

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme

epau

Laboratoire Architecture et Environnement



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

Thème

**Préservation du Patrimoine Bâti en Algérie
Analyse et diagnostic de la réhabilitation du siège
de la Mairie d'El-Harrach**

Présenté et soutenu par
TAIB YAZID

Mémoire dirigé par :
Dr. ATTARI NASSEREDDINE

Jury :

Présidente de jury : Dr. DRIOUECHE N.

Examineur : BELOUCHRANI W.

Examineur : BRAHIMI N.

Octobre 2016

Remerciements

AU NOM DU BON DIEU ALLAH, avec son aide que j'ai réussi à accomplir ce modeste travail de recherche.

Tout d'abord, je remercie tous les gens qui ont participés de près ou de loin dans l'élaboration de ce mémoire de recherche.

Ensuite, je distingue mes sincères remerciements à mon encadreur Dr Attari Nasser-Eddine, qui m'a orienté, guidé, ... tout le long de la recherche. Ainsi, et surtout de tous les efforts qu'à mis afin d'arriver à atteindre l'objectif de ce travail de recherche.

Ainsi, j'adresse mes remerciements au président de la mairie d'El-Harrach Mr Ambarek Alaik qui nous a bien accueillis. De même, je remercie toutes les personnes qui travaillent au niveau de ce siège pour leurs aide, orientations, informations, ...etc.

Je tiens aussi à remercier les membres de jury qui vont examiner ce mémoire de recherche ; avec leurs critiques, remarques, conseils, orientations, que j'espère vont être très utiles à l'avenir.

Enfin, je remercie tous mes collègues de l'école et d'autres qui ne sont pas, ainsi que tous mes proches et mes amis.

Merci à toutes et à tous.

Je dédie ce modeste travail de recherche à mes parents, mon frère et mes sœurs. Qu'Allah les protège.

Résumé

Aujourd'hui, les édifices anciens à valeur patrimonial sont dans un état vétuste et dégradé. De ce fait, l'Algérie a mis différents moyens en place pour la réhabilitation de ces anciens édifices, mais malgré les efforts consentis et les différents modes d'interventions et de réhabilitation, ces anciens édifices retombent le plus souvent dans un état de dégradation suite à une courte durée après l'intervention, notamment à l'arrivée d'un risque majeur comme le séisme.

Cette intervention de réhabilitation dont il est questions dans cette recherche, s'intéresse à la réhabilitation en tant que processus permettant la conservation du patrimoine bâti dégradé, comme elle se base sur des méthodes d'analyses et d'évaluations, comme elle aborde différentes techniques de renforcement, consolidation et d'évaluation sismique avant toute décision d'intervention sur n'importe quel édifice notamment ceux à valeur patrimoniale.

Avec ce savoir-faire et ces connaissances concernant les techniques utilisées lors d'une intervention de réhabilitation, nous pouvons prendre les décisions qui s'imposent, par la proposition de solutions qui vont permettre d'assurer la durabilité de l'édifice et améliorer sa résistance aux risques sismiques tout en gardant la richesse patrimoniale qu'il apporte.

Dans la présente recherche, nous avons pris comme cas d'étude le siège de la mairie d'El-Harrach.

Mots clés : bâti ancien, préservation, réhabilitation.

Abstract

Today the old buildings with heritage value are in a dilapidated and degraded state. Thus, Algeria has put a pat of interventions in this situation, but despite all these thoughts about the different modes of intervention notably those of rehabilitation, these old buildings are always found in a degraded state just after a short period of intervention, including the arrival of a major risk as the earthquake of 2003.

This intervention of rehabilitation which is our concern in this research, is based on methods of analysis and evaluation, as it also addresses different techniques for strengthening and consolidation. Therefore, we think it is very interesting to have a background knowledge on best methods of rehabilitation and seismic evaluation and the different techniques of strengthening and consolidation before any decision to intervene on any building especially when it comes to those with heritage value.

