 »

- Augmentation du moment résistant (poutre et plancher)
- Augmentation de l'effort tranchant.
- Torsion : solidarisation de l'ensemble (anti basculement des murs, solidarisation des murs en un seul bloc (cas des joints de dilatation).
- Liaison murs fondations
- Réduction de la traction dans les murs (fissures horizontales dues à l'accélération horizontale du séisme).

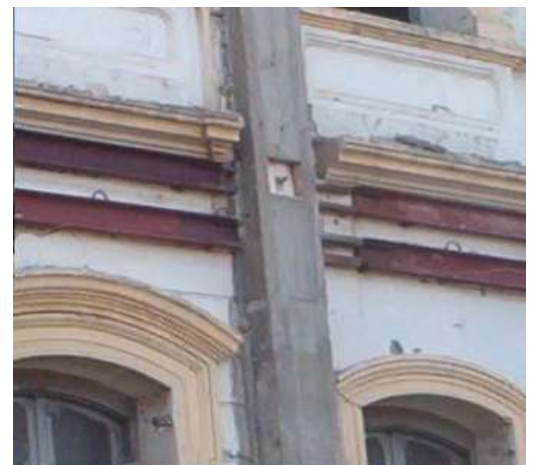
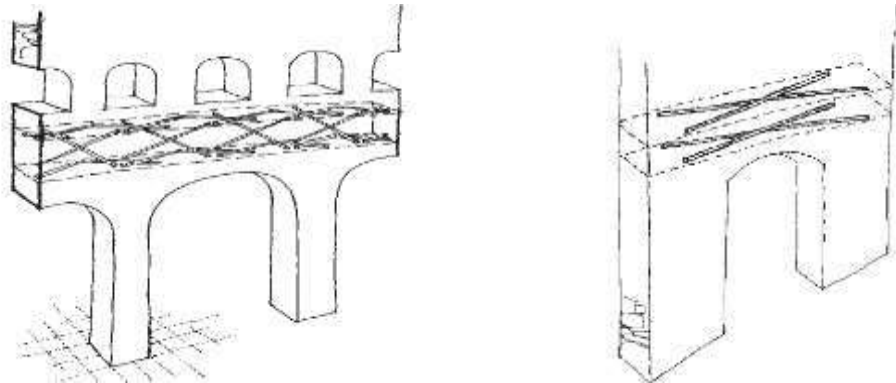


Fig. 3, 75 : renforcement par ajout de précontraints extérieurs APC El Harrach  
Source : N.Attari 2015

### **III-4-7-Renforcement par Taxidermie avec des barres d'acier :**

Un système consistant à créer une structure secondaire de barre à l'intérieur des murs de façon à augmenter leur rigidité et résistance et créer des zones de redistribution des surcharges d'une manière plus répartie sur toute la longueur du mur. La mise en œuvre de cette opération se fait par le biais du plaquage des armatures en acier dans les perforations allant jusqu'à quelque mètre de longueur parfois, cette méthode est applicable a fois pour les murs en pierre et en brique.  
« X.Casanova 2007 »



**Fig 3, 76 : Renforcement par des barres d'acier à l'intérieur des murs**  
Source : X, Casanova, Op cité P219

### **III-5-Consolidation et réparation des planchers :**

#### **III-5-1-Renforcement par profilés et tirants métalliques du plancher en voutains :**

Parmi les plus fréquents désordres rencontrés dans les planchers en voutains en briques et à des solives métalliques (type de plancher très utilisé dans les édifices de 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> siècle en Algérie), le gonflement et la corrosion des solives surtout dans les planchers du dernier niveau et les planchers du sous-sol.

Le renforcement de ces planchers se fait par le biais de l'insertion de nouveaux profilés métalliques entre les anciens profilés corrodés dans l'espace attribué la courbure des voutains en brique.

Cette solution permettra de garder le fonctionnement des voutains en brique qui vont transmettre les charges du plancher aux nouveaux profilés par le biais des tirants métalliques incorporés au lieu de les transmettre aux anciens profilés. L'avantage de cette technique c'est qu'elle ne nécessite pas une démolition puisque on peut garder l'ancien plancher

Le renforcement par des profilés métalliques et des tirants est valable quand la déformation des voutains en brique n'est pas très importante et en existence des ancien profilés même si leur semelle est trop fléchie ou qui n'a pas demeuré entièrement à cause de la corrosion.  
« M.Dekhmouche 2007 ».

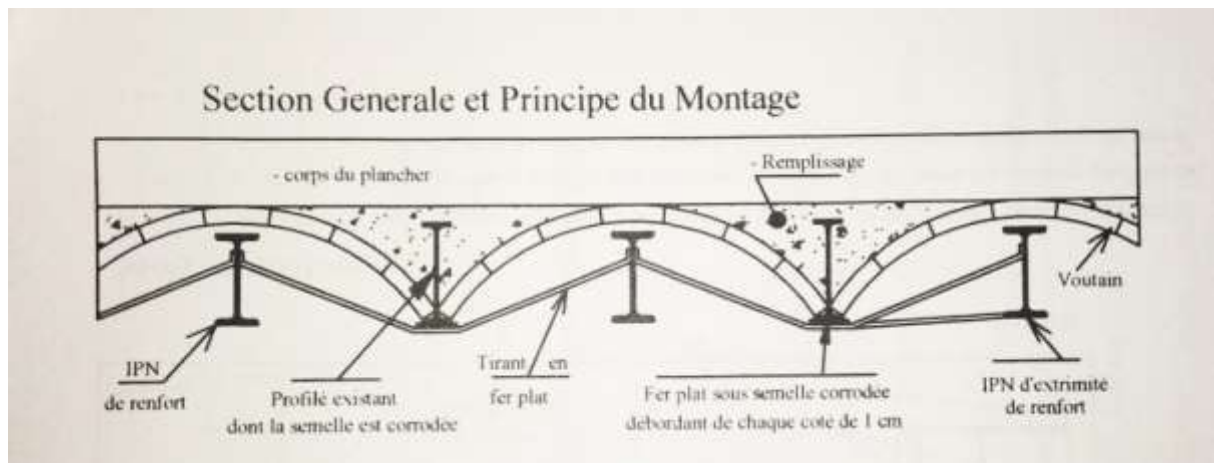


Fig 3, 77 Section général et principe du montage des tirants métalliques  
Source : M.Dakhmouch, Op cité p 11

### III-5-2-Renforcement par gainage d'un plancher métallique avec remplissage :

Ce renforcement par gainage est utilisé uniquement pour la consolidation des planchers constitués de solives métalliques avec un remplissage en béton ou en corps creux entre ces dernières, ceci dit que l'application de cette technique est valable uniquement si les solives ne présentent aucune forme de flèche.

La mise en œuvre du gainage est simple, en commençant par découvrir les deux semelles inférieure et supérieure de la solive, et puis de plaquer un fer plat en dessus et en dessous, les deux fers plats seront reliés par des traverses pour former enfin une sorte d'une poutrelle, a traverses.

Au niveau des appuis, et pour résoudre le problème de la pénétration du fer plat sous la semelle inférieure, ce système va être mené par des cornières assurant le chainage entre la solive et l'appui. « M.Dekhmouche 2007 ».

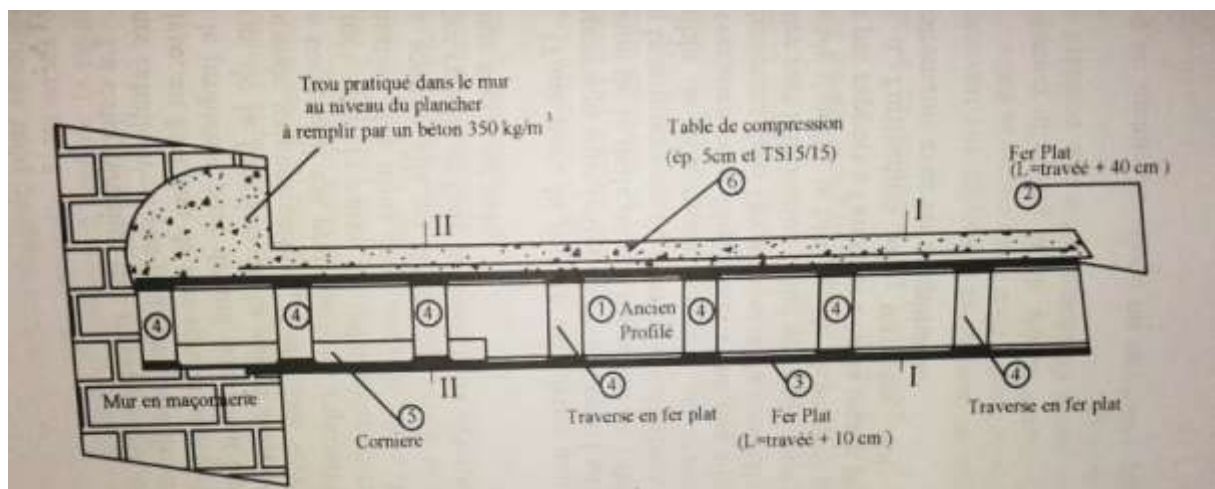
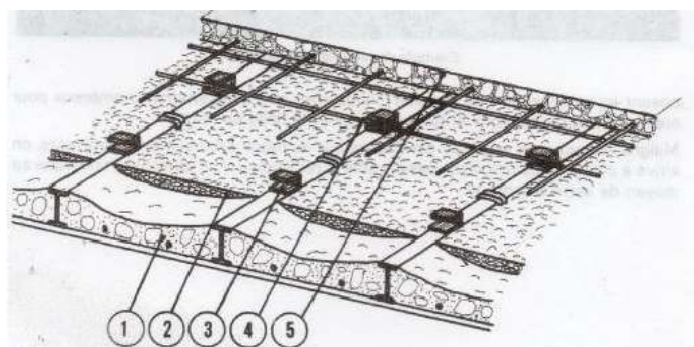


Fig 3, 78 : Renforcement par gainage d'un plancher métallique avec remplissage  
Source : M.Dakhmouch, Op cité p 20

### III-5-3-Renforcement d'un plancher métallique par technique de plancher collaborant :

La technique du plancher collaborant consiste à la consolidation du plancher métallique par une dalle en béton armée coulée au-dessus des solives.



1. Plancher existant (poutrelles + hourdis + plafond plâtre)
2. Remplissage éventuel (béton léger ou Vermaspha)
3. Connecteurs
4. Treillis soudé
5. Dalle en béton

Fig 3, 79 : Renforcement d'un plancher métallique par la technique du plancher collaborant.  
Source : ANAH, Op cité, 59

### III-5-4-Renforcement d'un plancher en bois par montant intermédiaire ou supplément de résistance :

Le traitement des désordres du plancher en bois peut être effectué en le remplaçant carrément avec un nouveau plancher en bois ou par des mesures de consolidations. On opte pour la première solution si le plancher en bois se trouve dans un état de dégradation très avancée et irrécupérable. Dans le cas contraire ou il est possible de le réparer on peut utiliser : « X.Casanova, 2007 ».

- **Supplément de résistance pour les poutres et les poutrelles** : une technique consistant à ajouter de nouveaux éléments collaborant afin d'absorber les efforts supplémentaires sur les poutres et les poutrelles, ceci est jugé nécessaire lorsque le dimensionnement des poutrelles n'est pas suffisant ou lorsque les effets du fluage du bois ont créé une déformation excessive. Les matériaux utilisés sont souvent en bois ou en des profilés en acier posés latéralement, au-dessus ou dessous de l'élément à renforcer.
- **Montant intermédiaire** : une solution consistant à diminuer les tensions de flexion introduites par les surcharges et les déformations dues au fluage du bois. Pour la mise en œuvre de cette opération, des poutres en bois ou en acier sont disposées en travers en divisant la portée du plancher en deux ou trois parties.



Fig 3, 80 : Montant intermédiaire en acier divisant la portée en trois parties  
Source : X.Casanova, 2007, op cité p 236.

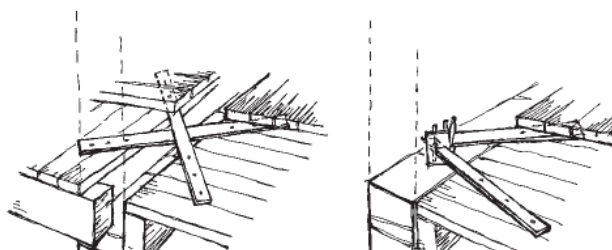


Fig 3, 81 : Supplément de résistance en bois  
Source : X.Casanova, 2007, op cité p 236.

### III-5-5-Traitement des saignées au niveau des appuis des planchers en bois :

Parfois et suite à un mouvement horizontal du plancher à cause d'une secousse sismique, une désolidarisation et une désorganisation de l'ensemble du mur/plancher s'induit en se manifestant par la création des saignées au-dessus de la solive en bois du plancher.

La réparation de ce désordre consiste à remplir par du béton le vide créé dans le mur et à l'aide des éléments métalliques pour le renforcement des parties pourries ou détachées de la solive. Ce système doit être d'une souplesse de façon à faciliter les mouvements différentiels entre le mur et le plancher et d'éviter l'effet de l'écrasement. « M.Dekhmouche 2007 ».

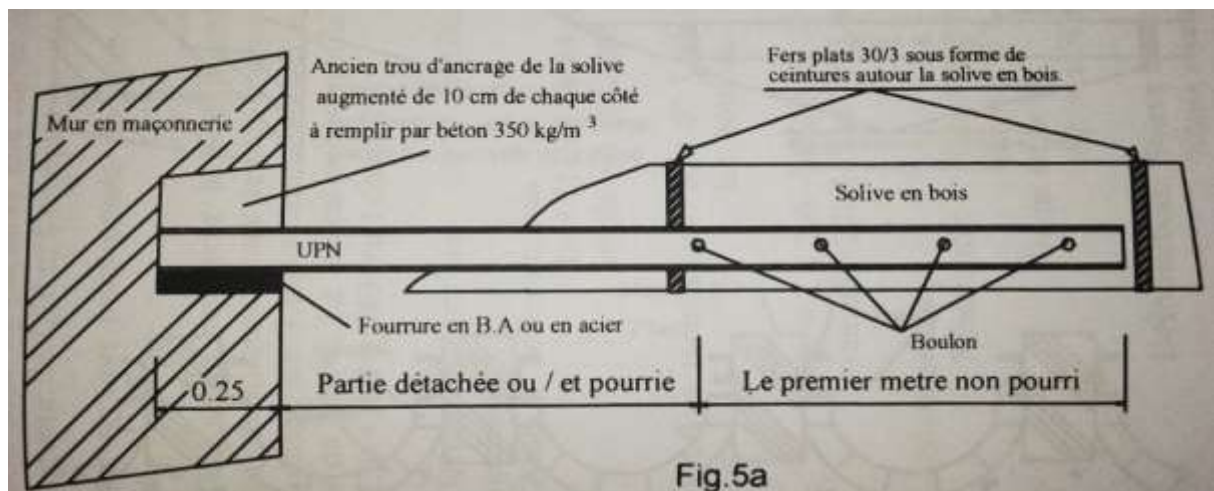


Fig 3, 82 : traitement des saignées et renforcement des solives en bois endommagées.

Source : M.Dakhmouch, Op cité p 45

### III-6-Renforcement des Arcs en maçonnerie par gainage :

La manifestation des désordres dans les arcs et les voutes se fait par des fissures passant par les reins et la clé de l'arc. Le remplacement des parties endommagées des voutes ou des arcs s'avère très difficile, voire même impossible dans certains cas vu la difficulté rencontrée dans l'étalement de la masse supérieure de ces éléments.

Le gainage de ces parties par des éléments métalliques permet d'avoir une continuité dans la transmission des charges et d'une manière plus logique. « M.Dekhmouche 2007 ».

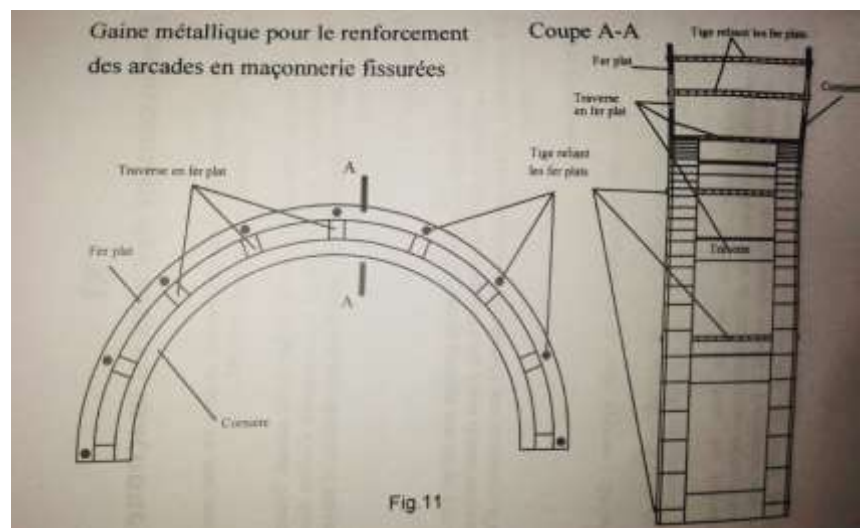


Fig 3, 83 : technique de renforcement d'un arc en maçonnerie par gainage

Source : M.Dakhmouch op cité p 112

### III-7-Traitement des toitures et des systèmes de recouvrement :

Pour la majorité de toitures du patrimoine colonial en Algérie, on opte pour une toiture en charpente en bois recouverte par une toiture en tuile.

En effet, pour la structure en bois des toitures, il est préférable de la remplacer complètement par une nouvelle charpente vue qu'elle est exposée directement à l'humidité. Dans le cas contraire ou son état permet d'envisager des travaux de renforcement, les armatures post-contraintes sont les plus utilisées pour la création d'un nouveau équilibre des efforts de traction.

Concernant la couverture des toitures endommagées, le type d'intervention approprié est déterminé l'aide d'une étude spécifique des matériaux et de leur état de vétusté. Sur la base de cette étude, on pourra donc spécifier si la réhabilitation de cet élément se limitera au remplacement des tuiles arrachées et des ouvrages d'évacuation, ou que la réparation nécessitera l'emploi d'un nouveau complexe d'étanchéité. « M.Dekhmouche 2007 ».

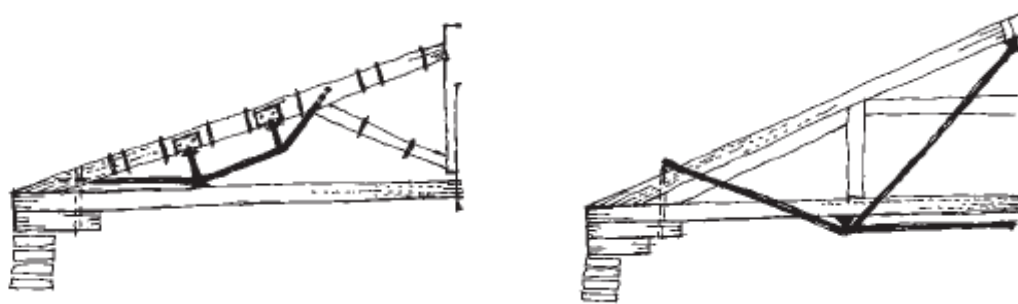


Fig 3, 84 : Le renforcement de la structure en bois des toitures par des armatures post-contraintes.

Source : M.Dakhmouch op cité p 119

### III-8-Traitement des pathologies dues à l'humidité :

#### III-8-1-Lutter contre l'humidité ascensionnelle (provenant du sol) :

La meilleure solution pour le traitement de l'humidité ascensionnelle est celle d'éliminer carrément la source de cette humidité, ceci est possible lorsqu'il s'agit de : « X.Casanova, 2007 ».

- De l'infiltration des eaux de pluie depuis le trottoir vers le mur extérieur du bâtiment, la solution la plus efficace c'est de concevoir d'une manière adéquate la jointe entre le bâtiment et le trottoir ou de rendre ce dernier imperméable complètement.
- Localiser le dysfonctionnement dans les systèmes de canalisation municipaux qui peuvent être confondus avec la capillarité et le traiter.
- Les poches d'eau incorporées dans le sol qui peuvent être remplies sous l'effet d'une intense précipitation, il est souhaitable de concevoir un système de drainage qui permettra de guider ces eaux plus loin de la construction.

Dans le cas contraire ou l'élimination de la source de l'humidité, il est toujours possible de procéder avec d'autres solutions :

### III-8-1-1-Le drainage superficiel :

Création d'un système de drainage superficiel dans le cas d'une humidité provenant d'une strate d'imbibition alimentée par l'eau de pluie. C'est un parcours conçu pour empêcher le contact de l'eau pluviale avec le mur du bâtiment et de son prolongement vers les fondations « X.Casanova, 2007 ».

### III-8-1-2-Drainage du sol par nappe drainante :

Une technique consistant à attribuer à la fondation existante du bâtiment une nappe drainante qui est en fait un produit industriel de plusieurs couches et menée d'un tuyau poreux se trouvant dans la partie inférieure de la nappe. C'est un système permettant à l'évacuation des eaux d'infiltrations recueillies. « ANAH, op cité 1981 »

### III-8-1-3-Création d'une chambre d'aération :

Dans certaines constructions et pour éviter le contact du terrain avec les murs enterrés ou les fondations de cette première, il est souhaitable de concevoir une chambre d'aération, le fonctionnement de cette pièce est pareil à une conduite d'air conditionné. Pour ceci, les chambres d'aération doivent être conçues d'une manière qu'elles soient les mieux possible protégées, ventilées et sèches « X.Casanova, 2007 ».

### III-8-1-4-Assécher les murs par le principe de l'électro-osmose :

L'assèchement des murs affectés par les remontées capillaires par le biais L'électro-osmose est une technique consistant à créer une différence de potentiel entre la maçonnerie et le terrain, en interposant une source de courant continu, dont la tension ne doit pas dépasser deux volts, entre les conducteurs du mur et de la prise de terre.

L'eau présente dans le mur va théoriquement se déplacer de l'anode à la cathode et le flux capillaire étant inversé, le mur va être asséché. « M.Idir, CNERIB 2010 »

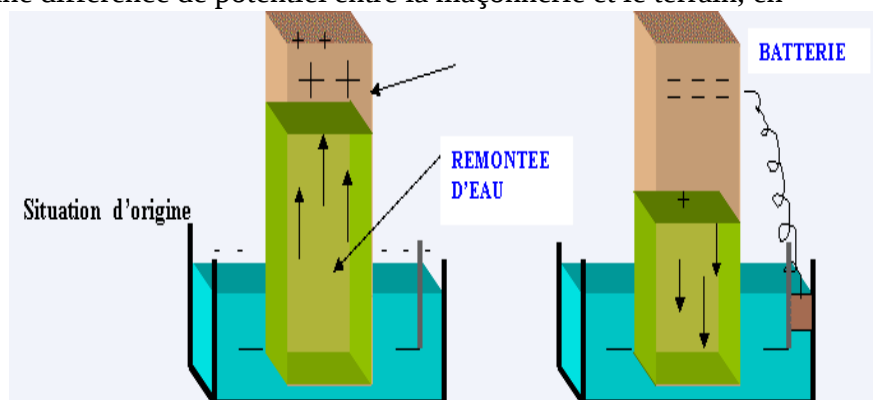


Fig. 3, 85 : principe de fonctionnement de la technique de l'électro-osmose  
Source : M.Idir, CNERIB 2010

### **III-8-1-5-Assécher les murs par le procédé de Knappen :**

Le procédé de Knappen consiste à évacuer l'humidité incluse dans le matériau en ventilant le mur au moyen de petits siphons en terre cuite.

La nature spéciale des tubes, leur diamètre et leur épaisseur, leur profil extérieur et intérieur ont fait l'objet de longues recherches de l'inventeur, qui a dû également déterminer l'inclinaison exacte suivant laquelle il faut placer le siphon dans chaque cas pour qu'il fonctionne avec une intensité maximale. « M.Idir, CNERIB 2010 ».



**Fig. 3, 86 : les siphons en terre cuite employés dans le procédé de Knappen**  
Source : M.Idir, CNERIB 2010

### **III-8-2-La lutte contre l'humidité de condensation :**

Comme nous l'avons cité déjà dans le chapitre précédent, ce type d'humidité se produit dans les bâtiments dont les matériaux utilisés et de par leur composition chimique, sont sensible à l'humidité, les anomalies remarquées se manifestent aux niveaux des parois froides ou mal ventilées sous formes de taches. Quant aux solutions proposées pour éviter la manifestation de cette humidité pouvons citer :

- L'utilisation des isolants thermiques pour la suppression des parois froides.
- L'aération des locaux et des pièces de la construction.
- L'amélioration du chauffage.

Si les traces de l'humidité que nous venons de citer sont déjà apparentes, nous pouvons opter pour la solution de dessellage des parois par le biais des morceaux de papiers de cellulose ou de d'argile imprégné de l'eau distillée. « X.Casanova, 2007 ».

## **III-9-Traitement des végétaux sur la maçonnerie :**

### **III-9-1-Traitement des lichens dans la maçonnerie en pierre :**

La lutte contre les lichens dans une construction en pierre pourra être effectuée par le biais des produits antifongiques et de bactéricides n'ayant pas un impact négatif sur le comportement mécanique de la maçonnerie.

Une fois terminé, il est indispensable d'appliquer un produit hydrofuge sur les murs, ces derniers permettront dans la suite l'influence de l'eau et la prolifération des bactéries tout en évaporant l'eau propre contenu dans la maçonnerie. « Euromed Héritage, 2004 »

### **III-9-1-2-Traitement des mousses dans la maçonnerie en pierre :**

Tout en respectant la période des travaux qui doit être en dehors de la période hivernale, il existe de divers moyens pour l'élimination des mousses dans la maçonnerie, parmi ces derniers nous pouvons citer : le sablage, des techniques par nébulisation, pulvérisation de l'eau, le brossage. « M.Idir, CNERIB 2010 ».

## Conclusion

L'opération de la réhabilitation structurelle du patrimoine bâti qu'elle consiste à la réparation des dommages et des avaries résultants de divers facteurs ou le renforcement pour lutter contre les différents risques et aléas, a comme objectif l'assurance de la sécurité des usagers de ces constructions et de garder ces merveilles architecturales pour la plus longue durée possible. L'enjeu principal dans une telle intervention serait donc comment arriver à renforcer la structure tout en gardant le charme de la qualité architecturale constituant l'identité de ces bâtisses.

Cependant, la réussite d'une réhabilitation structurelle dépend non seulement de la maîtrise des nouveaux procédés de renforcement mais aussi une connaissance approfondie des techniques et des matériaux utilisées à chaque époque. Les solutions apportées doivent être choisis en fonction des spécificités architecturales et structurelles de chaque édifice.

Enfin, le grand développement dans les techniques de la consolidation des éléments de la structure du bâti existant a permis de trouver de nombreuses solutions pour remédier à la problématique de la vulnérabilité des constructions anciennes en maçonnerie. Comme il est difficile de présenter toutes les techniques utilisées actuellement, nous avons essayé à travers cette phase de recherche de mettre le doigt sur les plus essentielles.

## Partie II : Partie Pratique de la Recherche

### Chapitre IV : Analyse de la Réhabilitation du Lycée Emir Abdelkader.

## **Introduction :**

La Deuxième partie de notre recherche, est une phase pratique fondée principalement sur les données théoriques présentées dans les chapitres précédents de notre recherche.

Dans le but de trouver des réponses sur notre problématique de départ, nous avons choisi le lycée Emir comme cas d'étude. Sachant que ce dernier a déjà bénéficié d'une opération de réhabilitation dans le cadre de la politique nationale de la préservation du patrimoine architectural, notre objectif par le biais de cette partie de la recherche est d'arriver à évaluer le degré de la vulnérabilité structurelle de cet établissement, et de vérifier si les travaux exécutés ont pu répondre aux problèmes structurels mentionnés avant cette opération.

Notre démarche reposera principalement sur les deux notions de la durabilité et de la sismicité. Ces dernières sont les facteurs les plus importants à tenir en compte lors d'une opération pareille. En premier lieu, nous devons s'assurer que la réhabilitation effectuée permettra à cet édifice de se pérenniser au fil du temps tout en gardant son aspect architectural et la sécurité de ces occupants. En deuxième lieu, la situation du lycée dans une zone caractérisée par une forte sismicité, nous oblige de faire de la vulnérabilité sismique un élément prioritaire de notre démarche.

Afin d'aboutir à notre objectif, ce chapitre se constituera de trois parties,

La première partie sera une partie de connaissance de notre cas d'étude. Nous allons présenter dans ce qui suit sa situation géographique, historique, et les spécificités architecturales et constructives de l'ex lycée Bugeaud faisant de ce dernier un édifice d'une richesse patrimoniale considérée.

Quant à la deuxième partie de ce chapitre, elle sera consacrée à la présentation des travaux de réhabilitation effectués au sein de l'établissement tout en mentionnant l'état des lieux avant et après cette opération.

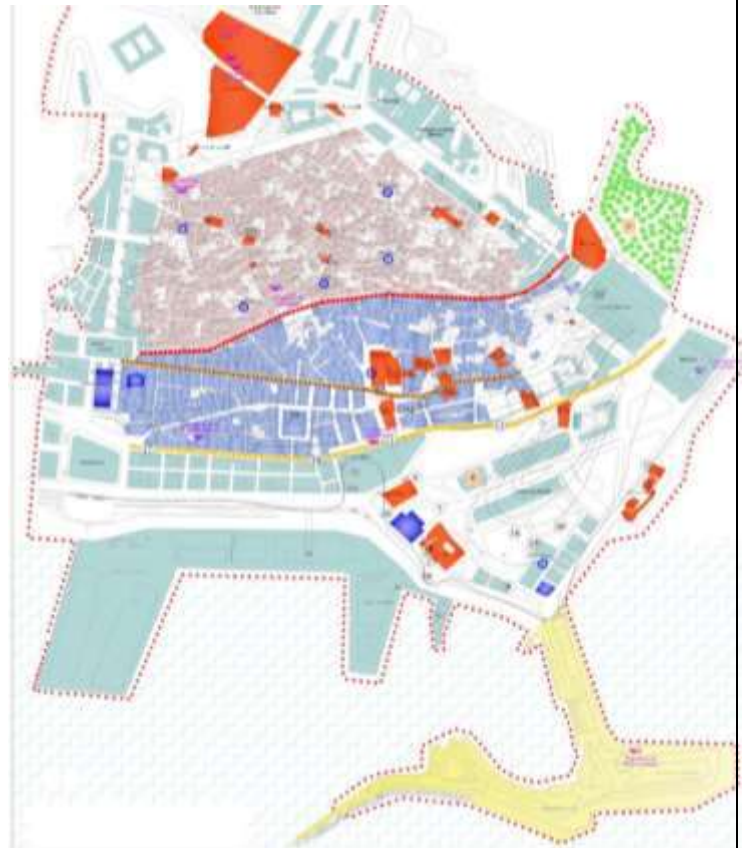
Et enfin, dans la troisième partie, nous allons établir une analyse de l'état de cet édifice après la finition de la réhabilitation en se basant essentiellement sur des méthodes présentées dans la partie théorique de notre travail et en concluant notre chapitre par une phase de recommandations techniques.

## **IV-1-Présentation du cas d'étude :**

### **IV-1-1-La situation géographique :**

#### **La commune de la Casbah**

La casbah est une commune qui se situe sur la baie d'Alger dont les limites s'étalent jusqu'à la citadelle à l'ouest, le square de port Saïd au sud et lycée émir et le jardin de Marengo au nord. Elle est délimitée par la commune de Bâb El Oued au nord de Alger centre au sud et de la commune de Oued Koraich a l'ouest. C'est un site doté d'une grande valeur architecturale et urbaine parvenue de la superposition de deux typologies contrastées



**Fig. 4,87 : Limites administratives de la commune de la Casbah.**  
Source : OGEBC, 2013

### **IV-1-2-Historique de l'occupation française à la Casbah :**

Dès son arrivées à Alger en 1830, l'ancienne ville ou la Casbah d'Alger édifée bien avant, et considérée comme le plus important groupement de la population locale faisait l'objet de la préoccupation majeure des français. Pour une bonne maitrise de la situation plusieurs solutions sur le plan urbain ont été proposées, parmi celles qui arrangeaient les intérêts des autorités françaises, la construction d'un nouveau tissu colonial en se superposant sur le tissu ancien et en renforçant la présence des militaires dans les lieux. Ce nouveau tissu bâti avait comme but



**Fig. 4,88 : Vue panoramique de la Casbah d'Alger.**  
Source : <http://4.bp.blogspot.com/>

non seulement de briser la prédominance de la population endogène mais aussi de cacher l'identité Algérienne en la mettant en arrière-plan des grands gabarits coloniaux, le parvenant sur le port et en voyant la baie d'Alger avec des hautes constructions avec un style architectural occidental comprendra tout de suite qu'il s'agit d'une nouvelle colonie française.

En revanche, la construction du tissu colonial a donné naissance à un langage architectural riche et urbain très diversifiée. Ce contraste est considéré comme une preuve de passage de plusieurs civilisations et périodes historiques que nous devons protéger.

Nous pouvons distinguer dans le site deux trames différentes :

- la première nommée la basse Casbah, est une trame coloniale en damier issue d'intersection de deux ou plusieurs voies parallèles qui engendrent un alignement parfait des parcelles de formes géométriques souvent rectangulaires sur les axes principaux.
- La deuxième trame ou la trame traditionnelle arborescente est une trame irrégulière résultante de la topographie accidentée du site. Ceci a donné naissance à des parcelles de formes organiques et un système viaire hiérarchisé non directionnelle sous forme de labyrinthe.



Fig. 4,89 : Tissu arborescent traditionnel de la Casbah  
Source : OGEBC, 2013.

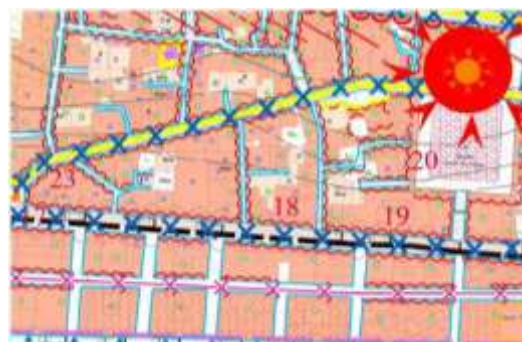


Fig. 4,90 : Tissu colonial en Damier  
Source : OGEBC, 2013

#### IV-1-3-Vulnérabilité de la zone d'étude :

Suite à une étude portant sur la réduction de la vulnérabilité du massif de Bouzerreah menée par le bureau d'étude expert français ISL-BRGM en collaboration avec la direction de l'urbanisme d la wilaya d'Alger, les différents risques et catastrophes naturelles probables sont identifiés. Cette expérience a touché essentiellement six communes de cette zone. Notre zone d'étude a été concernée par cette étude.

Parmi les caractéristiques principales soulevées concernant la zone d'étude, la présence élevée des aléas naturelles et une forte vulnérabilité vis-à-vis ces dernières. Nous allons essayer dans ce qui suit de présenter les plus importants risques et catastrophes naturelles probables. « Direction de l'aménagement du territoire, de la prévention et de la résorption de l'habitat précaire, étude de réduction de la vulnérabilité du massif de Bouzareah 2010. ».

#### **IV-1-3-1-Aléa d'inondation :**

Dans les six communes composantes de la zone d'étude deux types de bassins versant ont été identifiés, le bassin d'Oued Koreiche et les bassins versant côtiers. Le lycée Emir est concerné par le premier bassin.

Le phénomène de l'urbanisation, la densification du tissu urbain, ainsi qu'à la forme topographique du terrain qui se présente sous une forme d'une pente de forte déclivité sans oublier l'ancienneté du réseau de canalisation des eaux usées et des eaux pluviales ; sont tous des facteurs qui augmentent le risque d'avoir une autre catastrophe pareille à celle qu'a subit la commune de Bâb El Oued en novembre de l'année 2001. Un incident dramatique qui a laissé derrière lui des centaines de victimes.



**Fig. 4,91 : Inondation de Bâb el oued 2001**

Source : <http://www.algerie360.com/wp-content/uploads/2013/05/intemperies-et-inondations-a-alger-le-spectre-de-bab-el-oued-2001.jpg>

Les analyses hydrologiques et hydrographiques ont permis de découvrir qu'à cet état actuel, les niveaux de risque et la vulnérabilité face au phénomène d'inondation sont très élevés. Des mesures de protection pour les nouveaux projets d'aménagement tels que l'orientation des voiries l'alignement du bâti par rapports a ces dernières et le positionnement des édifices stratégiques ainsi que l'amélioration des réseau de conduites des eaux usées et pluviales sont tous des mesures à prendre en compte pour la réduction de ce risque.

#### **IV-1-3-2-Aléa des séismes :**

Depuis plusieurs siècles jusqu'à nos jours, la ville d'Alger a été toujours considérée comme une zone de forte sismicité, le séisme de 1365 ayant détruit la totalité de la ville confirme cette théorie.

Six failles principales, la faille de Zemmouri et la faille de Khayr Eddine en particulier sont à l'origine des différents aléas sismiques dont la dernière a été constatée à Boumerdes en 2003, la zone a été ébranlé par un violent séisme de 6.7 de magnitude en provoquant de graves dégâts matérielles et des milliers de victimes.

Sur cette base, deux scénarios ont été soulevé pour évaluer le risque sismique, le premier un séisme considéré fort de 6,85 de magnitude avec une période de retour moyenne de 475 ans, le deuxième de 4,85 de magnitude avec une période de retour de 73 ans.

Jugée très élevée dans la zone d'étude, la vulnérabilité sismique est en relation directe avec l'âge et la qualité de l'édifice, les bâtiments de la zone d'étude ont été classés en plusieurs catégories :

- L'habitat précaire.
- L'habitat traditionnel.
- Auto constructions en pierre.
- Immeuble d'avant 1962.
- L'habitat postérieur de 1980.
- Auto construction en béton.
- Auto constructions en béton armé.

La difficulté dans cette situation est liée à l'absence du règlement parasismique lors de la construction des anciennes bâtisses mais aussi du non-respect de ces règles même après leur officialisation, sachant que parmi les typologies citées ci-dessus, l'auto construction en pierre et en béton sont les plus répandues au site.



**Fig. 4,92 : Habitat précaire**  
**Source : Direction de l'aménagement du territoire, de la prévention et de la résorption de l'habitat précaire, 2010.**

La lutte contre la vulnérabilité sismique dans la zone d'étude nécessite toute une stratégie menée par les autorités locales et en collaboration avec les habitants, cette stratégie doit classer les interventions sur les bâtiments selon une hiérarchie, les bâtiments jugés nécessaire lors d'une crise seront classés à la tête des priorités. Quant aux nouvelles constructions, il faut bien veiller sur le respect du règlement parasismique par les différents acteurs impliqués dans le domaine de la construction.

#### **IV-1-3-3-Aléa du mouvement du terrain :**

L'analyse de l'objet d'étude par le bureau d'étude expert français basée sur les expériences géotechniques et géologiques a permis d'identifier les différentes sources pouvant être à l'origine d'un mouvement de terrain probable dans la zone d'étude, parmi ces dernières nous pouvons citer :

- Les épisodes pluviométriques intenses.
- La nature géologique du terrain sujette à l'érosion et aux glissements du terrain.
- Les remblais non compactés, les terrassements non protégés.
- La mauvaise gestion des eaux pluviales.
- Absence de murs de soutènement, ou le sous dimensionnement de ces derniers

Comme conséquences de ces facteurs, nous pouvons énumérer trois types de mouvement de terrain :

- Le glissement de terrain rapide a cinétique rapide.
- Le glissement de terrain a cinétique lente.
- La chute des blocs.

La typologie de l'habitat précaire est la plus exposée au risque du glissement du terrain rapide à cinétique rapide, ce dernier est considéré comme le plus répandu dans la zone d'étude. Les zones en rouge dans la carte sont les plus vulnérables à cet aléa.

Pour plus de sécurité vis-à-vis le risque du mouvement de terrain, il est indispensable d'établir une étude géotechnique avant tout travaux touchant le sol (terrassement, remblais, déblais...etc.), ceci aidera les concepteurs de déterminer les bons dispositifs structurels permettant la stabilité du terrain d'une part et une meilleure intégration de la bâtisse au site d'autre part. « Direction de l'aménagement du territoire, de la prévention et de la résorption de l'habitat précaire, étude de réduction de la vulnérabilité du massif de Bouzareah 2010. ».

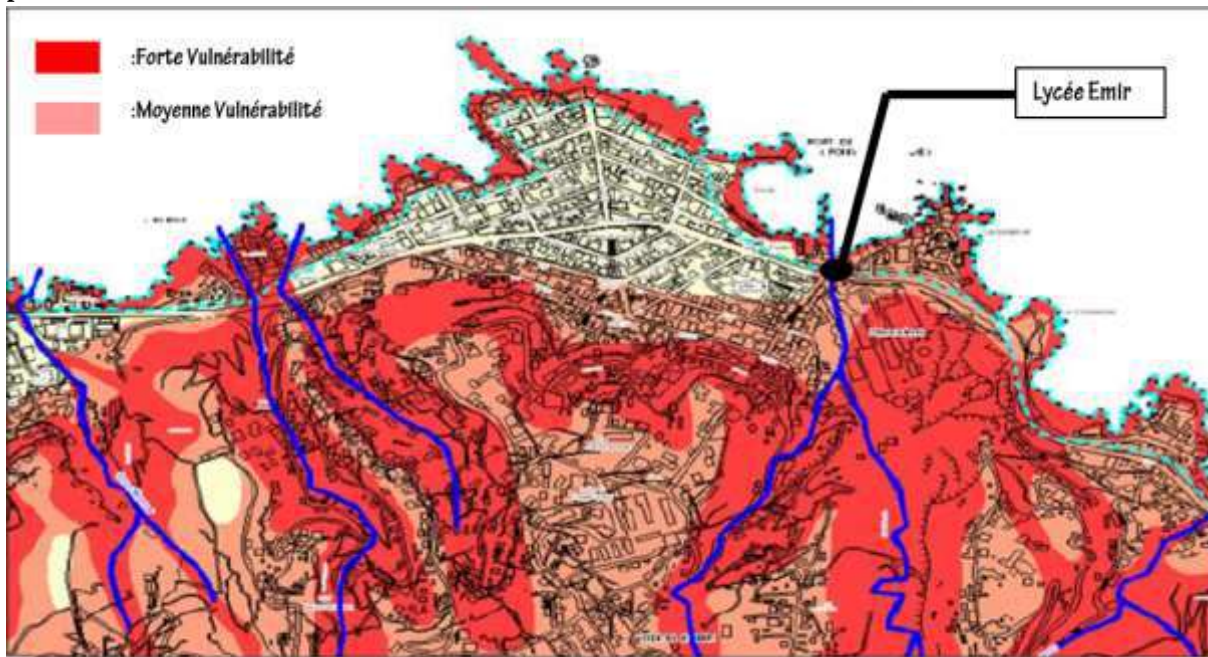


Fig. 4, 93 : Carte du zonage de Risque du mouvement de terrain

Source : « Direction de l'aménagement du territoire, de la prévention et de la résorption de l'habitat précaire, étude de réduction de la vulnérabilité du massif de Bouzareah 2010. ».

#### IV-1-3-4-Aléa de pollution :

L'étude portant sur la pollution, et en absence de l'industrie dans le site a permis de limiter les sources de pollution dans les zones de décharges sauvages touchant essentiellement les citoyens de ces communes. « Idem ».

#### IV-1-4 -Le choix du cas d'étude :

Pour bien mettre le doigt sur l'état du patrimoine colonial du 19em siècle, on a choisi l'un des édifices marquant de cette période à savoir le lycée Bugeaud ou l'actuel lycée Emir Abdelkader. C'est un lycée d'une grande valeur historique et qui a connu le passage de plusieurs personnages tel que mouloud Maameri et d'une richesse architecturale considérable qui à travers le temps a connu une certaine vulnérabilité suite à la réunion de plusieurs facteurs, ceci a poussé les autorités locales a effectué des travaux de réhabilitation et de restauration pour le préserver.

## IV-1-5 -Lycée Emir Abdelkader localisation et aperçu historique :

### IV-1-5-1-Situation :

L'ex-Le grand lycée d'Alger ou Lycée Bugeaud d'Alger, actuel Lycée Emir Abdelkader se situe à la commune de la Casbah en face du bâtiment de la DGSN et attenant au jardin de Prague (ex-Marengo). L'importance de cet établissement est due à son emplacement stratégique entre deux communes adjacentes (La Casbah et Bâb El Oued) et en extrémité d'un axe structurant (la rue de Bâb el Oued et Bâb Azzoun) qui connaît un grand flux piéton et mécanique.



Fig. 4,94 : Photo Aérienne du Lycée Emir Abdelkader.  
Source : Google Earth, 2016.

### IV-1-5-2-Aperçu historique :

Le lycée Emir ou Lycée Bugeaud est le plus ancien en Algérie fut construit entre 1862 et 1868 sur les plans des architectes « *Claudel* » et « *Giauchain* ». Avant la réalisation de cet établissement scolaire, les élèves de la zone fréquentaient un collège qui se situait à l'entrée de Bâb Azzoun et qui à l'origine fut réalisé pour être une caserne et ensuite une école militaire.

Après la visite du napoléon III à l'école et suite à l'accroissement remarquable des élèves, les autorités locales ont jugé nécessaire de construire un lycée dans les environs pour que les élèves du collège puissent finir leurs études fondamentales. Après de multiples tergiversations l'emplacement actuel de l'édifice est choisi, il sera situé au-delà des remparts de la Casbah à côté du jardin des condamnés (jardin de Marengo) sur une surface d'environ de 12000 m<sup>2</sup>. Les architectes avaient comme instructions de concevoir un édifice imposant avec une façade grandiose avec des arcades et un escalier monumental au milieu qui donne sur une grande porte. Après de grandes difficultés au niveau du financement du projet, le lycée a été inauguré en octobre 1868.

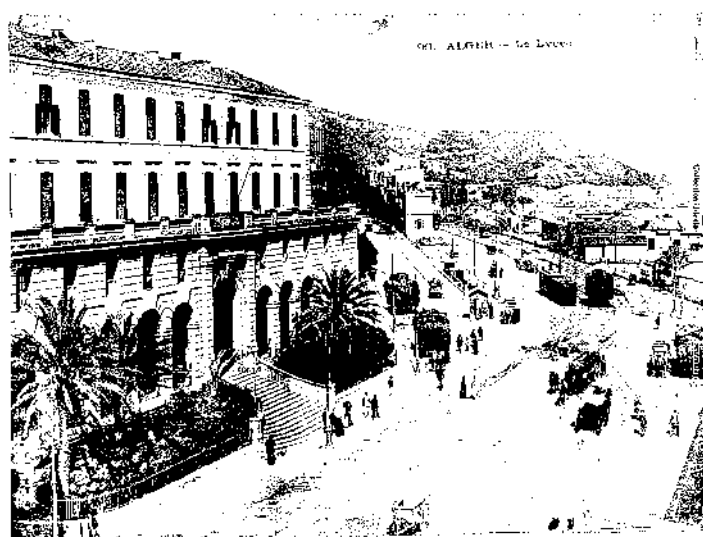


Fig. 4,95 : Photo ancienne du lycée ver 1912

Source : [http://i.skyrock.net/5248/12975248/pics/323282831\\_small.jpg](http://i.skyrock.net/5248/12975248/pics/323282831_small.jpg)

En 1942 et suite à un bombardement d'un avion de la Luftwaffe l'aile droit de la façade principale est complètement détruit, les élèves ont été délocalisé dans d'autres lycée et le lycée Bugeaud sera occupé par les anglais. Ce lycée appelé aussi lycée des garçons est aujourd'hui divisé en deux partie, une partie lycée et une partie pour les classes préparatoires de l'école polytechnique.