Once this background knowledge acquired, and identified the problems in the techniques used in rehabilitation intervention today, we can take a good pat again, by proposing solutions that will help ensure the sustainability of building and its resistance to seismic risks while maintaining the rich heritage it brings.

In this way, we took the office of the Town Hall of El Harrach as a case study throughout this present research.

Keywords: old buildings, preservation, rehabilitation.

ملخص

اليوم المباني القديمة ذات القيمة التراثية في حالة متهاكلة ومتدهورة. ولهذا الجزائر وضعت نوع من التدخلات، ولكن على الرغم من كل هذه الأفكار حول أنماط مختلفة من التدخل لا سيما تلك التي تقوم بإعادة التأهيل، المباني القديمة تظهر دائما في حالة متدهورة بعد فترة قصيرة من التدخل، لاسيما عند وصول خطر كبير كالزلازل الذي وقع في عام 2003.

هذا التدخل لإعادة التأهيل الذي كان موضوعنا في هذا البحث، يقوم على طرق التحليل والتقييم، كما أنه يعالج أيضا تقنيات مختلفة لتعزيز وتوطيد. لذلك نعتقد أنه من المثير للاهتمام على أن يكون لدينا معرفة أساسية عن أفضل الطرق لإعادة التأهيل والتقييم الزلزالي وتقنيات مختلفة لتعزيز وتوطيد قبل اتخاذ أي قرار بالتدخل في أي بناء وخصوصا عندما يتعلق الأمر بالذي له قيمة تراثية.

بعد هذه المعرفة الخلفية، ومعرفة المشاكل في التقنيات المستخدمة في التدخل لإعادة التأهيل في يومنا الحالي، يمكننا أن نلقي نظرة جيدة وجديدة مرة أخرى، وهذا من خلال اقتراح بعض الحلول التي من شأنها تساعد على ضمان استدامة بناء ومقاومته للمخاطر الزلزالية مع الحفاظ على التراث الغني الذي يجلب. وبهذه الطريقة، نعمل مع مكتب دار بلدية الحراش كدراسة حالة في هذا البحث الحالي.

كلمات البحث: المباني القديمة، الحفاظ عليها، إعادة التأهيل

Sommaire

Remerciements	2
Résumé	3
Abstract	4
المخلص	5
Chapitre introductif	9
1. Introduction.....	9
2. La problématique générale	10
3. Cas d'étude	11
4. Les hypothèses	12
5. Les objectifs	12
6. Aspect méthodologique	12
7. La Structure de mémoire	13
<i>PREMIERE PARTIE : Une étude bibliographique (partie théorique) sur la méthodologie et les différentes techniques de réhabilitation utilisées dans les anciens édifices en zone sismique.</i>	
Chapitre 1 : Approche Conceptuelle. Définitions des concepts de catégorisation et de qualification du bâti ancien	14
1. Introduction.....	14
2. Monuments	14
3. Monuments historiques	14
4. Préservation des monuments	14
5. Conservation	14
6. Conservation-restauration	15
7. Restauration	15
8. Réhabilitation	16
9. Consolidation	18
10. Renforcement	18
11. Conclusion	19
Chapitre 2 : Processus de réhabilitation et d'évaluation de la vulnérabilité du bâti ancien	20
1. Introduction.....	20
2. Diagnostic de la vulnérabilité du bâti ancien	20
2.1. Présentation de méthodes d'évaluation sismique	20
2.1.1. Méthode FEMA	20

2.1.2. Méthode AFPS	22
2.2. Présentation de la méthode de réhabilitation Rehabimed	24
2.3. Les étapes à suivre dans la Réhabilitation du bâti Ancien (Méthode Rehabimed).....	26
3. Conclusion	37

Chapitre 3 : La méthodologie des opérations et des techniques de réhabilitation structurelle des édifices anciens situés dans des zones sismiques	38
1. Introduction.....	38
2. Différents niveaux de renforcements	38
3. Choix d'une stratégie de renforcement	39
4. Principales techniques de (renforcement/consolidation) des éléments structuraux du bâti ancien	40
4.1. Consolidation des fondations	40
4.2. Renforcement des poteaux	47
4.3. Renforcement des poutres	49
4.4. Consolidation des murs en maçonnerie de pierre	49
4.5. Traitement de fissures dans les murs en pierres	55
4.6. Réhabilitation des planchers	58
4.7. Réhabilitation des toitures	63
4.8. Renforcement du système d'arcature	65
5. Conclusion	66

DEUXIEME PARTIE : analyse et évaluation (partie pratique) du siège d'APC d'El Harrach et les techniques utilisées dans sa réhabilitation, et adaptation d'autres plus durables et plus adéquates en zones sismiques.