Fig. 4,96: Bombardement de la façade principale par le Luftwaffe en 1942

Source : [http://i.skyrock.net/5248/12975248/pics/323282831\\_small.jpg](http://i.skyrock.net/5248/12975248/pics/323282831_small.jpg)

#### IV-1-5-3-Configuration spatiale du Lycée :

Edifié entre 1862 et 1868, et après deux extensions, le lycée émir se présente aujourd'hui sous forme de quatre blocs parallèles longitudinaux (1/2/3/4) de (110 x 13 m) du sud-est au nord-ouest, et deux blocs transversaux (5/6) de ( 50 x 25m)

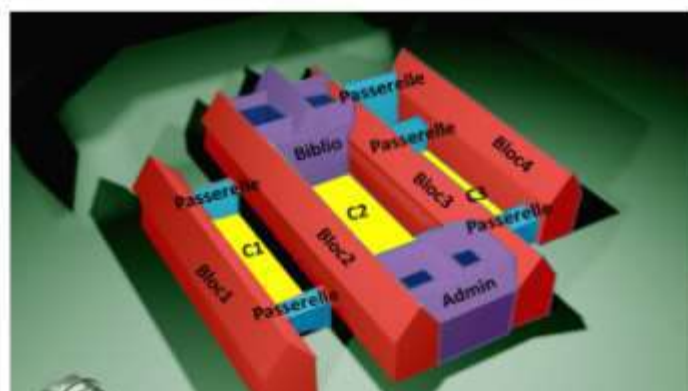


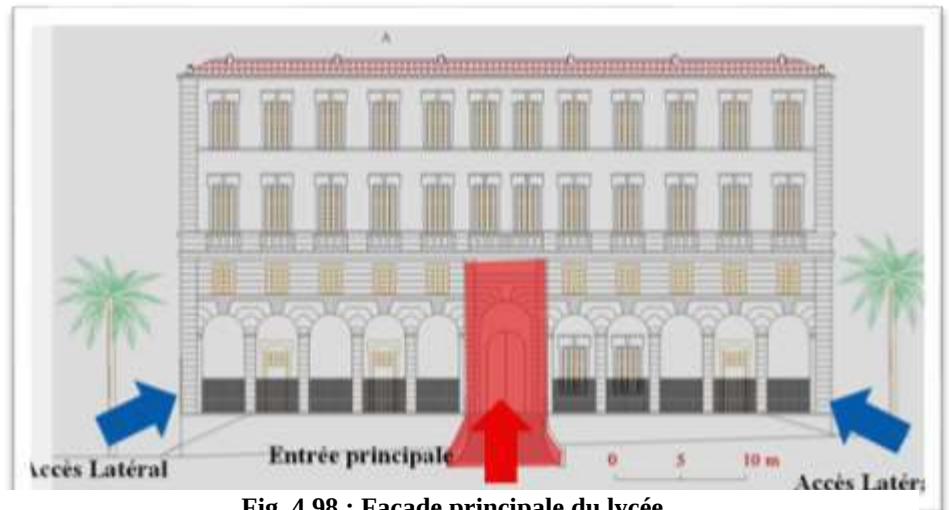
Fig. 4,97 : Volumétrie du lycée Emir avec les différents blocs, cours et passerelles.

Source : Auteur.

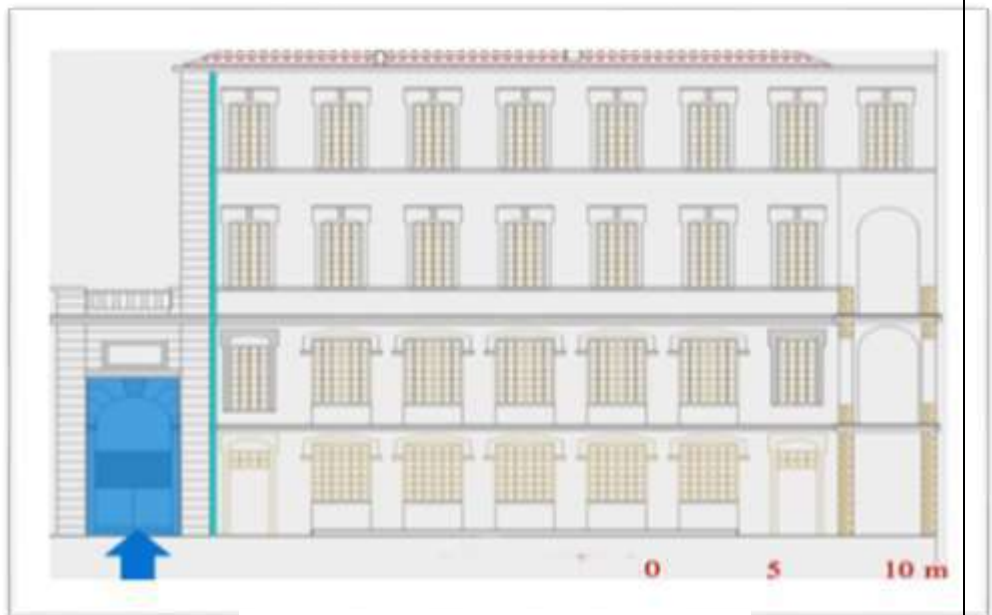
engendrant trois cours centrales (A/B/C) de (60 x 24m) sur une surface totale de 12 000<sup>2</sup>. La circulation entre les différents blocs se fait par le biais de Galeries, coursives ou passerelles.

La façade principale en face du DGSN comprend trois accès, 2 latéraux, mécaniques sur cours et un central sur l'administration par un majestueux escalier. Le terrain étant en dénivelé, la partie de l'accès mécanique arrive à atteindre les 5 m par rapport à la cour centrale.

Pour plus d'éclairage, la partie entre les quatre barres longitudinales et les deux blocs transversaux ou se trouve l'administration au sud et la bibliothèque au nord comprends quatre cours au total avec une dimension de (11 x 6,5m).



**Fig. 4,98 : Façade principale du lycée.**  
Source : B.E.T Harchaoui, traité par l'auteur.



**Fig. 4,99 : Cour centrale du lycée**  
Source : B.E.T Harchaoui, traité par



**Fig. 4,100 : Façade Latéral du bloc administration.**  
Source : B.E.T Harchaoui.2010.



**Fig. 4,101 : Cour intérieur de la bibliothèque**  
Source : B.E.T Harchaoui.2010.

#### IV-1-5-4-Division administrative du lycée :

Le lycée Emir a été divisé administrativement en deux parties : le bloc 1 et le bloc 2, l'ensemble du sous-sol de l'administration et une partie de son aile et une partie de la bibliothèque ont été octroyés aux classes préparatoires de science et de technologie (ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique), le reste est affecté au lycée.

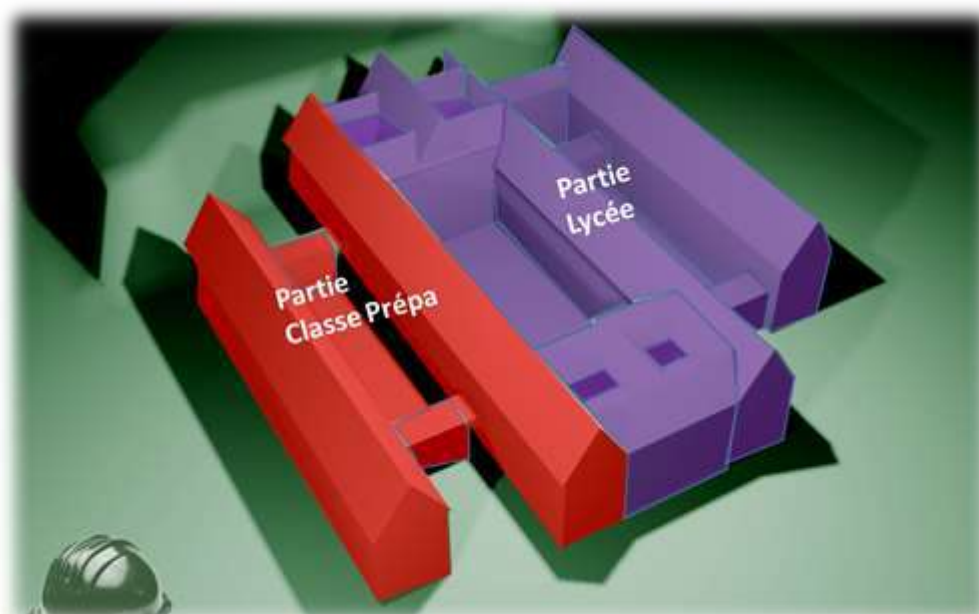


Fig. 4,102: Division administrative de l'établissement.

Source : Auteur

Avant la division administrative du lycée, le bloc 1 était réservé à l'internat (dortoirs) et logement, au rez de chaussée et sur la façade principale une salle des fêtes a été aménagée, cette dernière a été récupérée par l'établissement ensuite.

La bibliothèque ou ex chapelle avec pinacle-cloche contenait au rez de chaussée un atelier de menuiserie et un laboratoire photos. Quant à la terrasse de cette dernière un château d'eau a été bâti pour alimenter le lycée.



Fig. 4,103 : La bibliothèque ex chapelle avec pinacle  
Source : B.E.T Harchaoui.2010.



Fig. 4,104: La bibliothèque ex chapelle avec pinacle  
Source : B.E.T Harchaoui.2010.

La partie réservée pour le lycée «Emir Abdelkader» est constituée par 4 blocs (R+3 et R+2), reliés entre eux par des passerelles et coursives, comprenant une quarantaine de classes dont 4 en laboratoires, 1 salle de conférence, 2 salles de gymnastique et les locaux administratifs, représentant une surface de plancher de 4300 m<sup>2</sup> en locaux, 1200 m<sup>2</sup> en gymnase et 2500m<sup>2</sup> en coursives et galeries.

Le bloc administratif contient au total quatre niveaux avec un sous-sol un rez de chaussée et deux étages. Les espaces sont repartis comme si de suite :

- 
- PLAN RDC**  
**NIV +0.00**
- 0 5 10 m

81



**Fig. 4,106 : Coupe sur le bloc de l'administration.**

Source: B.E.T Harchaoui.2010.

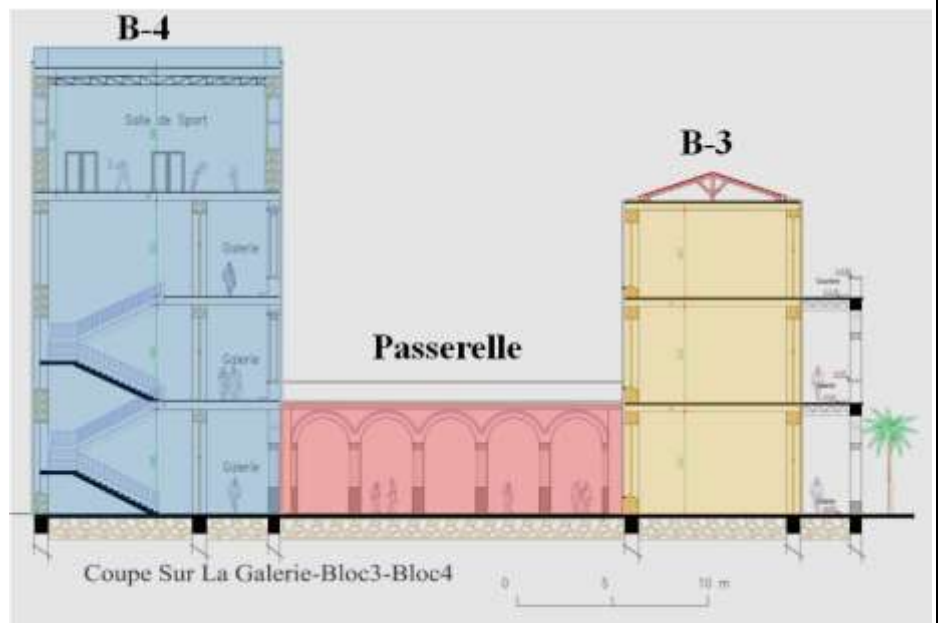
#### **IV-1-5-5-b-Le bloc de la bibliothèque (ex chapelle) :**

Le bloc de la bibliothèque après la division de l'établissement contient deux parties, la partie latérale du côté du bloc 2 a été récupérée pour les classes préparatoires. La partie du lycée avec un rez de chaussée et deux étages, les espaces contenant sont (plans, voir annexe) :

- Rez de chaussée : salles de prière, salle de conférence, un laboratoire, une salle de menuiserie des sanitaires, un jardin et une cage d'escalier.
- Le premier étage : une salle d'archive, classes, jardin et cages d'escalier.
- Le deuxième étage : une bibliothèque, un jardin et des classes.

#### **IV-1-5-5-c-Les Blocs 3 et 4 :**

Les blocs 3 et 4 ou l'accès se fait du côté nord-est dans le sous-sol du bloc 4 (un accès piéton et mécanique), se présentent sous forme d'une barre de forme longitudinale de (110 x 13 m) avec un rez de chaussée et deux étages. Le bloc 4 et après une extension d'un étage contient une salle de sport au dernier étage avec deux niveaux (plans, en annexe).



**Fig. 4 .107 : Coupe sur la galerie reliant le bloc 3 et 4**

Source : B.E.T Harchaoui.2010.

#### IV-1-6-Tendance et style architectural des façades :

La construction du lycée Emir en deuxième moitié du 19<sup>em</sup> siècle, correspondait à une période où l'architecture Néo-classique connaissait une grande expansion et succès dans le monde occidental. En France comme dans autres pays de l'Europe, le courant néo-classique est apparu en deuxième moitié du 18<sup>em</sup> siècle en se succédant au classicisme du style Baroque et Rococo, la découverte des fouilles de quelques sites tel que le Pompéi a remis en évidence le retour vers la forme antique.

Ce style architectural a perduré en France jusqu'à la fin du 19<sup>em</sup> siècle avant l'apparition de quelques styles tels que l'éclectisme, le rationalisme et l'historicisme. En Algérie, et avec la politique française de vouloir faire de l'Algérie une extension française, les tendances et les styles architecturaux utilisés lors de la construction des édifices de grandes envergures étaient pareils à ceux qui sont utilisés en France. Certains architectes encore fidèles au style architectural néoclassique ont essayé de reproduire ce style en Algérie en reprenant l'essentiel des principes de ce dernier.

Nous avons choisi de reprendre la façade principale du lycée Emir et faire ressortir les principaux éléments qui la composent.

La façade de l'ex Lycée Bugeaud, actuellement Emir Abdelkader est dans le pur style néoclassique en vogue à cette époque (1850-1865). Elle reprend tous les attributs de l'architecture classicisante rappelant les vieux palais italiens du Cinque Cinto.

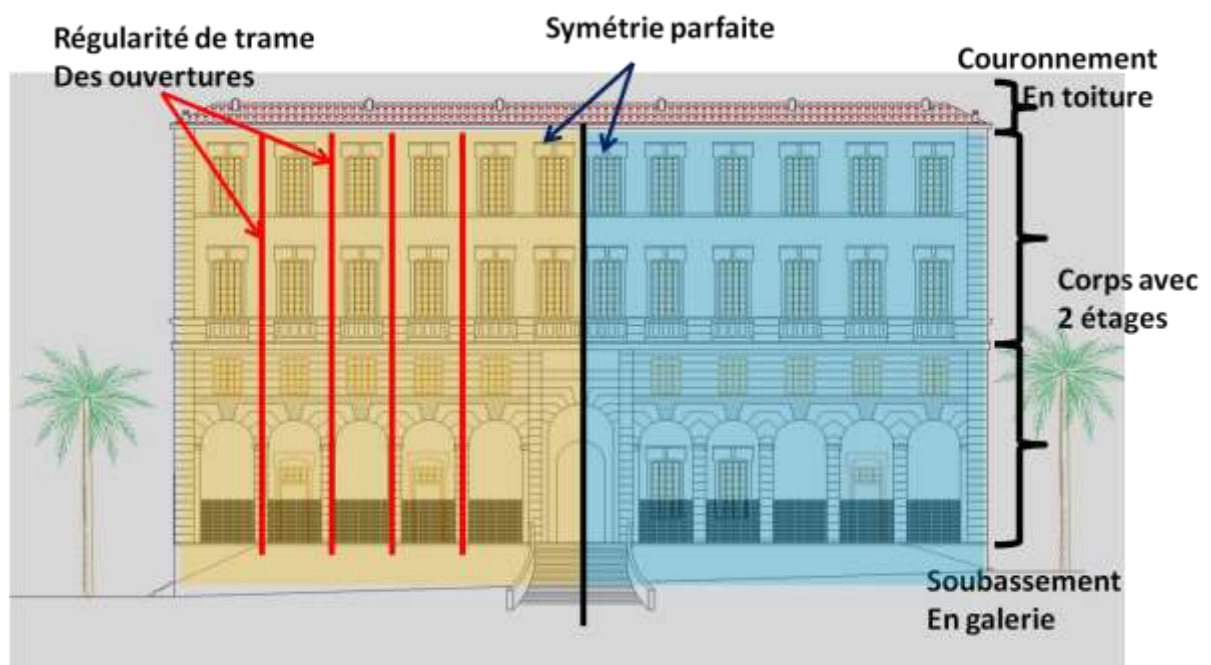


Fig. 4,108: Décomposition de la façade principale du lycée.  
Source : B.E.T Harchaoui.2010, traité par l'auteur.

En effet, cette façade présente une grande rigidité formelle. Divisée en tripartite, un soubassement reprenant un pré haut en double hauteur et bordé par une galerie à arcade posé sur de massifs piliers un corps de deux niveaux et un couronnement en toiture. On remarque l'absence de l'attique par contre au niveau supérieur, la trame des fenêtres est assez régulières il faut noter que de part et d'autre du corps principal se trouve deux autre entités qui présente les mêmes attributs que la façade principale. En dernier, il ne faut pas manquer de signaler la majestueuse entrée du lycée marquée par un escalier en perron en forme évasée.



**Fig. 4,109 : L'entrée majestueuse du Lycée avec un escalier en perron.**

Source : auteur 2014

#### **IV-1-7-Lecture des Typologies structurelles des blocs du lycée :**

Dans la partie réservée au lycée dans cet édifice on peut distinguer deux types d'ossatures relatives à deux époques différentes, les matériaux utilisés dans la structure des blocs du lycée Emir sont le bois la pierre de moellon et l'ossature métallique employée dans les extensions effectuées plus tard.

##### **IV-1-7-1-La structure ancienne :**

##### **IV-1-7-1-a-Structure verticale portante, murs et colonnes :** L'ossature ancienne

des blocs du lycée est composée de murs porteurs en pierre de calcaire (moellon), ce type de pierre est utilisé à cette époque-là en fonction de sa disponibilité et de sa facilité en mise en œuvre. Les pierres sont jointes entre elles avec un mortier à base d'argile et de chaux et associées à des colonnes en pierres de taille jointes entre elles. Les colonnes dans cet établissement sont façonnées suivant le désir de ses deux architectes, de forme hexagonale, circulaire, avec des exceptions aux niveaux des angles.



**Fig. 4,110 : Mur extérieur en maçonnerie de moellon Au RDC, étage colonne de forme hexagonale en pierre de calcaire et remplissage avec la Brique rouge**

Source : B.E.T Harchaoui. 2010

L'épaisseur des murs est trop importante aux niveaux des sous-sols en allant jusqu'à 1 m d'épaisseur et qui se réduit aux étages en arrivant jusqu'à 50 cm de largeur.

**Remarque :**

- Ce qu'on peut remarquer dans la structure verticale portante c'est bien l'absence des chainages verticaux au niveau des murs, la stabilité de l'ouvrage est assurée par l'épaisseur importante des murs, cependant ces murs semblent être vulnérables face aux efforts horizontaux pouvant créer des déplacements dans l'ossature verticale



**Fig. 4.111 : Colonnes de la galerie de forme hexagonale**  
Source : B.E.T, Harchaoui,2010.

**IV-1-7-1-b-Arcade et mur de séparation :**

Les murs de séparation entre les différents espaces sont en brique pleine, le même cas pour les arcades de la galerie, ces dernières reposent sur les colonnes citées si des



**Fig. 4,112 : arcade en brique pleine sur colonne en pierre,**  
**Mur du garde-corps avec maçonnerie du Moellon.**  
Source : B.E.T, Harchaoui, 2010.

**Structure horizontale :**

**IV-1-7-1-c-Plancher sur voute des sous-sols et entresols :**

Au niveau des sous-sols et des entresols, les planchers sont constitués de grandes voutes en pierres qui s'adaptent aux grandes portées et larges baies d'ouvertures. Ce procédé de voutes se comportant bien vis-à-vis des efforts de compression et déchargeant les efforts sur les murs porteurs.



**Fig. 4,113 : grande voute supportant le**  
**plancher de l'entresol**  
Source : B.E.T, Harchaoui,2010.

#### IV-1-7-1-d-Plancher en voutain des étages courants :

Quant aux planchers, ces derniers sont des planchers en voutain en brique sur des solives métalliques et supportées par des poutres métalliques, l'ensemble est recouvert par un faux plafond en lattis roseaux et plâtres. Le revêtement du sol en carrelage sur tuf et terre.

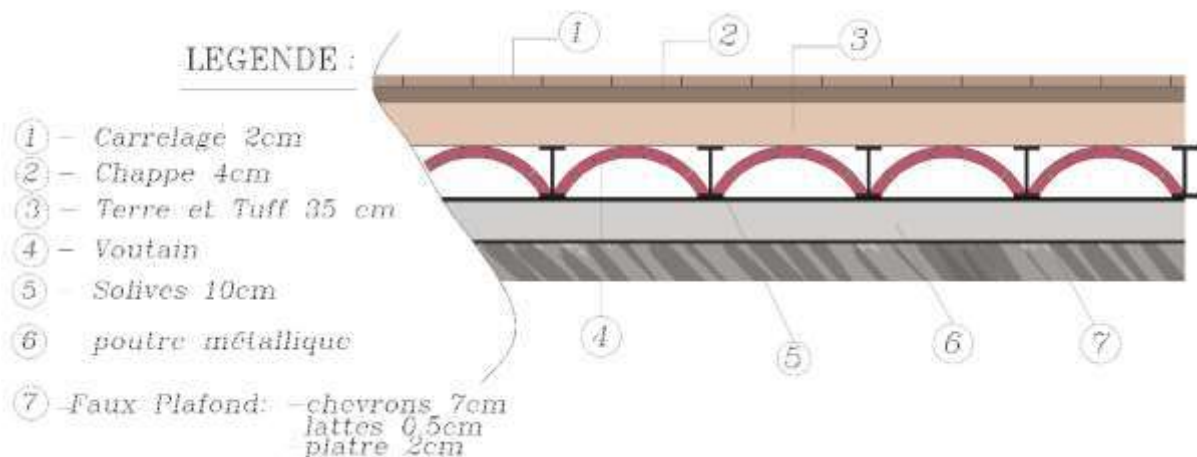


Fig. 4,114 : Coupe AA : détail plancher en voutain

Source : Auteur.