Chapitre 4 : Analyse critique de l'état du siège d'APC d'El Harrach et des techniques utilisées dans la réhabilitation qu'il a subit	67
1. Introduction	67
2. Présentation du cas d'étude	67
3. Vulnérabilité de l'édifice vis-à-vis les risques existants dans l'environnement immédiat (centre d'El-Harrach).....	69
3.1. Le risque sismique	69
3.2. Le risque d'inondation	70
4. Degré de qualification et de catégorisation de l'édifice	72
5. Critères de choix du cas d'étude	72
6. Définition de système structurel et constructif	73
7. Restitution de dossier graphique de l'édifice	78
7.1. les plans	78

7.2. les façades	78
7.3. la monographie de l'édifice (plans et façades).....	79
8. Les changements rapportés sur le siège d'APC	88
9. la volumétrie 3D	93
9.1. la volumétrie de l'édifice à l'état initial (avant l'intervention)	93
9.2. la volumétrie de l'édifice à l'état actuelle (après l'intervention)	96
10. Les dommages et les pathologies soulevés	98
11. Analyse critique des différentes techniques de (renforcement/consolidation) utilisées	104
11.1. Renforcement et chaînage de l'infrastructure	104
11.2. Renforcement et chaînage de la superstructure	106
11.3. Renforcement et consolidation des planchers métalliques à voutains	111
11.4. Renforcement de plancher de la toiture terrasse	113
11.5. Réhabilitation du comble (la charpente)	113
11.6. Renforcement de l'escalier	113
12. Conclusion	114
Chapitre 5 : évaluation/interprétation des résultats obtenus de l'analyse critique du siège d'APC d'El Harrach, et les solutions préconisées	115
1. Introduction	115
2. AFPS comme méthode d'évaluation de l'édifice réhabilité face aux risques sismiques	115
3. Recommandations sur les techniques utilisées dans le renforcement/consolidation du siège d'APC d'El Harrach	118
4. Proposition de solutions pour les changements, dommages et les pathologies soulevés	124
5. Conclusion	131
Conclusion générale et perspectives	133
Bibliographie/Webographie	135
Table des figures	138
Annexes	

Chapitre introductif

1. Introduction

Aujourd'hui le patrimoine est devenu un débat international et interdisciplinaire, tout le monde s'intéresse à son patrimoine car il fait partie de l'identité d'un pays donné (il reflète l'histoire, la culture,...). Ce patrimoine joue un rôle important à tout moment. Premièrement, connaître le passé et la richesse d'un élément patrimonial (ville, quartier, édifice,...). Ensuite, il faut le maîtriser aujourd'hui pour pouvoir le maintenir en valeur par différentes types d'interventions, et surtout le préserver aux générations futures.

Notre cadre patrimonial en Algérie notamment le bâti reflète de plusieurs périodes, ainsi diversifié se voit aujourd'hui affronter à l'usure du temps, même ayant bénéficié d'un intérêt particulier, Riche. Mais morcelé et fatigué, il se voit marqué en même temps par un manque d'entretien et d'interventions maladroites. L'insalubrité, le manque d'entretien, la dégradation du cadre de vie de ses habitants, sous la pression démographique pour ne citer que cela contribuent fortement à sa déperdition. Même la casbah d'Alger, classée en tant que patrimoine mondial en 1992 par l'UNESCO, n'a pas été échappée à ce mal et est longtemps restée à la phase des travaux d'urgence, poussant les résidents eux-mêmes à intervenir d'une façon anarchique et inappropriée. C'est presque le même cas pour tous les édifices historiques même s'ils sont classés. (ACHAB S, 2012)

La sécurité des édifices nouveaux ou anciens aujourd'hui face aux risques majeurs notamment les efforts sismiques c'est quelque chose d'indispensable. Pour ce risque qui menace pratiquement tout le Nord de notre pays, les études disent que ses conséquences sur les bâtiments se multiplient. Au vu des connaissances nouvellement acquises, la prise en compte systématique des questions de sécurité sismique, que ce soit lors de la construction de nouveaux bâtiments ou lors du contrôle d'ouvrages existants, s'impose comme étant une nécessité. (Bernhard Furrer, 2001)

Ce risque sismique aujourd'hui est devenu de plus en plus dangereux sur tout le globe terrestre notamment dans les zones à forte sismicité, à savoir l'Algérie qui a vécu des séismes majeurs comme celui d'El-Asname (chlef) (1954/1980), et Boumerdes (2003). Ces Derniers ont fait beaucoup de dégâts aux constructions.

Dans le domaine plus spécifique de la conservation du patrimoine, la question qui se pose est celle de savoir par quelles dispositions garantir la sécurité sismique des monuments historiques, protégés en leur qualité de témoins de notre passé. Il serait absurde de faire l'économie du débat sous prétexte que les monuments historiques ont très bien traversés les siècles en résistant aux tremblements de terre et qu'il n'y a donc pas lieu d'agir. L'idée serait plutôt de renforcer la résistance des monuments historiques aux séismes en prenant dûment en compte les aspects de conservation patrimoniale. (Bernhard Furrer, 2001)

Vue le temps et la non préservation de ces édifices patrimoniales faces aux risques engendrés par le tremblement de terre, notre pays risque de perdre cette identité et cette richesse. Pour cela, dans les dernières décennies l'Algérie pense beaucoup plus à la préservation de ces

édifices à valeurs historiques par plusieurs types d'interventions (restauration, réhabilitation, renforcement,...).

Ces opérations touchent à connaître et à avoir certaines connaissances sur les constructions historiques qui sont avant tout un assemblage de plusieurs matériaux, liés par des mortiers, qui ont donnés à l'humanité tout entière les plus beaux monuments et de splendides en maçonneries présentant diverses caractéristiques physicochimiques, mécaniques et aspects physiques qui nous renseignent sur l'évolution de leurs technologies et les secrets de leurs durabilités d'une part. D'autre part ; ces connaissances concernant les constructions historiques, elles pourront servir comme une référence à la restitution des structures architecturales disparues ou manquantes lors des opérations de restitutions et de la restauration du patrimoine. (Boukhenouf, 2006)

Le comportement et la durabilité des éléments structurels du bâti traditionnel sont intimement liés aux matériaux utilisés et aux formes de construction propres aux environnements urbains et ruraux qui le composent. Ainsi la capacité portante d'éléments en maçonnerie doit être améliorée en cas de fissures causées par des dégâts se forme des charges inattendues comme un tremblement de terre, les inondations ou dans le cas de réaffectation du bâtiment. Donc, avant toute intervention la présence d'un fond de connaissance de base sur les matériaux utilisés et les typologies structurelles adoptées est obligatoire. (Casanovas, 2007)

Dans ce sens de préservation de notre bâti ancien et riche (édifices historiques construits en maçonnerie) face aux risques sismiques qui touchent aux éléments de structures et de constructions, on pose la problématique générale suivante :

2. Problématique générale :

Tous les édifices historiques anciens construits en maçonneries aujourd'hui sont devenus un patrimoine très intéressant à l'échelle nationale, voire même internationale. Cela reflète l'importance historique de l'édifice vue la richesse architecturale dans ses différents aspects (formel, structurel, décoratif, ...).