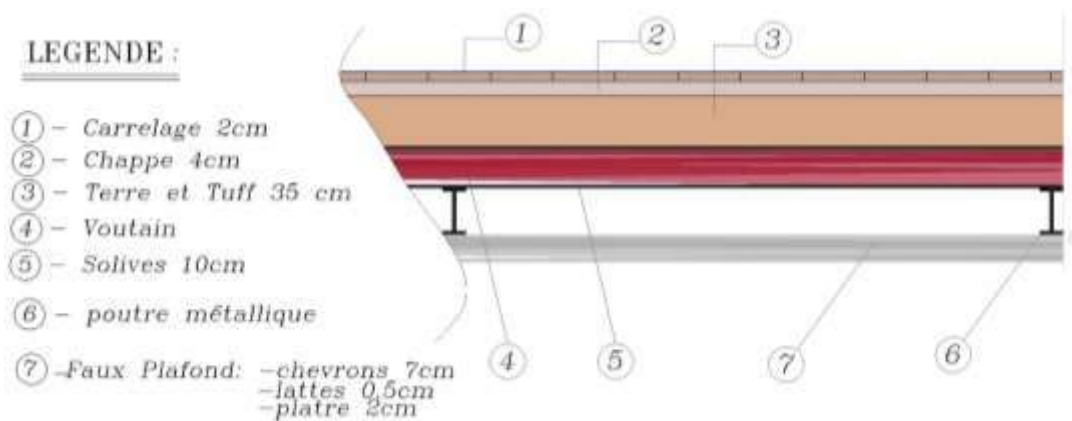


Fig. 4,115 : Coupe BB : détail plancher en voutain

Source : Auteur.

#### Remarque :

- Contrairement à la structure portante verticale ou on constate l'absence du chainage vertical, Les solives métalliques ancrées dans les murs jouent le rôle du chainage horizontal entre le plancher et le mur.

#### IV-1-7-1-e-Système de couverture :

Concernant le système de couverture dans les différents blocs du lycée, elles se présentent sous forme de tuile mécanique recouvrant une charpente en bois, avec un faux plafond en plâtre et lattis roseaux.



Fig. 4,116 : Détail toiture.

Source : B.E.T Harchaoui, 2010.

#### IV-1-7-2-La structure récente :

##### IV-1-7-2-a-La salle de gym et le réfectoire du bloc de l'administration :

Sachant qu'à la fin du 19<sup>em</sup> siècle et au début du 20<sup>siècle</sup>, avec la propagation de l'utilisation de l'ossature métallique, le lycée Emir a connu des extensions. La structure métallique a été utilisée dans les salles où la nécessité d'avoir de grandes portées est indispensable. Des profilés métalliques en forme de I ont été employés dans la salle de gym au niveau des sous-sols de l'administration, le réfectoire du même bloc et la salle de sport en 3<sup>em</sup> étage en extension du bloc 4. Ces premiers reposent sur des murs porteurs en pierre.

Les profilés en I dans ces deux salles sont renforcés par des étaies pour lutter contre leur déformation probable.

Le type de plancher utilisé est le même, des voutains sur solives métallique et supportés par des poutres métalliques et des poteaux métalliques intermédiaires.



Fig. 4,117 : colonnes intermédiaires, salle de Gym

Source : B.E.T Harchaoui.2010

#### **IV-1-7-2-b-La salle de sport du bloc 4 :**

La salle de sport est une extension récente au 3<sup>em</sup> étage du bloc 4, des profilés métalliques en I sont encastrés dans la maçonnerie et reposent sur des murs porteurs en pierre, ces premiers à leur tour, supportent une ferme métallique en treillis sur laquelle est posée une couverture légère en brique et chape en béton armé.



**Fig. 4.118 : la salle de sport au 3<sup>em</sup> étage du bloc 4**  
**Source : B.E.T Harchaoui.2010**

#### **IV-2- la réhabilitation effectuée au lycée Emir :**

Dans le cadre de la politique nationale de la conservation du patrimoine bâti du 19<sup>em</sup> et 20<sup>em</sup> siècle, et suite à la dégradation du cadre bâti de quelques établissements scolaires publics, la wilaya d'Alger a programmé une opération de réhabilitation et de restauration touchant dix lycées de la capitale réalisés dans la période de la colonisation française. Des bureaux d'étude experts dans la réhabilitation ainsi que des organismes étatiques spécialisés dans la construction tels que le C.T.C (control technique de la construction) ont été sollicités pour faire une étude diagnostique sur l'ensemble des édifices concernés afin de déterminer l'importance des dommages et déficits rencontrés avant d'entamer les travaux de remise en forme. Le lycée Emir situé dans la commune de la Casbah rentrait dans l'agenda des responsables après avoir détecté une certaine vulnérabilité dans son système structurel en plus de la dégradation de son aspect esthétique, ce mauvais état dans lequel se trouvait l'édifice est certainement la conséquence de la réunion de plusieurs facteurs tels que l'ancienneté de la

construction, les conditions climatiques et les catastrophes naturelles ( les inondations de Bâb el Oued- en 2001 et le séisme de 2003).

## **IV-2-1-Etat des lieux avant travaux :**

### **IV-2-1-1-Eléments verticaux :**

Parmi les avaries remarquées au niveau des murs, cloison, piliers, arcades et escaliers nous pouvons citer :

- Fissures le long de la jonction murs gardes corps et paillasse d'escaliers des blocs pédagogiques (3 et 4).
- Revêtement de murs au mortier de ciment dégradé et détaché par endroit.
- Dégradation quasi générale des revêtements au mortier de ciment des murs porteurs à l'entresol et sous-sol dû à l'humidité régnante, et l'absence d'aération de ces espaces.
- Les escaliers du bloc 4 côté sud qui desservent la salle de sport du 3<sup>ème</sup> étage sont dépourvus de certaines marches, et des panneaux de remplissage des paliers.
- Fissures des linteaux en voûtes de murs porteurs au droit des « clés » de voûtes, à la suite du séisme de Mai 2003.



**Fig. 4,119 : Fissures au niveau des arcades**  
**Source : B.E.T Harchaoui.2010**



**Fig. 4,120 : Escalier dépourvu de marche et de palier de Repos**  
**Source : B.E.T Harchaoui.2010**



**Fig. 4,121.122 : Dégradation du revêtement des murs suit à l'action de l'humidité**

Source : B.E.T Harchaoui.2010

#### **IV-2-1-2-Eléments horizontaux :**

Les planchers et les toitures se trouvaient dans un état de vétusté avancé ou les dommages relevés sont plus remarquables, ces derniers se présentent sous forme de :

- Corrosion des poutrelles métalliques du plancher des blocs et des galeries au rez de chaussée dues aux infiltrations des eaux du côté de l'entresol.
- Corrosion avancée des poutrelles métalliques au niveau des planchers des sanitaires du bloc 4.
- Affaissement du carrelage des coursives, des passerelles, et des terrasses par endroits, et décollement et soulèvement en d'autres endroits.
- Rupture de l'arbalétrier de quelques fermes en bois de la toiture avec un déplacement vertical et une translation horizontale et le soulèvement de quelques tuiles.



**Fig. 4,123 : Corrosion avancée des Solives métallique du plancher en voutain des sanitaires.**  
Source : B.E.T Harchaoui.2010



**Fig. 4,124 : rupture de fermes en bois et soulèvement des tuiles.**

Source : B.E.T Harchaoui.2010

#### **IV-2-1-3-Etat d'électricité et des conduites d'eau :**

Il y a lieu de signaler au préalable, l'état de vétusté générale du réseau d'électricité, que ce soit, l'appareillage, la filerie ou le réseau d'alimentation notamment aux sous-sols, où l'on constate des installations anarchiques et inadaptées.

Il en va de même pour le réseau d'alimentation en eau potable, ou l'usure des conduites, et leur dégradation est manifeste. Le château d'eau de son tour présentait un risque sur le bloc de la bibliothèque vue sa massivité et ses fuites. Les conduites des eaux usées aussi de leur part nécessitent une rénovation vue leur ancienneté et les dégâts qu'elles peuvent provoquer surtout au niveau des murs et des planchers des sous-sols et des entres-sols.

#### **IV-2-1-4-Avis techniques et les recommandations mentionnées avant travaux :**

Selon le rapport du control techniques, Les avaries et les dommages subis par les différents blocs sont dus principalement à la vétusté de certains corps d'état, ainsi qu'aux dégradations des réseaux des eaux usées et de l'eau potable qui n'ont pas été réhabilité a temps sans oublier les vicissitudes du temps.

Il a été jugé impératif donc de procéder à des travaux de réhabilitation des corps de l'ouvrage vétustes ou fortement dégradés, ceci était le cas donc pour :

- les planchers en voutains et de leurs solives métalliques corrodées ayant perdu leur capacité portante
- la charpente en bois affectée, les tuiles et les faux plafonds
- rénovation et/ou réfection des réseaux des eaux usées et de l'eau potable selon l'état de gravité.
- La reprise du système de drainage des eaux superficielles au niveau des cours et des trottoirs afin d'empêcher l'immigration de ces eaux vers les structures de l'ouvrage.

Ces avis ont aussi mentionné la vulnérabilité de l'édifice vis-à-vis les séismes, un renforcement de l'édifice pour la réduction de ce premier est indispensable pour éviter des dégâts indésirables.

Un procédé de confortement nommé le « le corsetage » a été proposé par le C.T.C avec des précautions sur l'influence de cette solution techniques sur l'aspect esthétique de l'ouvrage, chose qui rend sa réalisation dans ce type d'établissement très difficile. « **Rapport de l'expertise du CTC, 2008**».

#### **IV-2-2-Les travaux de réhabilitation**

##### **IV-2-2-1-Piliers et arcades :**

Les travaux de réhabilitation touchant les piliers et les arcades, s'ont basé essentiellement sur la reprise des fissures, des enrobages avec un adjuvant apprêt et une peinture.



**Fig. 4.125, 126 : état final des galeries après la finition.**

Source : B.E.T Harchaoui.2010

#### **IV-2-2-2-Planchers :**

Les avaries remarquées au niveau des planchers ont permis de les classés en deux catégories selon leur état de gravités, les planchers partiellement affectés, le cas des classes et de la galerie, et les planchers fortement endommagés qu'on peut les constaté au niveau des salles d'eau où l'infiltration des eaux usées était très manifeste.

Pour les planchers partiellement affectés, les travaux exécutés étaient comme ce qui suit :

- L'enlèvement des solives fortement rongées par la corrosion et leur remplacement par des solives neuves.
- Les solives où la corrosion n'était pas très importante ont été traitées avec brossage et peinture protectrice.
- La restitution des voutains en brique pour les sous-plafond.
- La pose des lattes roseaux neuves pour les planchers menés d'un faux plafond avec plâtre.
- La reprise des revêtements du sol, des formes de pente et de l'étanchéité en multicouches.



**Fig. 4,127: La pose des faux plafonds en lattes roseaux.**

Source : B.E.T Harchaoui.2010



**Fig. 4,128 : Reprise de l'étanchéité en multicouche**

Source : B.E.T Harchaoui.2010



**Fig. 4,129 : Reprise du revêtement du sol**  
Source : B.E.T Harchaoui.2010



**Fig. 4,130 : Etat du plancher de la galerie après finition des travaux**  
Source : B.E.T Harchaoui.2010

Concernant les planchers des salles d'eau, et comme leur restitution était très difficile à réaliser, voire même impossible vue leur état de dégradation très avancé, le B.E.T a opté pour la solution du remplacement de ces premiers par un plancher collaborant.

La mise en œuvre de cette solution technique s'est produite comme ceci :

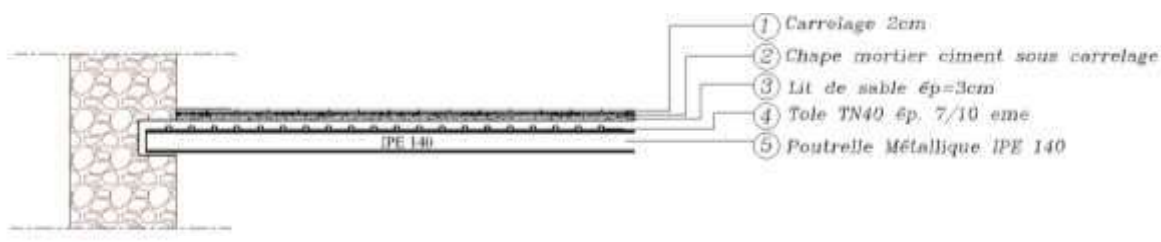
- Démolition du plancher en voutain affecté.
- La reprise en plancher collaborant : poutres métalliques, tôle nervurée, TN 40, chape armée, forme de pente, étanchéité en multicouche sur émulsion, revêtement de sol en carrelage.



**Fig. 4,131 : Etat de dégradation avancé des plancher du bloc 4**  
Source : B.E.T Harchaoui.2010



**Fig. 4,132: reprise par plancher collaborant plancher du bloc 4**  
Source : B.E.T Harchaoui.2010



**Fig. 4,133 Coupe détaillée du plancher collaborant**  
Source : auteur

### IV-2-2-3-Toiture :

L'ensemble de la toiture a été examiné afin de :

- Déceler les défauts de la charpente et si nécessaire remplacer les pannes, chevrons et liteaux
- Remplacer les tuiles défectueuses
- Nettoyer les bonnes tuiles et les reposer
- Reprendre les chéneaux, les gouttières tout en respectant les pentes d'écoulement, les crapaudines et les descentes des eaux pluviales.



Fig. 4.134 : Nettoyage et repose des bonnes tuiles.

Source : B.E.T Harchaoui.2010

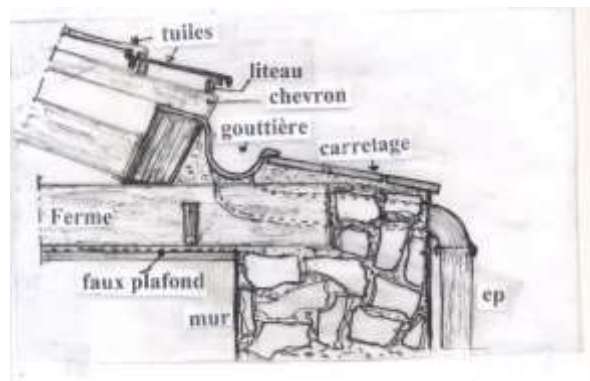


Fig. 4.135 : Détail de la reprise des gouttières des eaux pluviales.  
Source : B.E.T Harchaoui.2010

### IV-2-2-4-Murs, cloisons et escalier :

- Toute fissure sur mur ou cloison a été repris tout en tenant compte de la dégradation
- décapage des soubassements des murs et cloisons des classes ; crépissage et enduit de ces soubassements.
- Réfection de la peinture sur l'ensemble des murs.
- Pose de marches et contre marche de l'escalier et reprise en dalle de granite
- Revêtement mural des murs de l'escalier (mignonette sur 1,40m de hauteur) et réfection de la peinture.



Fig. 4.136 : Pose de marche et de contre marche en marbre.

Source : B.E.T Harchaoui.2010



Fig. 4.137 : Revêtement mural en mignonette.

Source : B.E.T Harchaoui.2010

#### **IV-2-2-5-Le château d'eau :**

Le château d'eau, de forme circulaire, étant érigé sur le plancher d'une terrasse, conception considérée vulnérable, en cas de séisme, il a été vidangé et mis hors service. Il a été prévu, une simple citerne d'eau, vu la distribution d'eau potable en H/24 avec forte pression.

#### **IV-2-2-6-L'électricité :**

L'ensemble de l'installation électrique a été rénové vu la vétusté de l'installation précédente, reprise des armoires, tableaux de distribution, des boîtes de dérivation, de la filerie laquelle qui a été protégé par des goulottes, des points lumineux (luminaires, hublots, candélabres) et de l'appareillage.

#### **IV-2-2-7-Plomberie-sanitaire :**

Les locaux sanitaires ont été réaménagé et rénové ; en plus des cloisons et portes, des revêtements de sol et muraux, le réseau de l'assainissement, des tuyauteries, de l'appareillage et de l'électricité a été repris ainsi que leurs étanchéité.

#### **IV-2-2-8-Menuiserie-ferroserie :**

Pour la Menuiserie bois, toute porte, fenêtre, persienne, ont été reprises ou remplacées suivant leurs dégradations. L'ensemble des fermetures a été examiné et remis en fonction quant à la ferroserie, certaines portes et grilles de protection ont été remplacées.

### **IV-3- : L'analyse de la réhabilitation effectuée**

Le but de notre recherche depuis le premier chapitre est d'arriver à évaluer les travaux de réhabilitations effectués au sein de cet établissement. Après la présentation de l'état des lieux du lycée avant la réhabilitation, le déroulement des travaux ainsi que la finalité de ces derniers, nous visons à établir une analyse critique de cette opération.

Pour se faire, nous allons faire appel à la méthode Réhabimed ainsi que la méthode AFPS (présentées lors du premier chapitre), ceci sera uniquement dans le but de savoir si les travaux de réhabilitation exécutés sont aptes à assurer la sécurité de cet œuvre architectural vis-vis les différentes aléas que nous venons de citer. Le degré de vulnérabilité que nous allons ressortir serait ensuite notre référence pour proposer des renforcements de la structure si les résultats de notre analyse sera positive.

#### **IV-3-1-Le pré-diagnostic :**

##### **IV-3-1-1-L'établissement d'une hypothèse :**

Comme déjà cité dans le premier chapitre, après la collecte des données, cette méthode est fondée sur l'établissement d'une hypothèse, la finalité du travail confirmera ou infirmera cette dernière. Dans notre cas l'hypothèse depuis laquelle nous allons démarrer serait comme ce qui suit :

- La réhabilitation effectuée dans le lycée Emir est superficielle, le renforcement de la structure des différents blocs n'a pas fait objet de l'agenda des travaux du B.E.T chargé de l'opération, ce qui rend ce premier très vulnérable vis-à-vis les différents aléas notamment le risque sismique.

#### **IV-3-2-L'étude pluridisciplinaire :**

L'étude pluridisciplinaire englobe de multiple domaines (social/historique/architectural/constructif) dont nous avons déjà évoqué dans la présentation de l'édifice, nous allons compléter cette étude par une analyse structurelle plus approfondie après avoir déjà établi une lecture sur les différentes typologies structurelles existantes dans notre objet d'étude.

##### **IV-3-2-1-Analyse structurelle :**

Pour aboutir à notre objectif, nous adopteront la méthode statique équivalente pour vérifier la conformité de notre lycée avec les différentes normes exigées. Vue la grande superficie de l'objet d'étude, la symétrie entre ces blocs ainsi que la même structure adoptée par ces derniers nous allons prendre le bloc de l'administration comme exemple d'étude, ce bloc est choisi en fonction de sa position stratégique ou la façade nord est la façade principale de tout le lycée.

##### **IV-3-2-1-a-La géométrie en plan :**

Pour que notre lycée soit régulier géométriquement, « sa forme devrait être compacte avec un rapport longueur/largeur du plancher inférieur ou égal à 4. La somme des dimensions des parties rentrantes ou saillantes du bâtiment dans une direction donnée ne doit pas excéder 25 % de la dimension totale du bâtiment dans cette direction » « Art 3.5.1.a.3 du RPA ».

##### **Application sur le cas d'étude :**

##### **Rapport longueur /largeur:**

- Longueur du bâtiment : 50 m
- Largeur du bâtiment : 32.4 m
- Rapport longueur/ largeur =  $50 / 32.4 = 1.54$



**Fig. 4,138 : Rapport longueur/largeur du bloc**  
Source : Auteur

**1.54 < 4 : condition vérifiée**

##### **Rapport des parties rentrantes /saillantes :**

Les façades du bâtiment sont planes et ne comportant pas de décrochement, l'application de cette condition n'est pas nécessaire.

**Conclusion :** ce bloc est régulier géométriquement en plan.

#### IV-3-2-1-b-La régularité structurelle en plan :

A chaque niveau et pour chaque direction de calcul, « la distance entre le centre de gravité des masses et le centre des rigidités ne dépasse pas les 15 % de la dimension du bâtiment mesurée perpendiculairement à la direction de l'action sismique considérée »

**Application sur le cas d'étude :**

**Le niveau RDC +00.00 :**

Sachant que le bloc de l'administration est dans une parfaite symétrie selon l'axe y (le  $X_{Gr} = X_G$ , ce qui implique  $e_x = 0$ ), nos calculs vont prendre en considération le YG et le YGr seulement

Après les calculs selon un axe xx choisi on retrouve :

- Le centre des masses du plan de RDC  $Y_G = 5.2$
- Le centre des rigidités du plan de RDC  $Y_{Gr} = 7.6$

$$-e_y = 7.6 - 5.2 = 2.4$$

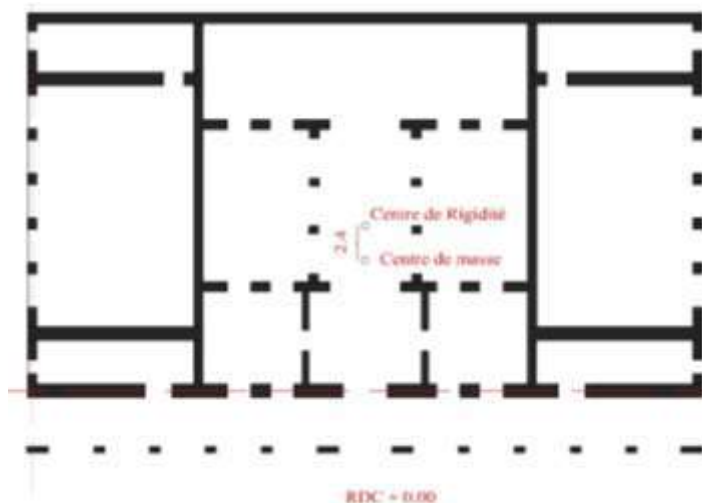


Fig. 4,139 : Régularité structurelle niv +00.00

Source : Auteur

$$-e_y = 2.4 < 0.15l_y = 0.15 \times 32.4 = 4.86 : \text{condition vérifiée}$$

**Conclusion :** régularité structurelle au niveau RDC +00.00 vérifié.

**Le niveau RDC +4.18 : (calculs selon le même axe)**

- Le centre des masse du plan de RDC  $Y_G = 14.83$
- Le centre des rigidités du plan de RDC  $Y_{Gr} = 15.18$

$$-e_y = 15.18 - 14.83 = 0.35$$

$$-e_y = 0.35 < 0.15l_y = 0.15 \times 36.5 = 5.47 : \text{condition vérifiée}$$

**Conclusion :** régularité structurelle au niveau RDC +4.18 vérifié.

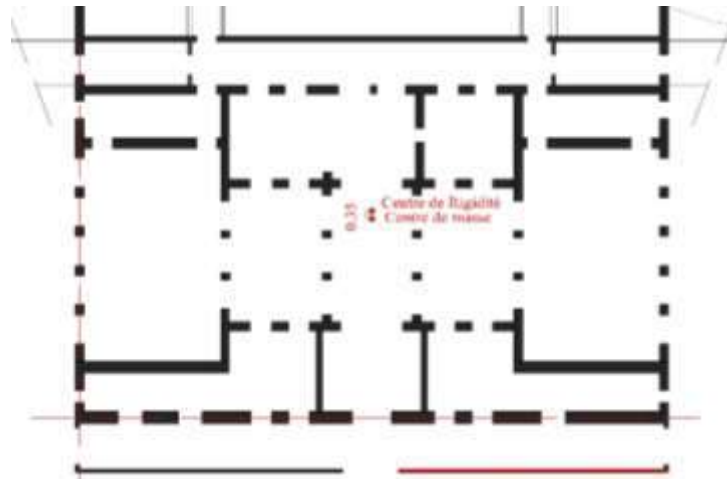


Fig. 4.140 : Régularité structurelle niv +4.18

Source : Auteur

#### Le niveau du 1<sup>er</sup> étage +10.40

- Le centre des masse du plan de RDC  $Y_G = 14.26$
- Le centre des rigidités du plan de RDC  $Y_{Gr} = 17.86$

$$-e_y = 17.86 - 14.26 = 3.6$$

$$-e_y = 3.6 < 0.15l_y = 0.15 \times 36.5 = 5.47 : \text{condition vérifiée}$$

**Conclusion :** régularité structurelle dans le niveau du 1<sup>er</sup> étage +10.4 vérifié

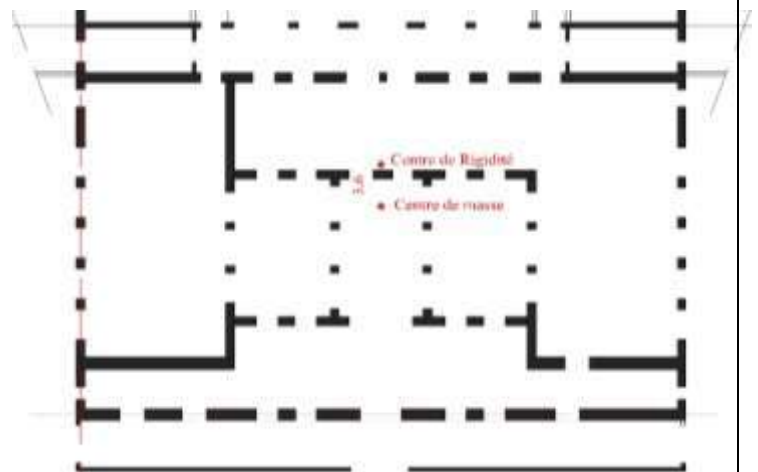


Fig. 4.141: Régularité structurelle niv +10.40

Source : Auteur

### Le niveau du 2<sup>er</sup> étage +16.45

- Le centre des masse du plan de RDC  
YG= 17.64
- Le centre des rigidités du plan de  
RDC YGr = 17.72

$$-ey = 17.72 - 17.64 = 0.08$$

$$-ey = 0.08 < 0.15ly = 0.15 \times 36.5 = 5.47 : \text{condition vérifiée}$$

**Conclusion :** régularité structurelle dans le niveau du 2<sup>em</sup> étage +16.45 vérifié.

### IV-3-2-1-c-La régularité géométrique en plan :

« Les planchers doivent présenter une rigidité suffisante vis-à-vis de celle des contreventements verticaux pour être considérés comme indéformables dans leur plan. Dans ce cadre la surface totale des ouvertures de plancher doit rester inférieure à 15 % de celle de ce dernier ». **Art 3.5.1.a4 du RPA.**