D'un autre côté, Il faut mentionner aussi, que ces édifices historiques ou ces constructions en maçonneries subissent des dommages à travers des fissures, ainsi d'autres pathologies notamment constructibles et structurels apparus dans ces édifices anciens, tels que :

- Tassement totale ou partiel,...
- Fissuration aux niveaux de la jonction des différents éléments de structures (poteaux-poutres,...)
- Détériorations et casement des éléments constructifs aux niveaux des façades (pierres cassées et fissurées, apparition des armatures aux niveaux des balcons,...)
- ...etc.

D'après cela, notre pays a mis en place une politique de conservation par la réhabilitation de ces édifices historiques.

Mais le problème qui se pose aux niveaux de ces opérations est l'apparition d'autres menaces et /ou problèmes après une courte durée sur l'intervention. Tout cela nous amènera à poser la problématique générale qui constitue le point de départ de notre recherche :

Comment les techniques mises en place dans la réhabilitation des édifices en maçonnerie à valeur historique assurent leurs durabilités ? Et comment ces techniques répondent aux normes de réhabilitation en zone sismique ?

Cette problématique générale posée sur tous les édifices historiques en maçonneries, peut être décomposée en plusieurs problèmes tout en ciblant un édifice spécifique comme cas d'étude.

3. Cas d'étude :

Dans notre cas, l'édifice ciblé concerne **le siège de la commune d'El Harrach**, cette commune a connu une histoire très riche est très intéressante dès sa naissance sous le nom **maison carrée** jusqu'à nos jours. (Figure 1)



Figure 1 : Maison carrée (mairie / place de la mairie), Photos prises vers 1917

Source : www.abcdelacpa.com

Parmi les édifices conçus à l'époque coloniale dans cette commune, on trouve le **siège de l'APC d'El Harrach**, qui se situe au centre-ville de cette dernière, face la fameuse place public d'El Harrach. Cet édifice qui présente notre cas d'étude, il a une grande valeur patrimoniale d'après ce qu'il porte comme richesse décoratif, architecturale d'une part. D'autre part c'est un édifice public qui représente une commune et toute la population de cette dernière. Et après le séisme de 2003 qu'à endommagé certains parties de cet édifice, ce dernier a connu une intervention de réhabilitation en 2005. Mais, actuellement cet édifice apparait dans un état dégradé bien que l'intervention elle est encore très récente.

A partir de tous ce qu'a été cité sur cet édifice et afin de le préserver aux générations futures, dans cette présente recherche, on va essayer de répondre aux problèmes suivants :

1. *Est-ce que les techniques utilisées dans la réhabilitation du siège d'APC d'El Harrach assurent la durabilité de l'édifice ?*
2. *Comment ces techniques utilisées dans notre cas d'étude répondent aux normes de réhabilitation en zone à forte sismicité ?*
3. *Est-ce que le siège d'APC d'El Harrach nécessite une autre intervention ? Et quelles sont les techniques les plus adaptées à utiliser, pour mener à faire un bon diagnostic pour une meilleure consolidation et durabilité de l'édifice ?*

4. Les hypothèses :

Dans le projet de réhabilitation qu'a été fait sur le siège d'APC d'El Harrach, on peut sous-estimer certains problèmes par les hypothèses suivantes :

1. *Les techniques mis en place lors de la réhabilitation de siège d'APC d'El Harrach, ne sont pas vraiment les meilleures solutions qui mènent à garantir la vraie durabilité de l'édifice.*
2. *Les techniques utilisées dans la consolidation de cet édifice, ne répondent pas aux normes de réhabilitation en zone sismique. Par contre, ce sont des techniques qui garantissent juste l'aspect formel de l'édifice, mais ne pas l'aspect structurel.*
3. *Le siège d'APC d'El Harrach nécessite une autre intervention avec des techniques beaucoup plus poussées à base d'un bon diagnostic qui va garantir la durabilité et la préservation de l'édifice dans ses deux aspects formel et structurel.*

5. Les objectifs :

Dans le cadre de la réhabilitation des édifices historiques afin de préserver notre patrimoine face aux risques sismiques. La recherche que nous avons l'intention de faire a comme objectifs :

- Analyser et évaluer les techniques de réhabilitation utilisées dans notre cas d'étude (siège d'APC d'El Harrach) vis-à-vis la durabilité de l'édifice et les normes de réhabilitation en zones sismiques.
- Intervenir à nouveaux sur cet édifice, tout on mettant en avant des opérations et des techniques plus adéquates en termes de durabilité et de résistance à l'effet sismiques.

6. Aspects méthodologique :

Afin d'atteindre notre objectif de recherche, la nature de notre thème d'étude nous dicte, de suivre deux approches.

Une approche exploratoire, où il s'agira d'effectuer une recherche théorique concernant notre thème de recherche : la bonne démarche à suivre dans une opération de réhabilitation et les différentes techniques utilisées à nos jours dans la réhabilitation du bâti ancien à valeurs patrimoniales.

Une approche pratique sur le terrain, elle consistera au moyen d'analyse à la base d'un relevé, observations directes et de constatations des différentes techniques qui lui ont été affectées, ainsi elle consistera une évaluation de ces techniques mises en places.

Afin d'aboutir à des bons résultats concernant l'approche pratique ainsi de vérifier les hypothèses supposées dans cette recherche, on s'est basé sur certaines techniques de collecte de données :

- **Analyse de documents** : certains documents sont des sources importantes d'informations utiles dont il est impératif de tenir compte.

- **Observation** : l'observation met en relation des faits et des concepts afin de tirer des conclusions qui permettent par la suite de construire la recherche et d'apporter des arguments.
- **Comparaison** : la comparaison permet de tirer des informations concernant les changements apportés.
- **Interviews** : des entrevues avec des habitants du quartier qu'ont vécus cette intervention, ces entrevues nous permettent de se mettre dans le contexte du sujet et d'apporter des éclaircissements.

7. Structure de mémoire :

Dans le but de répondre aux problèmes posés, on va structurer notre travail de recherche en deux parties avec cinq chapitres en tous, comme suit :

***PARTIE 1** : Une étude bibliographique (**partie théorique**) sur la méthodologie et les différentes techniques de réhabilitation utilisées dans les anciens édifices en zones sismiques.*

Chapitre 1 : Approche Conceptuelle. Définitions des concepts de catégorisation et de qualification du bâti ancien.

Chapitre 2 : Processus de réhabilitation et d'évaluation de la vulnérabilité du bâti Ancien.

Chapitre 3 : La méthodologie des opérations et des techniques de réhabilitation structurelle des édifices anciens construits en maçonneries situés dans des zones sismiques.

***PARTIE 2** : analyse et évaluation (**partie pratique**) du siège d'APC d'El Harrach et les techniques utilisées dans sa réhabilitation, et adaptation d'autres plus durables et plus adéquates en zones sismiques.*

Chapitre 4 : Analyse critique de l'état du siège d'APC d'El Harrach et des techniques utilisées dans la réhabilitation qu'il a subit.

Chapitre 5 : évaluation/Interprétation des résultats obtenus de l'analyse critique du siège d'APC d'El Harrach, et les solutions préconisées.

PREMIERE PARTIE : Une étude bibliographique (***partie théorique***) sur la méthodologie et les différentes techniques de réhabilitation utilisées dans les anciens édifices en zones sismiques.

Chapitre 1 : Approche Conceptuelle. Définitions des concepts de catégorisation et de qualification du bâti ancien

1. Introduction

Cette première partie de la recherche traitera divers concepts essentiels de notre champ d'étude sur le bâti ancien, à savoir ceux de catégorisation et de qualification.

Le concept étant « l'idée d'un objet conçu par l'esprit permettant d'organiser les perceptions et les connaissances ». Ainsi, dans ce présent chapitre il s'agira d'exposer, les définitions des concepts de catégorisation et de qualification du bâti et des modes d'interventions sur celui-ci. Celà en vue de préciser l'objet de notre étude afin de lever toute confusion possible entre les différents modes d'interventions sur le patrimoine bâti.