#### Application sur le cas d'étude :

Surface totale du plancher 1641.56 m<sup>2</sup>

Surface des deux patios :  $87.42 \times 2 = 174.84 \text{ m}^2$

$$\text{Souverture/ Splancher} = 174.84 / 1641.56 = 0.10 = 10 \% < 15 \% : \text{condition vérifiée}$$

### IV-3-2-1-d-La régularité géométrique et structurelle en élévation :

« Le système de contreventement ne doit pas comporter d'éléments porteurs verticaux discontinus dont la charge ne se transmette pas directement à la fondation » **ART 3.5.1.b1 du RPA.**

« Aussi bien la raideur que la masse des différents niveaux restent constants ou diminuent progressivement et sans changement brusque de la base au sommet du bâtiment » **ART 3.5.1.b2 du RPA**

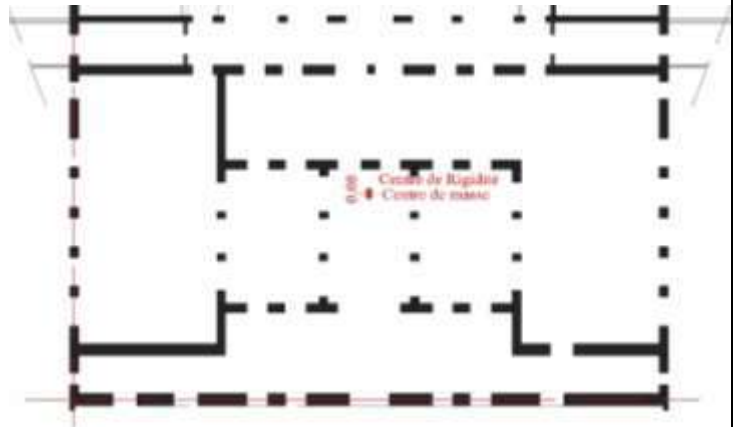


Fig. 4.142 : Régularité structurelle niv +16.45  
Source : Auteur

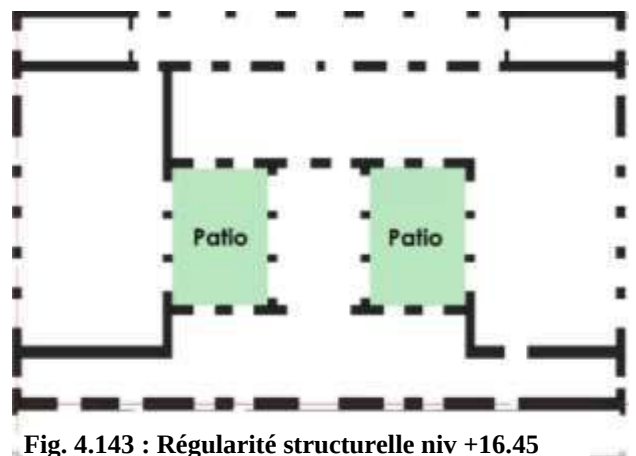


Fig. 4.143 : Régularité structurelle niv +16.45  
Source : Auteur

### Application sur le cas d'étude :

Bien que le règlement du RPA ne donne pas de bornes pour cette diminution, le changement de rigidité au niveau du bloc de l'administration notamment au dernier niveau reste très faible ou la différence ne dépasse pas les 4 m entre les deux murs pignons de la façade principale de ce bloc.

Les éléments porteurs qu'ils soient des murs ou des arcades de leurs parts, ne présentent aucune discontinuité ou chaque élément se prolongent jusqu'à les fondations.

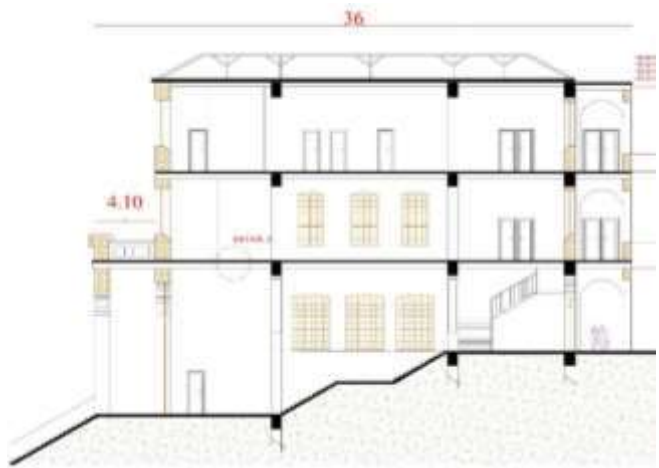


Fig. 4,144 : Régularité structurelle en élévation  
Source : Auteur

### IV-3-3-Conclusion de l'analyse structurelle :

L'analyse que nous venons d'effectuer sur le bloc de l'administration nous permet de dire que ce bâtiment et à travers sa configuration sur le plan architectural et structurel reste stable et indéformable.

La durabilité de cet établissement pendant plus d'un siècle et demi, ainsi que l'état des lieux du gros œuvre avant les travaux de réhabilitation exécutés renforce notre théorie. Les parties endommagées de la structure notamment au niveau des planchers sont tous le résultat du manque d'entretien, la présence de l'humidité, et surtout, la conséquence des catastrophes naturelles à l'image des inondations de Bâb el Oued en 2001 et le séisme de Boumedras en 2003.

Cependant, si le critère de la durabilité est déjà pris en considération lors de cette phase d'analyse, la vulnérabilité sismique de l'édifice reste aussi un facteur primordial à tenir en compte. La position du lycée dans la zone sismique III mentionnée par le RPA et caractérisée par une forte présence des séismes voire même très violents, mets le critère de la sismicité en amont de nos préoccupations.

### IV-3-4-Evaluation de la vulnérabilité sismique du cas d'étude :

Afin d'évaluer le degré de la vulnérabilité sismique de l'édifice, nous allons faire affronter la structure de notre bloc face au différents critères de la méthode AFPS (l'Association Française du Génie Parasismique) pour l'évaluation de la vulnérabilité sismique.

#### Rappel de la méthode :

L'application de cette méthode se fait par le biais du remplissage des différentes cases du tableau, chaque case nous permet d'obtenir un coefficient K appelé coefficient de présomption,

la somme des coefficients des différentes case variant entre 0 et 100 permet de conclure à la fin le degré de la vulnérabilité final du bâtiment concerné.

|                           |                           |  |   |                                        |                                                                             |   |                               |                                                                                         |                                                                      |                         |                                                                   |                                   |                                                               |   |                                                            |                                                 |                                                                                                         |                                                 |                                                    |   |                                               |                                                   |   |   |                                         |  |    |  |
|---------------------------|---------------------------|--|---|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|---|---|-----------------------------------------|--|----|--|
| A                         | Implantation du bâtiment  |  | 1 |                                        | Pente générale du terrain > 40 %<br>5                                       |   | 2                             |                                                                                         | Proximité d'un changement de pente<br>D < 2H du bâtiment<br>15       |                         | Observations                                                      |                                   |                                                               |   |                                                            |                                                 |                                                                                                         |                                                 |                                                    |   |                                               |                                                   |   |   |                                         |  |    |  |
| B                         | Environnement du bâtiment |  | 1 |                                        | Bâtiments accolés : joint = 0<br>ou rempli d'un matériau<br>25              |   | 2                             |                                                                                         | Joints entre blocs adjacents<br>2 à 4 cm<br>10<br>< 2 cm 25 > 4 cm 5 |                         | 25                                                                |                                   |                                                               |   |                                                            |                                                 |                                                                                                         |                                                 |                                                    |   |                                               |                                                   |   |   |                                         |  |    |  |
| C                         | Type de structure         |  | 1 | Murs en maçonnerie de blocs<br>15      |                                                                             | 2 | Murs en béton non armé<br>10  |                                                                                         | 3                                                                    | Murs en béton armé<br>5 |                                                                   | 4                                 | Ossature poteaux-poutres sans remplissage<br>20               |   | 5                                                          | Ossature poteaux-poutres avec remplissage<br>25 |                                                                                                         | 6                                               | Système mixte murs en maçonnerie et ossature<br>20 |   | 7                                             | Panneaux de façade BA préfabriqués porteurs<br>10 |   | 8 | Ossature BA préfabriquée porteuse<br>50 |  | 20 |  |
| D                         | Forme en plan             |  | 1 |                                        | Irrégulière<br>5                                                            |   | 2                             |                                                                                         | Elancement en plan L/l>4<br>5                                        |                         | 3                                                                 |                                   | Parties saillantes ou rentrantes<br>5                         |   | 0                                                          |                                                 |                                                                                                         |                                                 |                                                    |   |                                               |                                                   |   |   |                                         |  |    |  |
| E                         | Forme en élévation        |  | 1 | Etages en encorbellement > 2 m<br>15   |                                                                             | 2 | Retrait en façade >40 %<br>20 |                                                                                         | 3                                                                    |                         | Planchers d'un même étage situés à des hauteurs différentes<br>10 |                                   | 4                                                             |   | Présence d'un plancher lourd ou d'une toiture lourde<br>10 |                                                 | 5                                                                                                       |                                                 | Absence de diaphragme horizontal en toiture<br>20  |   | 0                                             |                                                   |   |   |                                         |  |    |  |
| F                         | Contreventement           |  | 1 |                                        | Variation verticale croissante des rigidités<br>0 à 100<br>(voir formule 1) |   | 2                             |                                                                                         | Dissymétrie : torsion<br><br>faible : 5<br>accusée : 50              |                         | 3                                                                 |                                   | Absence de contreventement dans le sens des x ou y<br>100     |   | 4                                                          |                                                 | Densité de voiles de contreventement sens x ou y<br>0 à 100<br>(voir formule 2)                         |                                                 | 100                                                |   |                                               |                                                   |   |   |                                         |  |    |  |
| G                         | Zones ou éléments         |  | 1 | Descente de charge en baïonnette<br>25 |                                                                             | 2 |                               | Présence de poteaux courts ou partiellement bridés participant au contreventement<br>50 |                                                                      | 3                       |                                                                   | Présence de poteaux élancés<br>10 |                                                               | 4 | Percements inserts dans les poteaux e>d/3<br>25            |                                                 | 5                                                                                                       | Percements inserts dans les poutres e>d/3<br>10 |                                                    | 6 | Percements inserts dans les nœuds e>d/3<br>50 |                                                   | 0 |   |                                         |  |    |  |
|                           | critiques                 |  | 7 |                                        | Présence d'un angle de façade affaibli<br>15                                |   | 8                             |                                                                                         | Axes poteaux et poutres non concourants e>c/2<br>10                  |                         | 9                                                                 |                                   | Diaphragmes horizontaux avec grandes ouvertures s>10 %S<br>10 |   | 10                                                         |                                                 | Absence de chaînages encadrant les murs de contreventement en MAC<br>verticaux : 25<br>horizontaux : 75 |                                                 | 25                                                 |   |                                               |                                                   |   |   |                                         |  |    |  |
| H                         | Divers                    |  | 1 |                                        | Etat de conservation du gros œuvre<br>médiocre : 10<br>mauvais : 25         |   | 2                             |                                                                                         | Risque de chute d'éléments non structuraux<br>5                      |                         | 3                                                                 |                                   | Façade BA préfabriquée non porteuse<br>10                     |   | 5                                                          |                                                 |                                                                                                         |                                                 |                                                    |   |                                               |                                                   |   |   |                                         |  |    |  |
| Total des pénalités : 175 |                           |  |   |                                        |                                                                             |   |                               |                                                                                         |                                                                      |                         |                                                                   |                                   |                                                               |   |                                                            |                                                 |                                                                                                         |                                                 |                                                    |   |                                               |                                                   |   |   |                                         |  |    |  |

**Tableau 3 : évaluation qualitative de la présomption de vulnérabilité sismique du cas d'étude**  
Source : auteur

#### IV-3-4-1-Conclusion de l'analyse de la vulnérabilité sismique :

Les résultats obtenus inscrivent notre édifice dans la catégorie des bâtiments très vulnérables face au séisme. Cette situation fait du renforcement structurel de l'établissement une priorité majeure.

Dans le but de déterminer les points faibles de la structure existante il est nécessaire de comprendre de quelle structure s'agit-il, et quel est son comportement vis-à-vis aux efforts du

séisme. Cette étape est indispensable avant de procéder à la réhabilitation structurelle de notre objet d'étude.

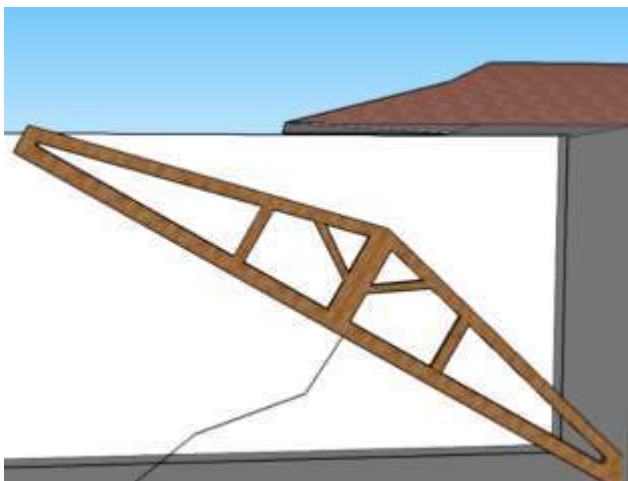
#### **IV-3-5-Comportement du bloc de l'administration vis-à-vis les efforts du séisme :**

La maçonnerie de type non armée et non chaînée que comporte notre édifice augmente le facteur de la vulnérabilité pour notre objet d'étude. Suite à différentes pathologies dues au séisme que nous venons de citer dans le chapitre précédent nous pouvons résumer les dégâts probables lors d'un séisme prévu dans les points suivants :

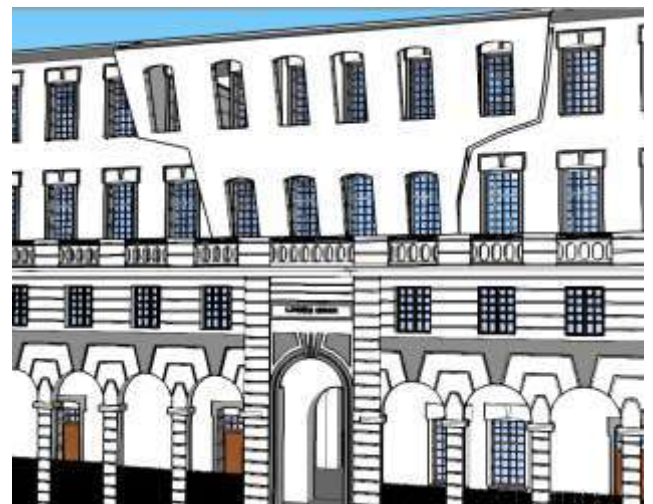
##### **IV-3-5-1-Absence des chainages horizontaux au niveau du dernier niveau « Le coup de fouet » :**

L'absence des chainages horizontaux dans le dernier niveau du bâtiment peut provoquer le phénomène du coup de fouet. Ce dernier se produit lorsque la charpente est faiblement ancrée dans les murs, les dégâts les plus fréquents dans ce cas sont :

- L'effondrement partiel de la charpente en bois suit aux déplacements brusques en tête des murs provoquant des vibrations dans la toiture
- Des fissures dans la partie haute dans les plans des murs du dernier étage.
- Dislocation dans la partie haute des bâtiments induit par les mouvements hors plans des murs.



**Fig. 4.145: Effondrement de la charpente en bois**  
Source : auteur



**Fig. 4.146 : Dislocation dans la partie haute du mur**  
Source : auteur

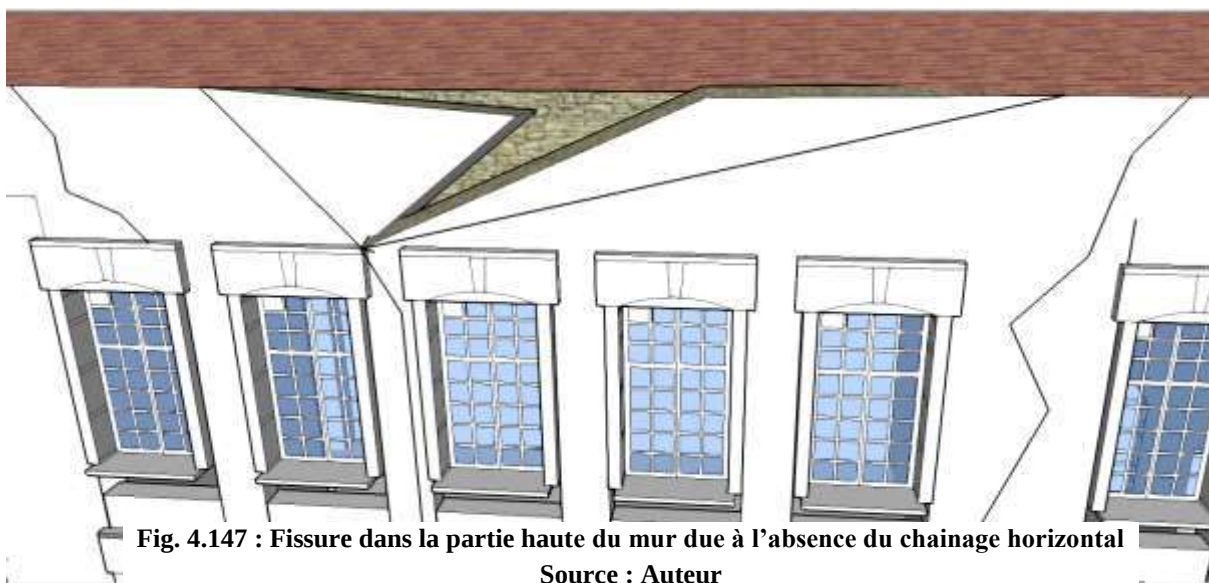


Fig. 4.147 : Fissure dans la partie haute du mur due à l'absence du chaînage horizontal

Source : Auteur

#### IV-3-5-2-Absence des chaînages au niveau des ouvertures :

Les ouvertures dans le plans tels que les portes est les fenêtres sont affrontées aux efforts multidirectionnels du séisme.

Les efforts de flexion et les efforts tranchants au niveau des linteaux des ouvertures dus au séisme provoquent des fissures en diagonales (en croix). Etant construit en maçonnerie de brique et en absences des chaînages au niveau des linteaux des portes et des fenêtres, notre bloc serait explicitement affronté à ce genre de désordres.

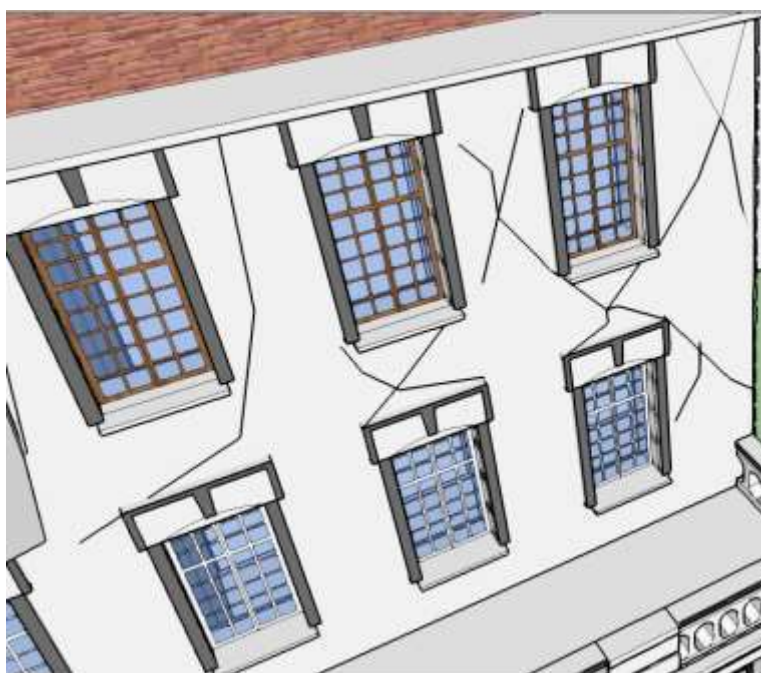


Fig. 4.148: Fissure en croix au niveau des linteaux

Source : auteur

#### IV-3-5-3-Absence des chaînages verticaux dans les murs :

Lorsque les murs en maçonnerie de pierre du bloc sont soumis aux poussées horizontales violentes d'un séisme, les lits de mortier n'arrivent pas à assurer une cohésion satisfaisante entre les blocs à maçonner. Le mortier est ainsi le lieu de rupture « fragile ».

Les murs en pierre et en absence des armatures verticales ou autrement dit les chaînages verticaux n'acceptent pas de déformations sans rompre. Les chaînages verticaux diminuent les déplacements des murs. Sachant que la pierre résiste très bien à la compression mais très mal aux efforts de traction et de cisaillement induits par le séisme.

Les désordres dans ce cas se manifestent par des fissurations de cisaillement et par la dislocation partielle ou totale des murs porteurs.