2. Monument

Le monument dans son sens le plus ancien est défini par Alois Riegl dans « le culte moderne des monuments » qu'il a rédigé en 1903 comme « une œuvre créée de la main de l'homme et édifiée dans le but précis de conserver toujours présent et vivant dans la conscience des générations futures le souvenir de telle action ou telle destinée ». (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

Grande construction ou sculpture destinée à rappeler le souvenir de quelqu'un ou de quelque chose. (Alain REY, Le Grand Robert)

3. Les monuments historiques

La reconnaissance du monument historique en tant que matière ne s'est faite qu'à partir du 19ème siècle.

Les monuments historiques sont « *les biens immeubles, construits ou non, privés ou relevant du domaine public, dont la protection et la conservation présentent du point de vue de l'histoire, de l'esthétique, de l'art ou de la tradition, une valeur nationale ou universelle* ». (Loi n°94-35 du 24 Février 1994).

4. Préservation des monuments

Les monuments sont devenus la mémoire collective des sociétés qui s'acharnent d'y trouver le remède à leurs villes qui depuis le XXème siècle a perdu tous ses repères. Pour cela, aujourd'hui on opte toujours à une préservation de ces monuments.

5. Conservation

Si on admet les différents aspects d'un monument, l'enjeu et l'intérêt majeur de la conservation et d'assurer la pérennité des biens culturels. A condition que les moyens mis en œuvre dans ce but n'altèrent pas la nature de ces biens, ni celles des matériaux qui les constituent.

« La conservation est l'ensemble des processus qui permettent de traiter un lieu ou un bien patrimonial afin de lui maintenir sa valeur culturelle ». (Youcef Tani Khadidja, 2012-2013)

Conférence de NARA, 1994 : « Ensemble d'opérations visant à comprendre une œuvre, à connaître son histoire et sa signification, à assurer sa sauvegarde matérielle et, éventuellement, sa restauration et sa mise en valeur ».

Charte de Cracovie, 2000 : « La conservation est l'ensemble des comportements d'une communauté qui contribuent à faire perdurer le patrimoine et ses monuments. La conservation est obtenue en se référant à la signification de l'entité, avec les valeurs qui lui sont associées ».

C'est aussi un ensemble de doctrines, de techniques et de moyens matériels et propres à perpétuer l'existence des monuments, en vue de les maintenir matériellement dans leurs dispositions architecturales d'usage, avec une évaluation adéquate des modifications réalisées dans le temps. (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

On peut distinguer deux modes d'action pour la conservation (Fédération française des conservateurs restaurateurs) :

1. La conservation préventive : elle consiste à agir indirectement sur le bien culturel, afin d'en retarder la détérioration ou d'en prévenir les risques d'altérations.

2. La conservation curative : elle consiste à intervenir directement sur le bien culturel, dans le but d'en retarder l'altération.

6. La conservation-restauration

Mesures et actions ayant pour objectif la sauvegarde du patrimoine culturel, dans le respect de son intérêt patrimonial, tout en garantissant son accessibilité aux générations présentes et futures.

ICOM-CC New-Delhi, 2008 : « L'ensemble des mesures et actions ayant pour objectif la sauvegarde du patrimoine culturel matériel, tout en garantissant son accessibilité aux générations présentes et futures. La conservation-restauration comprend la conservation préventive, la conservation curative et la restauration. Toutes ces mesures et actions doivent respecter la signification et les propriétés physiques des biens culturels ».

Suite aux deux modes précédents de la conservation on rajoute un troisième qui est :

3. La restauration : elle consiste à intervenir directement sur des biens culturels endommagés ou détériorés dans le but d'en faciliter la lecture, tout en respectant autant que possible leur intégralité esthétique, historique et physique.