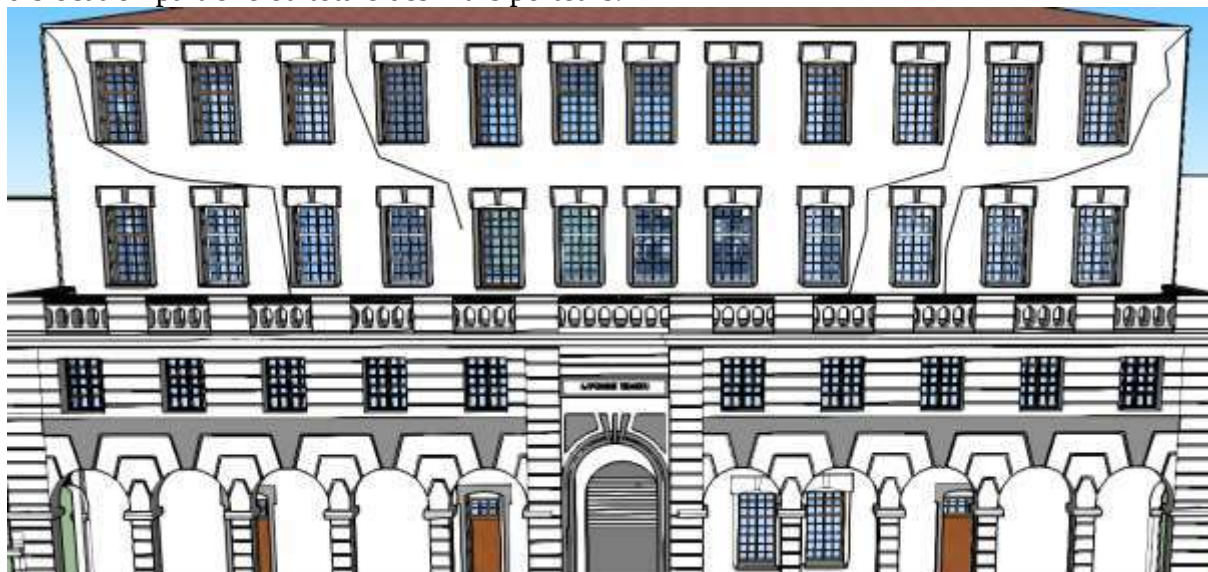


Fig. 4.149 : Fissures en diagonal dues à l'absence des chainages.

Source : auteur

#### IV-3-5-4-Absence des liaisons entre murs « les chainages d'angle » :

Bien que les chainages d'angle dans la structure du lycée est assurée par un appareillage en croisement entre de grosse pierre de taille, cette configuration reste vulnérable et n'assurent pas une bonne liaison entre les murs porteurs et n'offrant pas la même qualité de déformation sans subir de dommages tels que les chainages en Acier.

Du coup, la structure du bloc n'est pas à l'abri d'une dislocation au niveau des angles des murs



Fig. 4.150 : Dislocation au niveau des angles due à l'absence des chainages d'angle.

Source : auteur

#### IV-3-6-Recommandations techniques :

##### IV-3-6-1-Critères du choix de la technique du renforcement :

Après avoir expliqué les différents désordres que notre objet d'étude serait probablement affronté lors d'un séisme prévu, nous arrivons à la phase des recommandations pour la réhabilitation structurelles du bloc de l'administration.

Le bon choix de la technique du renforcement est d'une importance majeure. Les techniques de la consolidation varient entre modernes et traditionnelles, mais enfin, elles ont toutes comme objectif l'amélioration de la ductilité du bâtiment ou autrement dit la capacité de ce dernier à se déformer au-delà de sa limite élastique. En revanche le choix de la technique du renforcement reposera sur la base des plusieurs critères.

En outre, le caractère patrimonial du lycée Emir est le premier critère à prendre en compte, il ne s'agit pas d'un simple édifice ou toutes les solutions sont permises, mais une construction ayant son propre identité architecturale, cette dernière se manifeste par la richesse de ses façades, des matériaux de construction, ainsi que le système structurel employé. Ceci dit que le choix des techniques jugées très agressives sur le plan architectural tels que l'utilisation de la précontrainte, le corsetage ou encore un contreventement métallique apparent sur les façades extérieures sont des solutions à éviter.

De plus, l'utilisation de la pierre de calcaire ou le Moellon n'offrent pas de plusieurs opportunités lors du renforcement parasismique. Les caractéristiques mécaniques de ce matériau ne s'adaptent pas à toutes les solutions techniques de consolidation. Bien que l'adéquation de ces dernières avec la pierre nécessite des essais sur labo du moellon utilisé dans la construction, nous essayerons d'éviter le maximum les procédés ayant un impact nocif sur ce matériaux.

Enfin, il est vrai que l'établissement du lycée Emir fait partie de la catégorie d'ouvrages les plus importants vu son usage public qui est nécessaire lors d'une situation de crise, une raison qui nous permet de s'ouvrir sur les nouvelles techniques qui sont très coûteuses sur le plan financier, sauf que réussir une opération de réhabilitation passe toujours par le choix de la solution ayant le grand apport sur le plan structurel avec les frais les plus faibles possible.

#### **IV-3-6-2-Mesures à établir avant le renforcement :**

##### **IV-3-6-2-a-Elimination de toute source d'humidité :**

Si nous optons pour des solutions pour consolider la structure existante il est nécessaire de commencer en premier lieu par l'élimination de sources des désordres remarqués dans la structure existante.

Lors des travaux de réhabilitation effectués, la majorité des pathologies rencontrées provenait du mauvais état des canalisations des eaux usées et pluviales. La première étape avant d'entamer les travaux de renforcement serait donc de commencer par assurer un bon drainage des eaux usées et d'eaux de pluie, d'une manière à garantir que ces dernières ne puissent pas affecter la structure existante notamment au niveau des plancher et des fondations.

##### **IV-3-6-2-b-Assécher les murs affectés par l'humidité :**

Sachant que les travaux de réhabilitation achevés ont été limités uniquement dans le traitement des désordres induits par l'humidité notamment la reprise des fissures, il est aussi indispensable de procéder à une opération d'assèchement des murs détériorés, pour ceci on propose la méthode de l'électro osmose pour aboutir à notre objectif.

#### **IV-3-6-2-c-Vérification du bon état de la maçonnerie existante :**

Le renforcement de la structure existante pour notre cas d'étude, ne pourra pas être effectué qu'après la vérification du bon état de la structure existante.

Les travaux de réhabilitation réalisés pour cet ouvrage ont déjà tenu compte de cet aspect, les fissures dans les joints du mortier des ossatures en pierre ont été réparées. Le même cas pour les planchers métalliques en voutains de brique ou les parties détériorées ont été reprises ou carrément remplacées.

Le bon état de la maçonnerie existante nous permet donc d'entamer la phase de la réhabilitation structurelle.

#### **IV-3-6-3-Techniques de renforcement proposées :**

En absence de réglementation pour les structures en maçonnerie de pierre du patrimoine existant, nous prendrons le règlement du R.P.A comme une approche pour le dimensionnement et le positionnement des panneaux de chemisage.

Le R.P.A, et selon son Article 3,4.1.b, exclut l'emploi des ossatures en portique autostable en béton armé avec un remplissage d'une maçonnerie rigide pour les bâtiments dépassant les 2 niveaux soit 8 mètres de hauteur dans la zone sismique III.

Pour ce cas, il est recommandé d'opter pour une structure en voiles porteurs en béton armé. Il est vrai qu'une ossature mixte maçonnerie associée à des parois en béton armé se différencie de celle en voile en béton armé (le module de Young des deux matériaux est différent), mais nous prendrons comme approche que le chemisage des murs en pierre en béton armé prendra les caractéristiques d'un voile en B.A.

#### **IV-3-6-3-a-Renforcement des murs porteurs intérieurs par technique de chemisage :**

Pour le renforcement des murs porteurs la technique du chemisage reste très efficace dans notre cas. Les murs porteurs en pierre du bloc de l'administration avec leur grande épaisseur qui arrive jusqu'à 1 m au niveau du sous-sol, résistent très bien à la compression, cependant la pierre n'est pas un matériau flexible et résiste très mal aux efforts de cisaillement et de traction d'où les fissures qui apparaissent au niveau des lits de mortier. Ce dernier reste son point faible.

La technique du chemisage, consiste à mettre en place une paroi mince en béton armé avec des additifs appropriés empêchant le rétrécissement d'une épaisseur d'environ 5 à 6 cm au maximum sur les deux côtés du mur.

La mise en œuvre de cette technique est aussi simple et peut se résumer dans les étapes suivantes :

- Décrépissage et grattage des enduits de revêtement et de finition
- Mise en place des panneaux de treillis soudés.
- La mise en place des barres appelées « Cravates » à travers l'épaisseur des murs destinées à la liaison des deux couches en béton des deux parements du mur.
- Projection du béton sous pression.
- Reprise du revêtement et des enduits de finition après le durcissement.

L'avantage de cette technique c'est qu'elle permet d'augmenter la résistance et la ductilité ou autrement dit la capacité de déformation. Sachant que le béton fonctionne très bien face aux efforts de compression et l'acier est efficace vis-à-vis les efforts de traction, l'ensemble est aptes à reprendre les deux efforts en même temps en plus des tensions de cisaillement induits par le séisme.

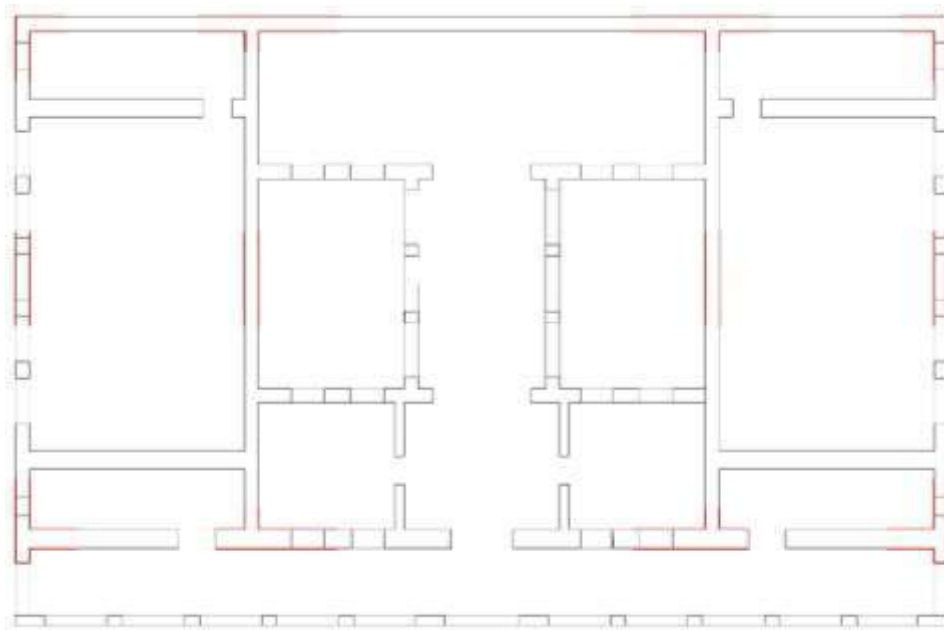
### **Disposition des panneaux de chemisage :**

La technique du chemisage, n'est pas aussi nécessaire pour tous les murs intérieurs. Sachant que la structure du bloc de l'administration est conçue dans une parfaite symétrie, les murs concernés par la technique du chemisage doivent s'inscrire dans une même continuité afin de garantir la bonne répartition de charges. A noter aussi que cette technique doit se faire dans les deux directions du plan dans le même principe que celui des ossatures en béton armé.

Dans l'article 7.7.1 du RPA, les conditions pour la disposition des panneaux du chemisage sont les suivantes :

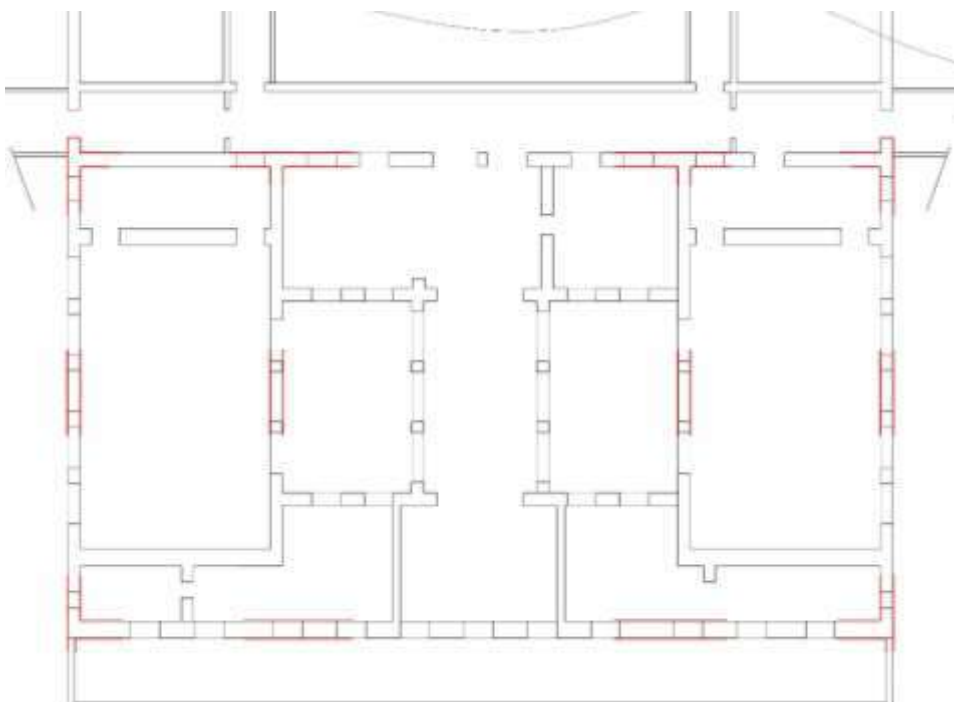
- L, la longueur du mur devrait être supérieure à 4 fois de l'épaisseur du mur.
- L'épaisseur minimale est de 15 cm
- $a > h_e/20$  avec  $a$  l'épaisseur du mur et  $h_e$  la hauteur libre de l'étage.

En tenant compte des critères cités ci-dessous, nous avons disposé nos parois en béton armé.



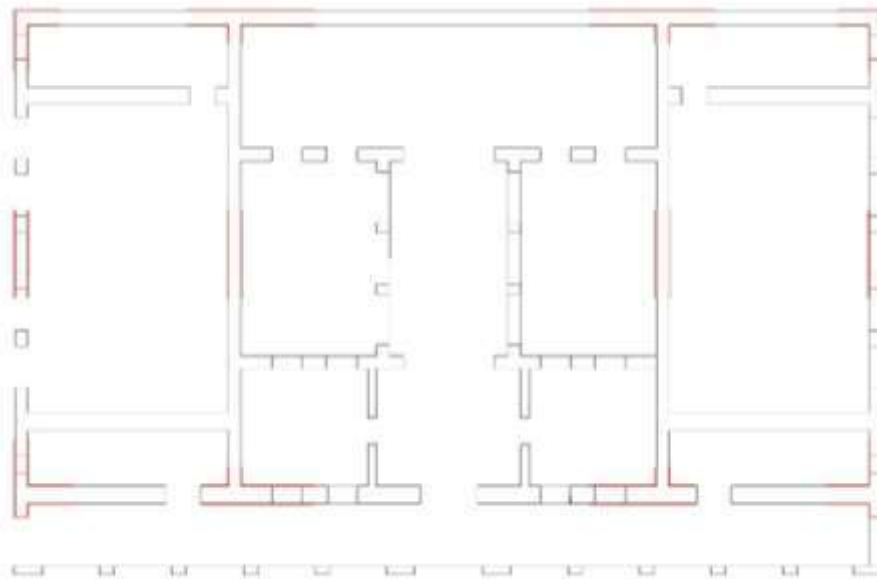
**Fig. 4.151 : Disposition des parois du chemisage au RDC niveau 00.00.**

Source : auteur

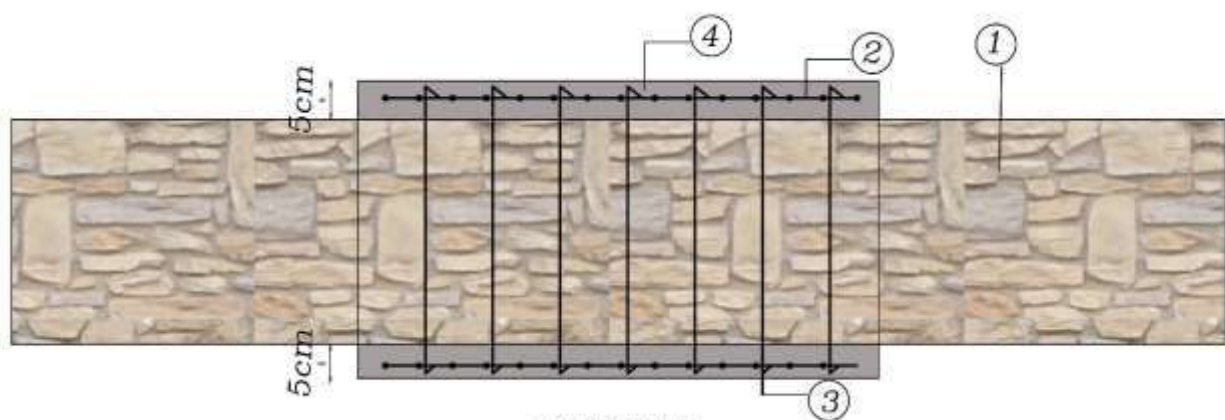


**Fig. 4.152 : Disposition des parois du chemisage au RDC niveau+ 4.18.**

Source : auteur



**Fig. 4.153 : Disposition des parois du chemisage étage courant.**  
Source : auteur



#### LEGENDE

- ① - Mur en maçonnerie
- ② - Armature en TS
- ③ - Cravate en TS
- ④ - Couche en Beton 5cm

**Fig. 4.154 : Détail, chemisage d'un mur**  
Source : Auteur

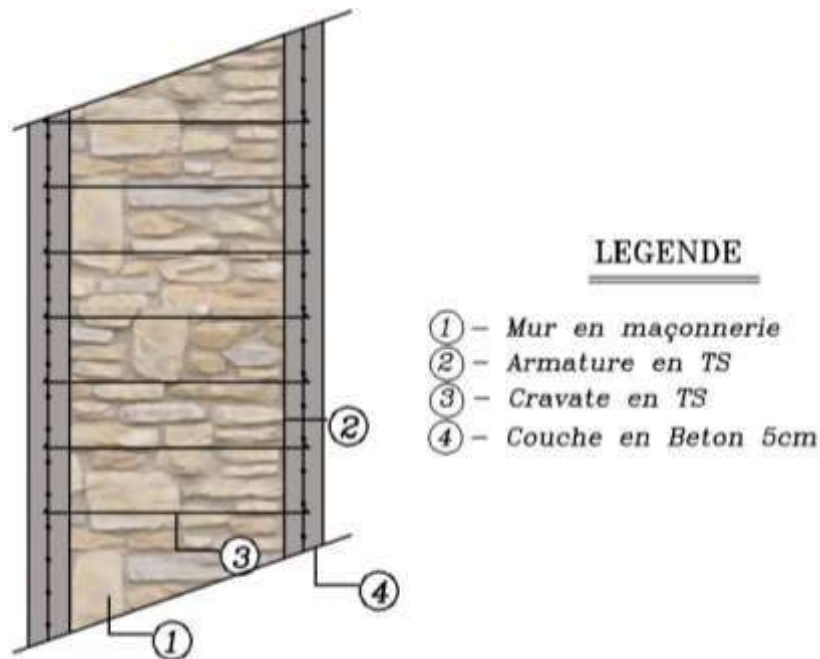


Fig. 4.155 : coupe d'un mur chemisé  
Source : auteur

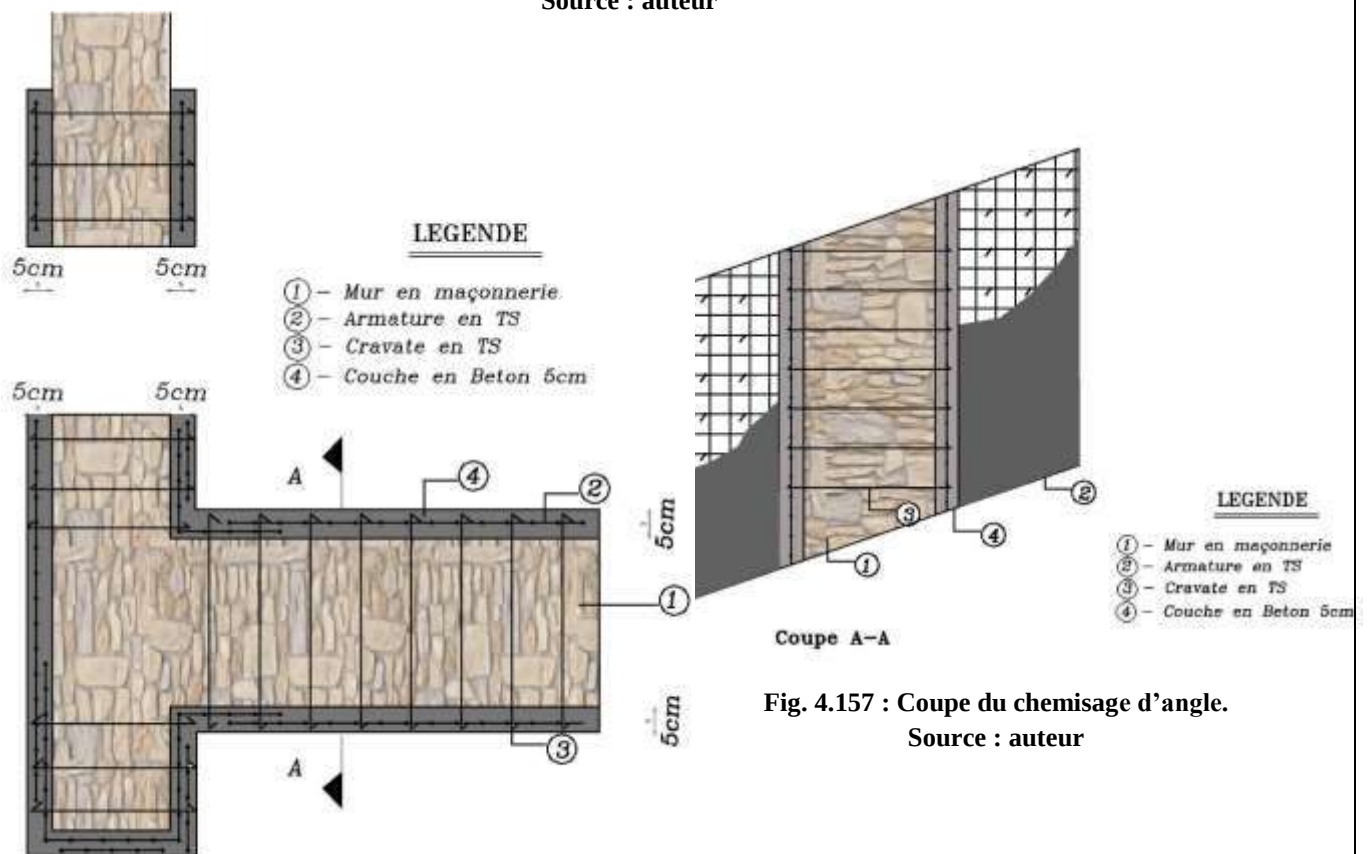


Fig. 4.156 : Chemisage d'angle du mur pignon.  
Source : auteur

Fig. 4.157 : Coupe du chemisage d'angle.  
Source : auteur

**IV-3-6-3-b-Renforcement des murs des façades extérieures (cas de la façade principale) gainage en BA pour les arcades de la galerie/chemisage pour les murs pignons :**

Si la technique du chemisage des murs intérieurs du bloc ne posera pas de problème vu leur simplicité en termes de décoration architectural avec de simple revêtement en enduit et en peinture, le choix du type de renforcement des murs des façades extérieures doit se faire en fonction des spécificités ornementales et du langage architectural de ce chef d'œuvre patrimonial.

La façade principale du lycée émir est composée de deux parements parallèles, celui de la galerie avec arcade en double hauteur et le mur de face du bloc de l'administration.

Les deux murs ont une configuration différente, les arcades de la galerie se caractérisent par un enduit d'imitation de bossage de pierre plaqué sur les arcades en brique et les angles. Quant au mur de face du bloc de l'administration, il se présente sous une simplicité de décor avec seulement des éléments d'encadrement pour les ouvertures, ce dernier offre plus de possibilité en termes de techniques de renforcement par rapport au premier, il est préférable donc de procéder à une solution sans avoir touché la façade de la galerie.

#### **IV-3-6-3-b-1-Renforcement des arcades la galerie de la façade par gainage interne :**

La solution apportée au niveau de la galerie de la façade extérieure consiste à mettre en place un gainage interne en béton armée. Cette technique nécessitant la création des saignées verticales et autres horizontales dans la partie interne et de mettre en place un gainage vertical et horizontal dans la galerie semble être la plus efficace puisque elle permet d'augmenter la ductilité des arcades et de leur capacité de déformation, sans avoir touché l'aspect esthétique de leur façades.

#### **IV-3-6-3-b-2-Renforcement de mur de face du bloc de l'administration par chemisage :**

Même si le principe du fonctionnement des deux solutions apportées pour le moment est différent, ces derniers ont pratiquement le même objectif visant essentiellement à améliorer le comportement de la structure existante vis-à-vis aux efforts sismiques. En revanche, chacune de deux solutions ont des inconvénients, nous pouvons les résumer dans le tableau suivant :

| Solution               | Objectif                               | Inconvénient                                                                                                                                                                                       |
|------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chainage en Béton Armé | Améliorer le comportement parasismique | -Réhabilitation lourde.<br>Difficulté de la mise en œuvre.<br>-Affaiblissement des murs pendant la phase de travaux.<br>-Modification de la répartition des charges<br>-Risque de désordres locaux |
| Chemisage.             |                                        | - Surcharges<br>-peut être inacceptable architecturalement<br>-Réhabilitation moyenne                                                                                                              |

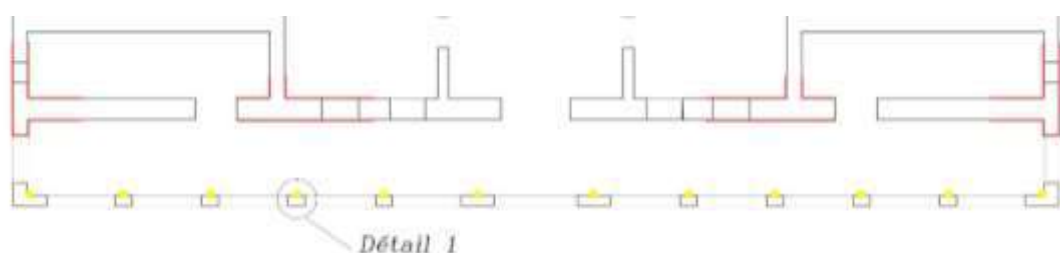
**Tableau 4 : Tableau comparatif entre le chainage en béton armé et le chemisage**

Source : Auteur

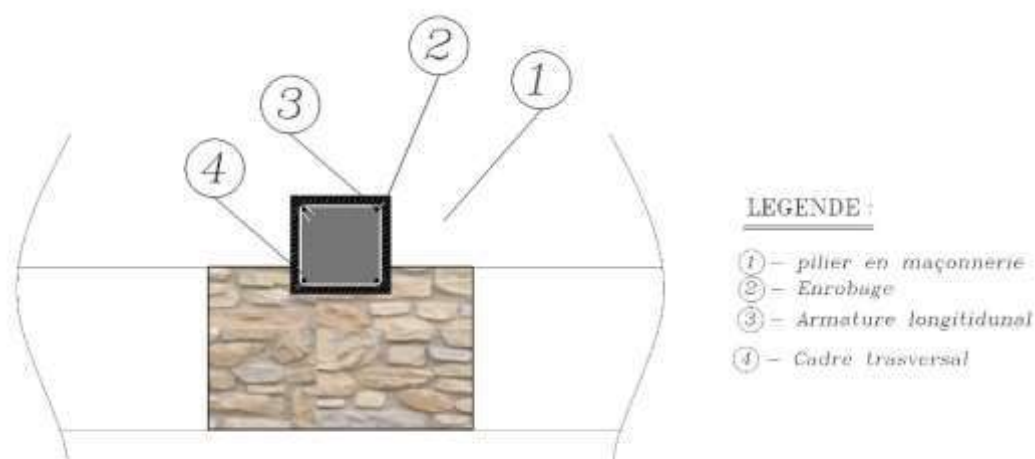
Bien que d'autres méthodes puissent être employées dans ce cas à l'image du renforcement par lamelles à base fibres de carbonées, le contreventement métallique, ou la technique du DC 90. Nous avons choisi de sélectionner l'une des deux méthodes déjà utilisées (chemisage et le gainage), afin d'avoir une homogénéité dans la structure du bâtiment en utilisant les mêmes matériaux dans la consolidation (l'acier, et le béton).

Enfin, la meilleure solution serait donc celle qui permet d'avoir plus de performances sur le plan sismique sans avoir de grosses interventions sur le plan structural sur la structure existante et permettant aussi de garder l'aspect architectural de la façade ou au moins une facilité de restauration après les travaux.

Parmi toutes les solutions existantes, et vu la simplicité de la composition de façade notre choix s'est porté sur la technique du chemisage par une paroi mince en béton armé.



**Fig. 4.158 : Renforcement du mur pignon par chemisage, la galerie par gainage interne.**



**Fig. 4.159 : Détail 1 ; Renforcement d'un pilier de la galerie par gainage interne.**

Source : auteur

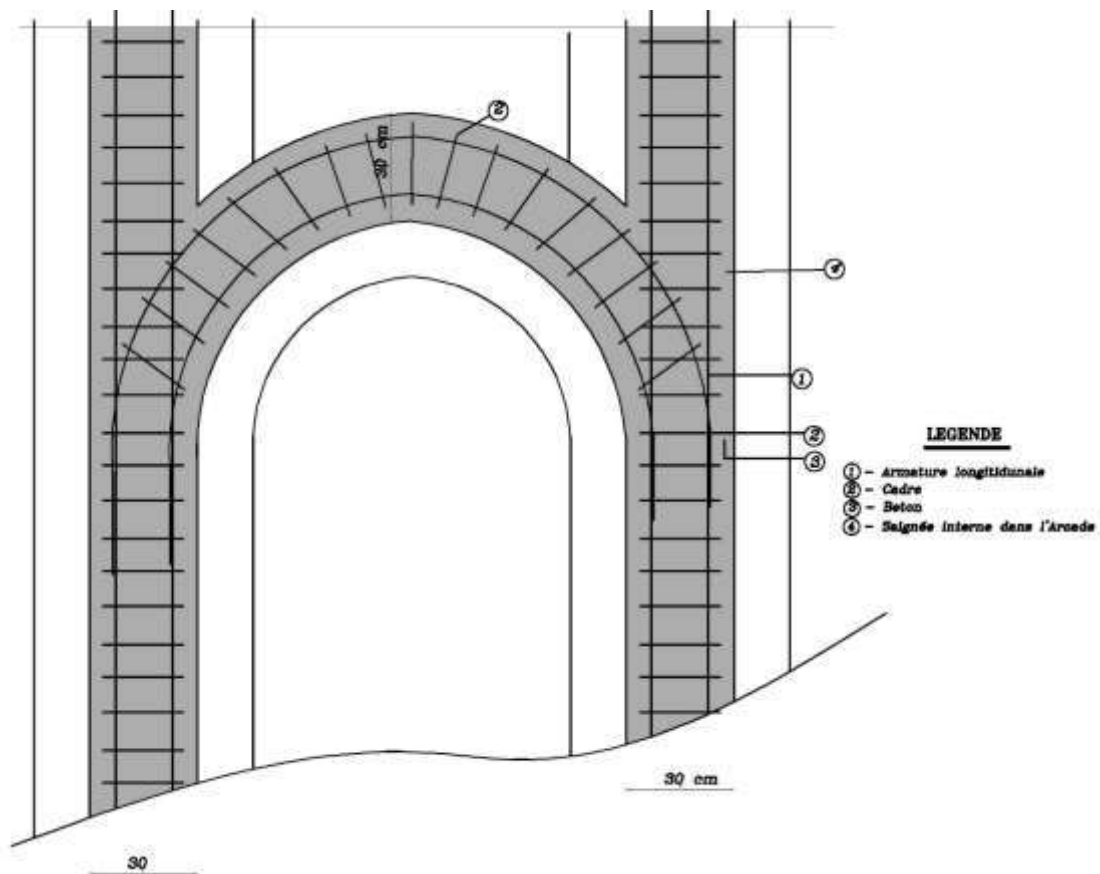


Fig. 4.160 : Elévation montrant le gainage interne des arcades de la galerie  
Source : auteur

#### IV-3-6-3-c-La création d'un chaînage horizontal en béton Armé :

Les planchers en voutains de briques sur solives métalliques existants au niveau des blocs du lycée sont posés directement sur les murs porteurs. Le renforcement de liaison entre la structure horizontale et la structure verticale par un chaînage horizontal en béton Armé permettra de limiter le déplacement des planchers sous l'effet des efforts horizontaux issus du séisme, mais aussi de transmettre les charges d'une manière correcte des planchers vers les murs.

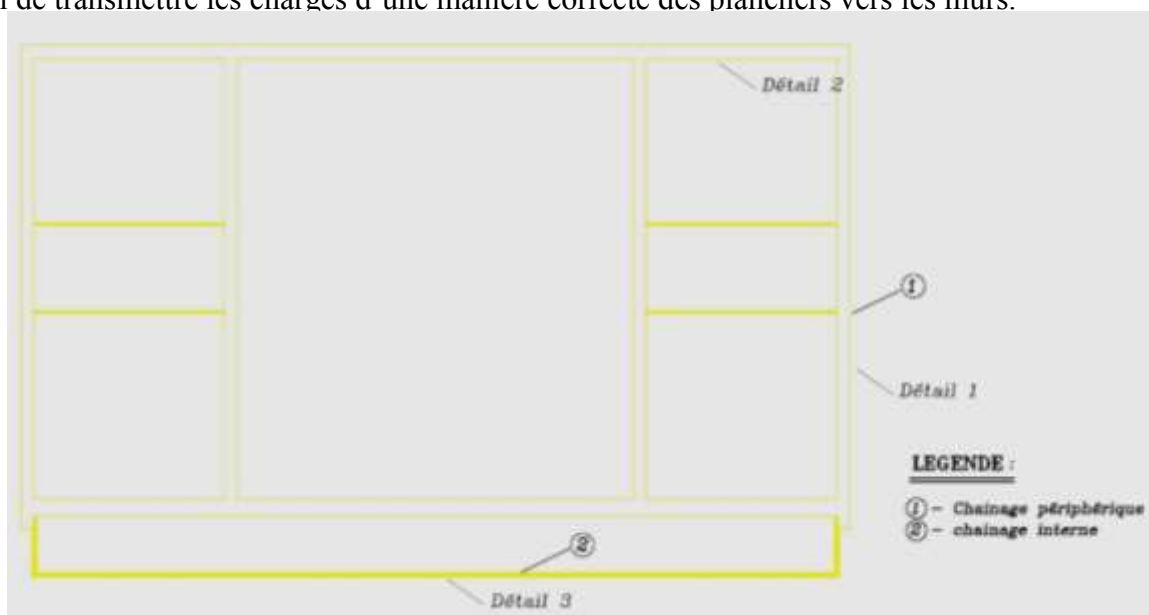


Fig. 4.161 : Disposition du chaînage horizontal en B.A  
Source : auteur

### IV-3-6-3-c-Le chaînage horizontal périphérique des étages courants :

#### IV-3-6-3-c-1-Cas des solives reposant sur les murs :

Les solives métalliques reposant sur le mur, constituent déjà un chaînage horizontal, par ailleurs, le chaînage en béton armé est indispensable vue le renforcement des murs porteurs par le chemisage, lorsque les solives reposent sur le mur, on suivra les étapes suivantes :

- Création d'une saignée verticale au niveau des planchers pour faire passer les barres de recouvrement reliant les parois verticales.
- la mise en place de 4 barres longitudinales en acier du T12 en bas et en haut du plancher (deux barres extérieures et deux barres intérieures) afin de ceinturer tout le plancher
- la démolition de la dernière partie du plancher n'est pas nécessaire, la mise en place des cadres transversaux se ferait dans la saignée verticale créée et dans le vide entre les solives métalliques.
- Coulage du béton par projection

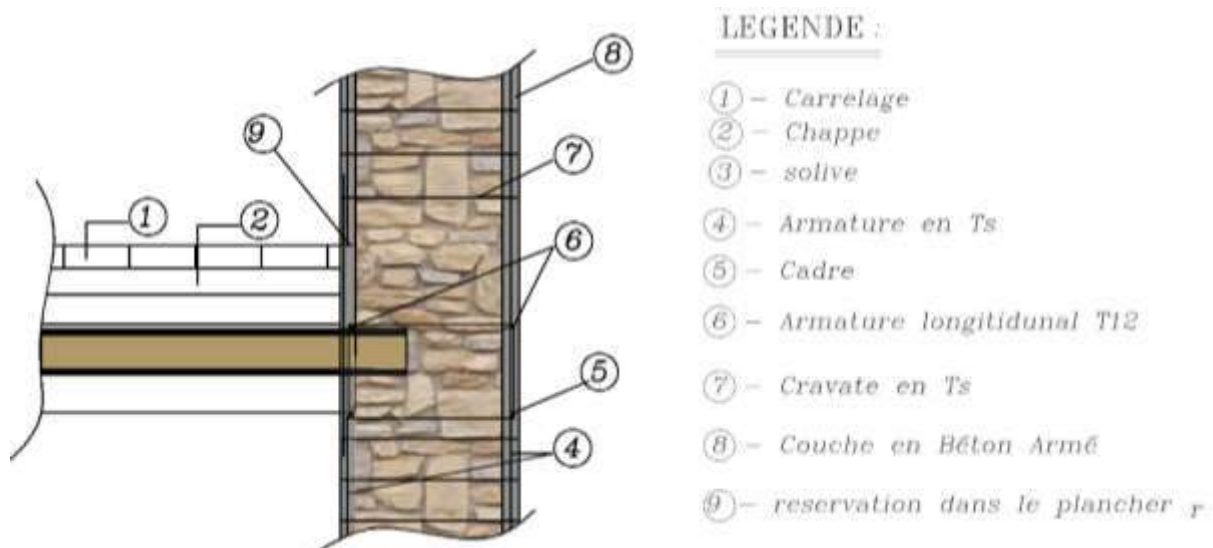


Fig. 4.162 : Détail 1, chaînage dans le cas des solives métalliques reposant sur le mur

Source : auteur

#### IV-3-6-3-c-2-Cas des voutains en brique reposant sur le mur :

Dans l'autre sens du plancher ou les voutains en brique reposent sur le mur, la mise en œuvre pourrait se résumer comme ce qui suit :

- La création des saignées dans les voutains en briques pour faire passer les barres de recouvrement reliant les deux panneaux verticaux du tréillis soudés de l'étage courant et de celui en bas

- la mise en place de 4 barres longitudinales en acier du T12 en bas et en haut du plancher (deux barres extérieurs et deux barres intérieures) afin de ceinturer tout le plancher
- La création de deux réservation dans le mur et la mise en place de deux épingles constituant un cadre autour des barres longitudinales.
- Couler du béton par projection.

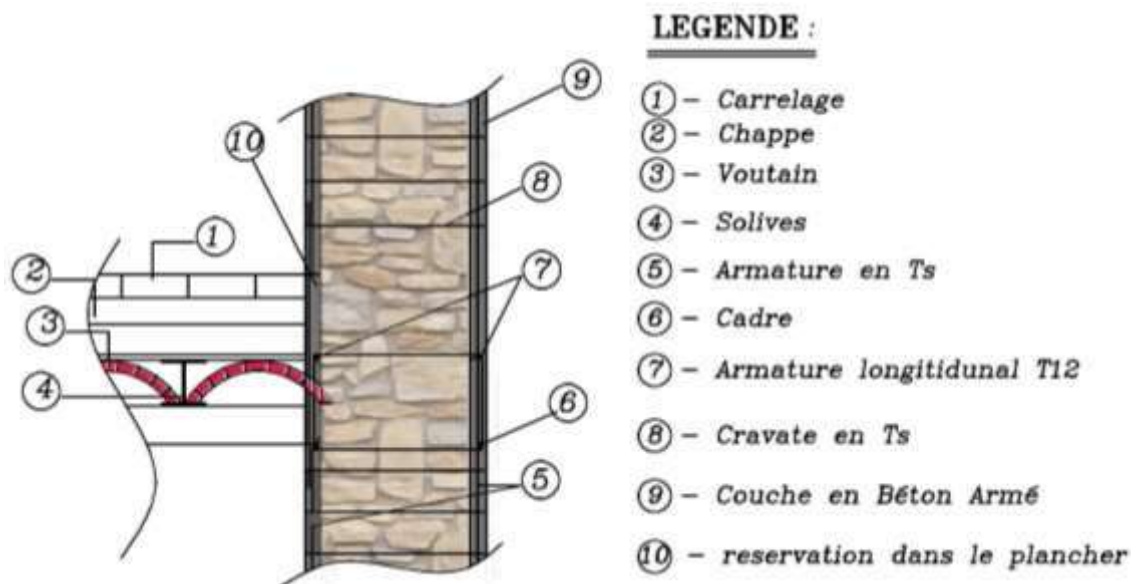


Fig. 4.163 : Détail 2 chainage horizontal périphérique.

Source : auteur

#### IV-3-6-3-d-Le chainage horizontal interne :

Le chainage interne de la galerie sera relié avec le chainage périphérique, la mise en œuvre de ce dernier consiste à la création d'une saignée de 10 cm dans la partie interne du mur de la galerie et mettre en places les armatures longitudinales et les cadre transversaux, ce dernier reposera à son tour sur le chainage vertical interne en B.A déjà créé dans le mur.

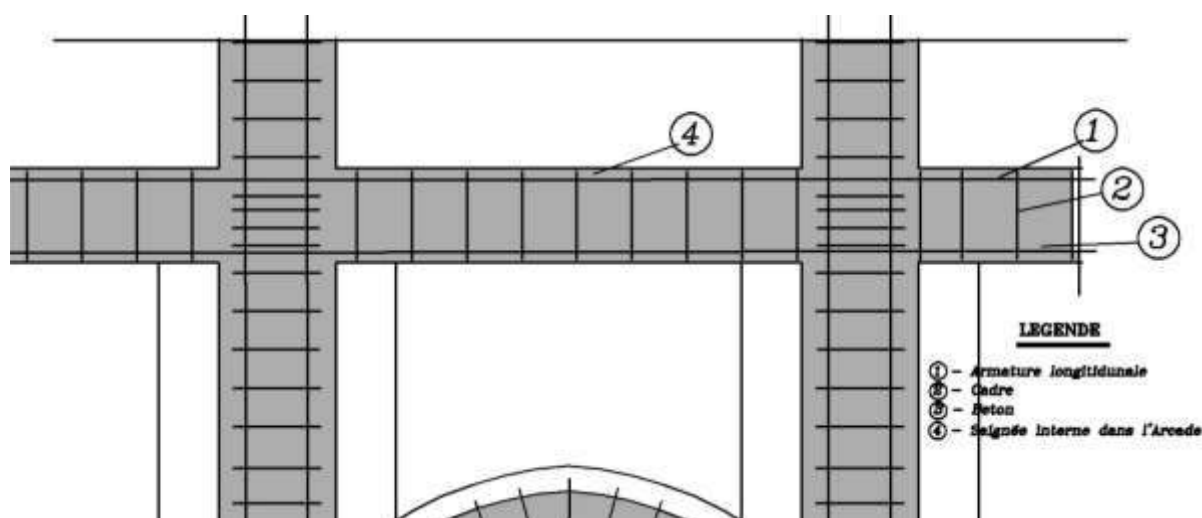


Fig. 4.164 : Détail 3, élévation montrant la liaison entre le chainage horizontal et le chainage vertical de la galerie.

Source :auteur.

#### IV-3-6-3-e-La création d'un chainage au dernier niveau du bâtiment :

Afin d'éviter les problèmes cités au niveau de la liaison entre le mur du dernier étage et la charpente en bois, on propose un chainage horizontal en béton armé

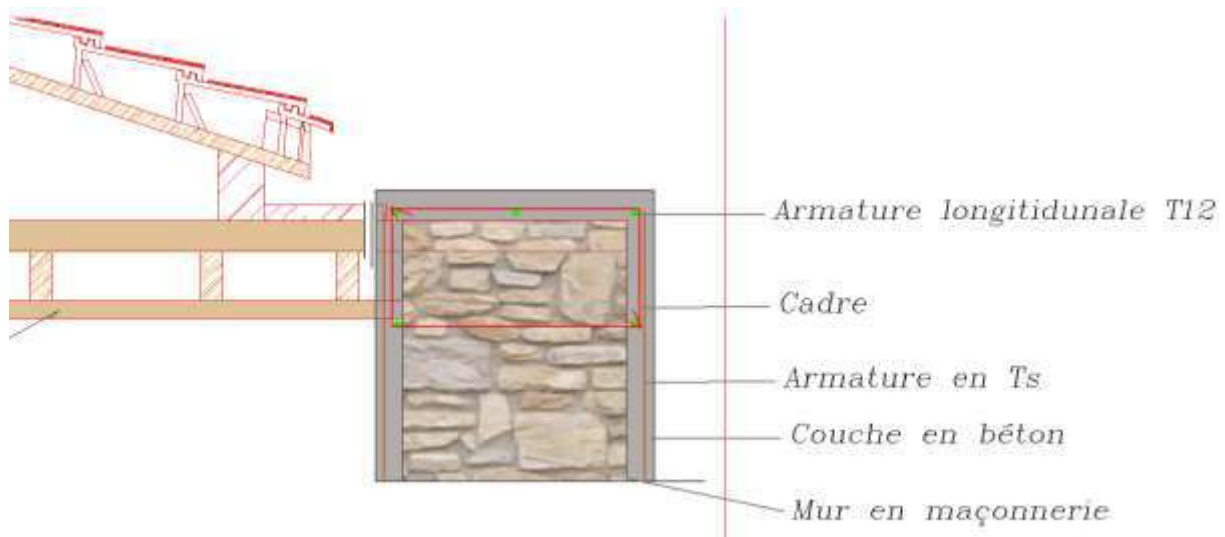


Fig. 4.165 : Chainage et liaison entre le mur et la charpente en bois.

Source : auteur

#### IV-3-6-4-La restauration des façades après le renforcement :

Le renforcement vertical en chemisage et ainsi que la création d'un chaînage horizontal en béton armé, créera dans la suite une épaisseur supplémentaire de 5 cm dans les parois façade extérieure.

La reprise de cette épaisseur se fera par le biais d'un enduit grillagé de ciment en deux couches, la disposition de ce grillage est nécessaire pour tous les enduits dépassant les 2 cm d'épaisseur.

La mise en œuvre de la reprise d'épaisseur par un enduit de ciment consiste à :

- Grattage de la couche de peinture.
- Vérification de l'état de l'enduit de revêtement.
- Dans le cas où l'enduit se trouve dans un bon état, on procèdera à un piquetage de la couche d'enduit pour rendre la face rigoureuse, dans le cas contraire l'enduit sera complètement refait.
- La pose de la première couche d'enduit sur une épaisseur de 2cm.
- La pose d'un grillage avec des mailles serrées pour stabiliser l'enduit.
- La mise en place de la deuxième couche de l'enduit sur une épaisseur de 2 cm.

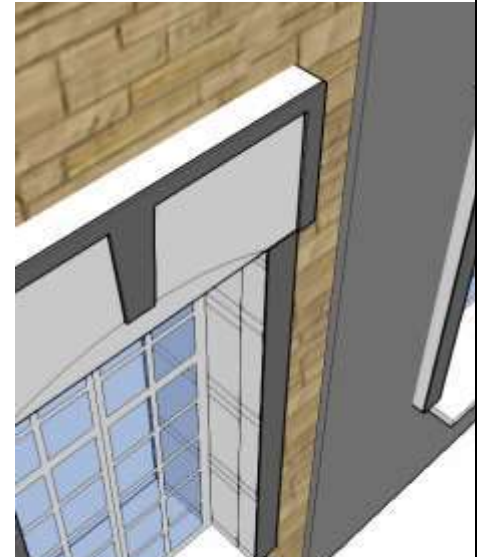


Fig. 4.166 : Différence de niveau de façade de 5cm induit par le chemisage.

Source : auteur

- L'application des couches de la peinture



**Fig. 4.167: Reprise de la différence de niveau dans la façade par un enduit grillagé de deux couches**

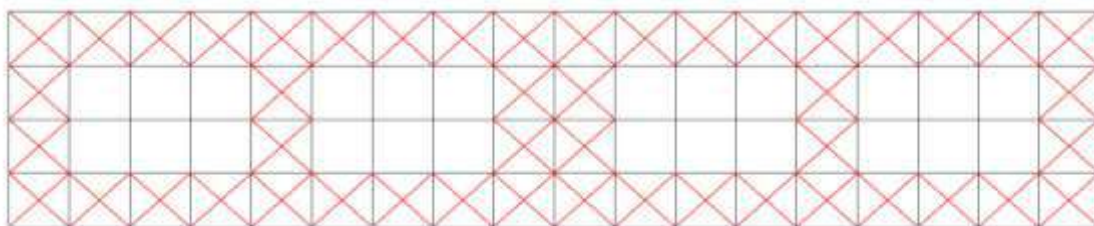
Source : auteur

#### **IV-3-6-5-Renforcement de la structure récente cas de la salle de sport bloc 4 :**

La salle de sport du bloc 4 édifée sur le 3<sup>em</sup> étage, est une extension récente avec une structure en charpente métallique reposant sur des profilés métalliques ancrés sur les murs porteurs en pierre, la ferme métallique de la salle de sport supporte à son tour une couverture légère en brique et chape en béton armé.

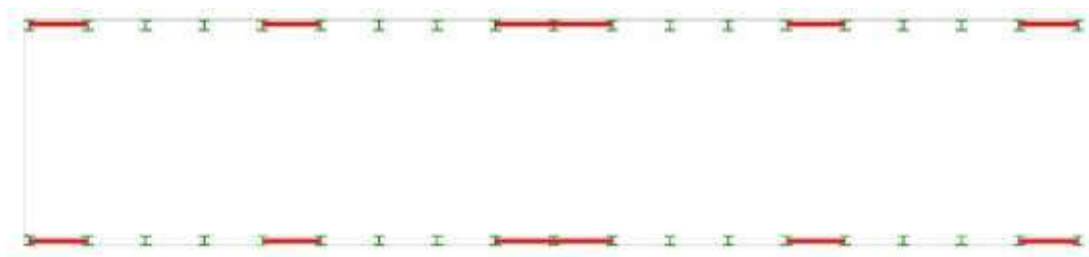
L'absence du contreventement horizontal et vertical dans cette ossature considérée comme un étage souple pourrait avoir un comportement indésirable lors de la poussée horizontale produite par le séisme.

Afin d'améliorer le comportement sismique de cette ossature nous proposons un contreventement métallique en croix. La disposition des X de contreventement sur les murs pignons et sur la couverture devrait se faire avec symétrie en plan pour garantir la bonne reprise des efforts horizontaux sur l'ensemble de la structure.



**Fig. 4.168 : Disposition des contreventements horizontaux de la toiture**

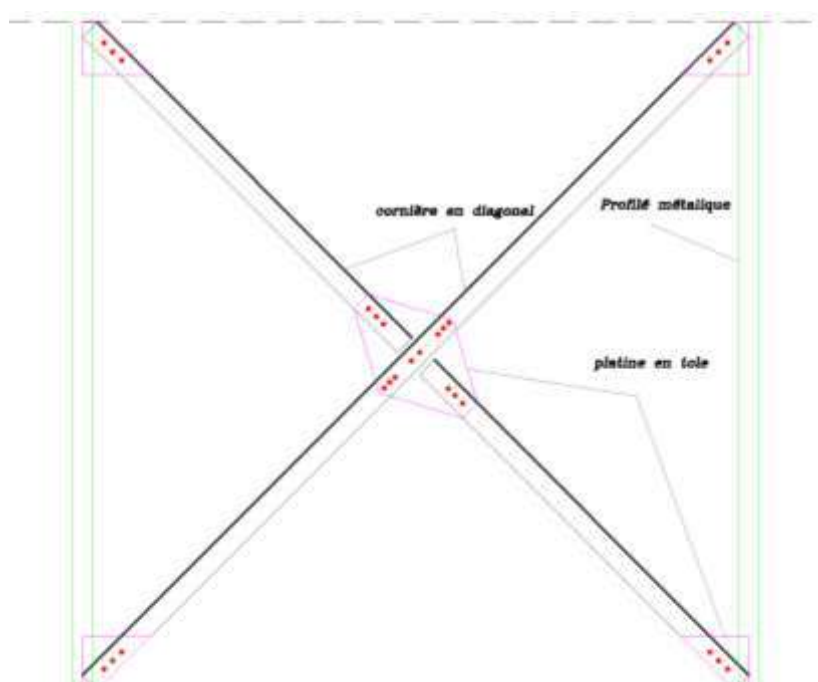
Source : auteur



**Fig. 4.169 : Disposition des X de contreventement latéral**

Source : auteur

Si le contreventement horizontal dans la ferme métallique est assez simple, la mise en œuvre du contreventement latéral passe par la création d'une saignée en diagonal dans le mur en maçonnerie, la mise en place de la première cornière diagonale en la fixant avec les profilée métallique, le remplissage de la première saignée avant de procéder aux mêmes étapes pour la deuxième diagonale.



**Fig. 4.170 : Détail du contreventement métallique latéral en**

Source : auteur

#### **IV-3-6-6-La démolition du château d'eau :**

Le réservoir d'eau du bloc de la bibliothèque, une construction récente en béton armé a été jugé très vulnérable face au séisme selon le rapport de diagnostic du control technique de construction. Pendant les travaux de réhabilitation, le B.E.T chargé a exclu l'idée de le démolir en se contentant de le vider et de le mettre hors service. Une solution peut être efficace face aux

charges permanentes vu le poids important de cet ouvrage surtout lorsqu'il est rempli d'eau, mais présente une certaine vulnérabilité dans le cas d'un séisme probable.

Le château d'eau de forme circulaire d'un diamètre de 4 m est érigé sur le plancher terrasse, la base circulaire s'appuie sur des poutres assez rigides qui elles-mêmes reposent sur des poteaux courts de faibles section. Ces poteaux à leurs tours reposent sur d'autres poutres assez rigides reposant ensuite sur un socle en béton armé.

Dans le but d'assurer la sécurité de l'édifice, il est indispensable de procéder à une démolition immédiate de cet élément. La technique de démolition doit être très bien réfléchie, puisqu'il s'agit de démolir sans avoir affecté la structure du plancher terrasse du bloc de la bibliothèque.



**Fig. 4.171 : Le château d'eau sur terrasse**  
**Source : B.E.T Harchaoui.2010**

## **Conclusion :**

La partie pratique de notre recherche nous a permis d'en déduire que la réhabilitation effectuée au sein du lycée Emir n'est pas allée jusqu'au bout pour solutionner tous les réserves signalés lors de la période du diagnostic.

Les travaux réalisés étaient superficiels et se sont contentés de toucher l'enveloppe extérieure de l'établissement et de réparer les dommages apparents, sans avoir établi un renforcement de la structure. Cette dernière est d'après notre analyse par le biais de la méthode AFPS reste très vulnérables surtout vis-à-vis les efforts induits par le séisme. Comme il est très difficile voire même impossible d'éliminer toutes les sources de cette vulnérabilité, les techniques de renforcement qu'on propose essaye de déminuer le facteur de la vulnérabilité le maximum possible.

Les solutions apportées dans la phase des recommandations ont été choisi d'une façon à augmenter la ductilité de la structure de l'édifice tout en gardant la même organisation spatiale dans le but d'éviter la déstabilisation structurelle des blocs du lycée. Le choix des techniques de renforcement a tenu compte des caractéristiques mécaniques de la pierre utilisée qui ne peut pas s'adapter à toutes les solutions techniques, mais aussi du caractère architectural patrimonial notamment au niveau de la façade principale.

## Conclusion Générale :

Certes que Les opérations d'intervention pour la préservation du patrimoine architectural sont nombreuses et interviennent sur des niveaux différents, mais enfin elles ont tous le même objectif résidant essentiellement dans l'émergence des qualités architectural cachées de ces biens matériels, l'adaptation de ces constructions avec les besoins de la génération actuelle et du future, et l'assurance de la sécurité et de la pérennité de ces ouvres d'art le plus longtemps possible. Dans la présente recherche, nous avons choisi d'aborder une de ces opérations : « la Réhabilitation »

Sachant que la plupart des constructions coloniales du 19<sup>em</sup> et du 20<sup>em</sup> siècle se trouvent dans un état de dégradation avancé, des opérations de réhabilitation ont été effectuées surtout au niveau des bâtiments ayant un intérêt public. Le but de notre recherche est de vérifier la pertinence de ces travaux, et si ces derniers ont tenu compte à la fois des spécificités architecturales et constructives des bâtisses concernées et de la sécurité de ces usagers pour garder ces merveilles architecturales le plus longtemps possible.

Afin de répondre à notre problématique, nous avons choisi le lycée Emir Abdelkader comme Cas d'étude. En plus de ses qualités architecturales et constructives, cet établissement est d'une grande valeur patrimoniale car il fut le premier lycée édifié en Algérie.

Pour se faire, nous avons divisé notre recherche en deux parties complémentaires. La première est une approche théorique ou nous avons essayé d'aborder quelques concepts, méthodes et techniques ainsi que des données ayant une relation directe avec notre problématique dans le but mieux cerner notre thème. Quant à la deuxième partie, elle consistait à vérifier l'efficacité des travaux exécutés au sein de notre établissement en tirant profit du bagage théorique constitué dans la phase théorique.

Si on regarde sur le plan architectural, la réhabilitation a atteint son objectif. L'observation de l'état des lieux avant les travaux et l'état actuel des blocs du lycée renforce notre point de vue, le B.E.T chargé de l'opération a réussi à réparer les parties endommagées ou de les remplacer carrément quand il s'agissait d'un état de dégradation très avancé ou la réparation n'était pas possible, et de rendre aux façades leurs aspect originel perdu.

Or que, dans une telle opération et pour un édifice datant du 19<sup>ème</sup> siècle, l'aspect esthétique extérieur n'est pas la seule priorité. La structure des blocs de lycée semble être mise en écart dans les travaux de réhabilitation. Pour que cette construction puisse demeurer plus longtemps, une analyse structurelle plus approfondie portant sur le comportement de ses blocs vis-à-vis les différents efforts doit être établie.

En jetant un coup d'œil sur les rapports du bureau d'étude chargé de l'opération et du control technique des constructions « CTC », une certaine vulnérabilité sismique a été mentionnée. De ce fait, et avant de réaliser notre diagnostic, nous avons décidé d'effectuer une lecture structurelle sur l'ensemble blocs de l'édifice.

Sur une première lecture, on peut classer l'ossature portante en deux catégories revenant à deux époques différentes. La partie qui nous intéressait est celles de l'époque ancienne, cette dernière est caractérisée par :

- Murs porteurs en pierres, moellons, briques pleines.
- Piliers en pierres, arcades en briques pleines.
- Planchers en voutains de briques sur solives métalliques supportées par des poutres métalliques ; revêtement de sol en carrelage sur tuf et terre.
- Toiture en tuiles mécaniques sur fermes en bois avec faux plafond en lattis roseaux et plâtre.

La structure ancienne elle-même a connu des exceptions dans les parties où la nécessité d'avoir de grandes portées est indispensable le cas de :

La salle de sport du bloc 4 au 3<sup>em</sup> étage composée de :

- Fermes métalliques sur murs en pierres (colonnes) supportant une couverture légère en briques et chape en béton armé.
- Toiture terrasse inaccessible, étanchéité multicouche avec revêtement et relevé en pax aluminium.

Le réfectoire et la salle de gym à l'entresol du bloc de l'administration :

- Murs porteurs en pierres
- Poteaux métalliques intermédiaires
- Poutres assemblées supportant un plancher sur solives métalliques.

Dans un deuxième lieu, on a établi une analyse structurelle, cette dernière a tenu compte de deux notions ; la durabilité de la structure l'édifice, et son efficacité vis-à-vis aux efforts du séisme, cette dernière a été jugé nécessaire sachant que notre zone d'étude a été classée dans la zone III caractérisée par une forte sismicité.

En parlant de la durabilité de l'édifice, on doit signaler que la structure portante de notre cas d'étude a réussi à perdurer pendant plus d'un siècle et demi. L'épaisseur importante des murs porteurs en pierre de calcaire (le moellon) a pu garantir la stabilité de l'ouvrage face aux différents incidents à l'image du bombardement de Bâb el Oued de 2001. Les principales réserves mentionnées au niveau de la structure existante avant la dernière réhabilitation étaient la conséquence du mal entretien ou de l'humidité provenant du mauvais état des réseaux de la canalisation des eaux usées.

Pour confirmer cette théorie, nous avons confronté la structure existante aux règles et aux normes exigées par le RPA, les principaux paramètres qu'on a tenus compte étaient :

- La géométrie en plan
- La régularité structurelle en plan
- La régularité géométrique en plan
- La régularité structurelle et géométrique en plan et en élévation.

Les résultats obtenus à la fin de cette phase ont renforcé notre point de vue, la structure existante n'a pas été endommagée par le facteur de temps.

Dans un deuxième lieu et partant du principe que notre cas d'étude semble souffrir d'une certaine vulnérabilité sismique mentionnée dans les rapports du CTC, on a décidé d'effectuer un diagnostic de la vulnérabilité sismique en prenant le bloc de l'administration comme référence.

Pour se faire, et en absence d'une méthode Algérienne précise, nous avons choisi la méthode AFPS. Le résultat de cette analyse ont permis de classer notre cas d'étude dans la case des bâtiments de forte vulnérabilité sismique avec un coefficient de présomption très élevé  $k = 175$ . Il ya ici à signaler que le lycée n'a pas connu de grandes dommages lors du dernier séisme de Boumerdas en 2003, sauf qu'on ne peut pas prendre ce dernier comme une référence puisque son épicentre reste loin de notre zone, et cette dernière n'est pas à l'abri d'un autre séisme avec un épicentre plus proche.

Après avoir confirmé nos hypothèses de la recherche, on est passé à la phase des recommandations techniques afin d'améliorer le comportement sismique de l'ossature existante. Les solutions qu'on a apportées avaient comme but l'amélioration de la ductilité de la structure existante. D'autre part le caractère patrimonial du lycée Emir, nous met dans une situation d'obligation de trouver la solution ayant le plus grand apport sans avoir un impact sur son aspect architectural et esthétique. Nous pouvons résumer nos recommandations dans les points suivants :

- La technique du chemisage pour le renforcement des murs porteurs internes.
- La création d'un chainage horizontal externe en béton armé.
- La création d'un chainage horizontal et vertical interne au niveau de la façade extérieure.
- Le contreventement métallique horizontal et vertical dans la salle de sport.
- La démolition d'une extension récente en béton armé (le château d'eau) afin d'éliminer le risque induit par son poids.

Enfin, notre rôle en tant qu'architecte se limite à veiller à ce que ces opérations se basent sur un fondement scientifique, et qu'elles puissent régler tous les problèmes soulevés au départ. Mais il ya lieu à signaler que la concrétisation de la volonté des autorités pour la préservation du patrimoine sur le terrain, passe au début par la disposition de tous les moyens, et par là nous voulons indiquer que mis a appart les budgets financiers, la création d'une formation pour les architectes spécialisé dans l'intervention du patrimoine, une formation qui se limitent dans les départements d'architecture sur la recherche théorique hors la réalité du terrain.

## Bibliographie :

### 1 Ouvrages :

- [1] **ANAH**, Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat (Paris), Les Planchers anciens, Editions du Moniteur, Paris, 1979, 126 p
- [2] **ANAH**, Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat (Paris), Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point, Edition du Moniteur, Paris, 1989, 167 p.
- [3] **ANAH**, Agence National pour l'Amélioration de l'Habitat (Paris), Techniques et produits pour l'amélioration de l'habitat, Editions du Moniteur, Paris, 1981, 420 p.
- [4] **BRENDA P**, Bâtiments en maçonneries : Analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidation, coll. « Préservation et mise en valeur des monuments et sites historiques », Centro Analisi Sociale Progetti S.r.l, Rome, 1993, 111 p.
- [5] **CASANOVA.X**, Méthode RehabiMed. Architecture traditionnelle méditerranéenne. Tome 2 : Réhabilitation Bâtiments, RehabiMed, Barcelone, Espagne, 2007, 399 p.
- [6] **CAUSSARIEU.A, GAUMART.T**, Guide pratique de la rénovation de façades : Pierre - brique-béton, Eyrolles, Paris, 2005, 158 p.
- [7] **COIGNET.J, COINGNET.L**, La Maison ancienne (Constructions, diagnostics, interventions), Edition Eyrolles, troisième Edition, Paris, 2005, P9-P51.
- [8] **DAKHMOUCH.M**, Procèdes de Renforcement du Vieux bâti, Office des publications universitaires, Alger, 2005, P9, P29-111
- [9] **DREGE.J, PUTTATI.J, ILLOUZ.C. Et al**, Pathologie des ouvrages de bâtiment T.1 : Fiches techniques pour l'établissement du diagnostic la mise en oeuvre des solutions appropriées la prévention et la résolution des litiges, Editions Weka, Paris, 1997.
- [10] **EUROMED HERITAGE**, Méthode Réhabimaed pour la réhabilitation de l'architecture méditerranéenne. Réhabimed, Aout 2005.
- [11] **HUSSEIN.F**, Architecture traditionnelle libanaise. CORPUS Levant, Avignon (France), 2004.
- [12] **LAGIER.F, PARRET-FREAUD.A**, Les murs en maçonnerie Eléments de cours.B.T.S. bâtiment - Classe de 1<sup>ère</sup> année. Lycée du bâtiment & des travaux publique « Saint-Lambert », Paris, janvier 2006.
- [13] **LAURENT.J**, Construction et restauration des bâtiments en pierre : Histoire.technique.pratique, Editions Vial, Dourdan (France), 2007, 304 p.
- [14] **PERRET.J**, Guide de la maintenance des bâtiments : Diagnostic d'un patrimoine bâti existant. Prévention des désordres et actions pour y remédier. 308 fiches techniques de suivides ouvrages, coll. « Moniteur référence technique » Editions Le Moniteur, Paris, 1995,431 p.

## **2-Thèses et mémoires :**

[15] **AIT HAMOUDA. M**, mémoire magistère, la conservation du patrimoine Bâti en Algérie, Cas de la réhabilitation d'immeubles urbains du bâti ancien en Algérie, Oran, 2013, 205p.

[16] **AMIRECHE.F**, De la médina a la métropole dynamiques spatiales d'Alger a trois niveaux u, S c i e n c e s & T e c h n o l o g i e D N ° 2 6, Décembre 2011, p.71- 84,

[17] **ALILIS**, mémoire magistère, Guide technique pour l'opération de réhabilitation du patrimoine architectural villageois Kabyle, Tizi Ouzou, 2012, 133p

[18] **BOUAZIZ.S**, mémoire magistère, Elaboration d'un consensus de réhabilitation du patrimoine industriel pérennisant son authenticité dans le contexte algérien (cas des ateliers de maintenance S.N.T.F. El-Hamma, Alger), Tizi Ouzou, 2011, 180p.

[19] **CHERNAI.S**, mémoire magistère, Guide technique pour l'opération de réhabilitation du patrimoine (habitat de l'époque ottomane), Tizi Ouzou, 2012, 177p

[20] **DOUZLI**, Mémoire master, Etude de Réhabilitation d'un musée composé (RDC+1Etag) a Ain Temouchent, Oran, 2013, 94 p

[21] **IDIR.L**, mémoire magistère, Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine architectural en terre en Algérie, Tizi Ouzou, 2012, 155 p.

[22] **HOUTI.B**, mémoire magistère, Comportement des structures en maçonnerie sous sollicitations uni axiale, Oran, 2011, 89p

[23] **SAID AISSA.K**, mémoire magistère, devenir du patrimoine colonial dans le cadre d'un projet d'une réhabilitation (cas du quartier Belouizdad, Hamma, Alger), Tizi Ouzou, 2012, 130p.

## **2-Articles :**

[24] **DEKOUMI.D, BOUZANADA.O**, 2013 Législation Algérienne et gestion du patrimoine.

[25] **SOUKAN.S, M.DAHLI**, 2011, La réhabilitation du patrimoine colonial du 19em et 20em siècle dans le contexte du développement durable.

## **3- CHARTES NORMES ET CONVENTIONS INTERNATIONALES :**

[26] Charte d'ICOMOS Australie pour la conservation des lieux et des biens patrimoniaux de valeur culturelle (Charte de Burra), Burra, Australie, 19 août 1979.

[27] Charte internationale sur la conservation et la restauration des monuments et des sites (Charte de Venise), Venise 25-31 mai 1964.

#### **4-Sites internet :**

[28] CNOA, Réhabiliter : un enjeu pour demain,  
« [www.manifestepourlesvilles.com/themes/logement/rehabiliter-un-enjeu-pour-demain](http://www.manifestepourlesvilles.com/themes/logement/rehabiliter-un-enjeu-pour-demain) », (Consulté le 8/01/2016).

[29] Ecole d'Avignon, Formation : Réhabilitation du patrimoine bâti ancien,  
« [http://www.peinture-decor-formation.com/fr/formation/download/44\\_rehabilitation-dupatrimoine-bati-ancien.pdf](http://www.peinture-decor-formation.com/fr/formation/download/44_rehabilitation-dupatrimoine-bati-ancien.pdf) », (Consulté le 10/01/2016).

[30] ICCROM, Patrimoine bâti : qu'est-ce que le « patrimoine bâti », « [www.iccrom.org/fra/prog\\_fr/02built\\_fr.shtml](http://www.iccrom.org/fra/prog_fr/02built_fr.shtml) », (Consulté le 11/02/2016).

#### **5-Rapports:**

[31] -Rapport diagnostic de la Réhabilitation du lycée Emir AbdelKader, Bureau d'étude Harchaoui, Alger, 2012.

[32] -Diagnostic du Control technique des constructions du Lycée Emir avant la Réhabilitation, CTC Chlef, 2008.