7. Restauration

Une restauration est une intervention sur une œuvre d'art, ou plus généralement sur un objet détérioré, auquel est attribuée une certaine valeur et qui mérite donc d'être préservé. La nature des objets concernés, produits de civilisations humaines, implique que ces interventions se fassent dans le respect de ces objets, sans quoi c'est leur valeur qui est perdue. On en tire la nécessité d'une théorie, c'est-à-dire d'un ensemble de principes organisés qui définit une bonne restauration. (LAURENT Antoine, mars 2005)

La restauration du patrimoine se conçoit comme une intervention directe sur une œuvre, un objet dont les qualités et les valeurs justifient cette intervention dans le but de sauvegarder l'œuvre et transmettre au futur la jouissance qu'elle procure. (LAURENT Antoine, mars 2005)

De l'étymologie latine, Restauratio, qui désigne : renouvellement, réfection.

- C'est l'action de restaurer, réparer, remettre la chose en bon état premier.
- Rétablir en son état ancien ou en sa forme première.
- Réparer en respectant l'état primitif, le style. (Petit Larousse illustré, 1983)
- Le dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, définit la restauration comme une : « opération qui consiste à rendre, au moyen de techniques appropriées, leurs intégrité à toutes les parties l'ayant perdue, d'une œuvre d'art et en particulier, d'un édifice ou d'un ensemble d'édifices ». (P. Merlin & F.Choay, 2009)
 - « La restauration est l'opération qui vise à rétablir dans l'état initial une construction ou un ensemble de constructions ». (charte de Venise, 1964)
 - « La restauration est une opération qui doit garder un caractère exceptionnel. Elle a pour but de conserver et de révéler les valeurs esthétiques et historiques du monument et se fonde sur le respect de la substance ancienne et de documents authentiques. Elle s'arrête là où commence l'hypothèse, sur le plan des reconstitutions conjecturales, tout travail de complément reconnu indispensable pour raisons esthétiques ou techniques relève de la composition architecturale et portera la marque de notre temps. La restauration sera toujours précédée et accompagnée d'une étude archéologique et historique du monument».

En ce qui nous concerne, on retiendra pour notre étude que la restauration est une opération qui se caractérise par une mise en valeur en général d'immeubles ou groupes d'immeubles présentant un intérêt architectural ou artistique. « Les éléments destinés à remplacer les parties manquantes doivent s'intégrer harmonieusement à l'ensemble, tout en se distinguant des parties originales, afin que la restauration ne falsifie pas le document d'art et d'histoire ». (Petit Larousse illustré, 1983)

8. Réhabilitation

Interventions sur un bien immobilier afin de lui restituer une fonctionnalité antérieure présumée, de l'adapter à une fonction différente ou à des normes de confort, de sécurité et d'accès. NOTE 1 : Il convient de fonder la réhabilitation sur des preuves évaluées, en prenant en compte l'intérêt patrimonial.

NOTE 2 : En général, la réhabilitation n'est pas une activité de conservation-restauration, mais peut impliquer des actions de conservation-restauration.

- **NB** : d'après cette définition on conclut qu'un projet de réhabilitation peut toucher à l'action de conservation-restauration notamment lorsqu'il s'agit d'un édifice patrimonial.

Le terme de réhabilitation est aussi défini, comme l'action d'améliorer un édifice en conservant sa fonction principale, cela en précisant que le terme s'emploie aussi bien, pour des modifications légères, que pour des restructurations lourdes et n'excluant pas l'adjonction d'une partie neuve. (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

Enfin, une tierce définition consultée présente la réhabilitation, par l'amélioration des bâtiments, pouvant se réaliser par des travaux de réparation, d'aménagement et de transformation dans le bâtiment. (ANAH, 1989)

Les niveaux de la réhabilitation (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013) :

Quatre niveaux de réhabilitation sont distingués selon le rapport SIMON NORA de 1975 en France :

- Réhabilitation légère :

Elle consiste en l'installation d'un équipement sanitaire complet avec salle d'eau (y compris les canalisations, l'électricité et les peintures accompagnant ces agencements).

Elle ne comporte pas de travaux sur les parties communes de l'immeuble, ni l'installation d'un chauffage central.

- Réhabilitation moyenne :

En plus de l'installation d'un équipement sanitaire cité plus haut, la réhabilitation moyenne implique des travaux plus complets, concernant les parties privatives de l'immeuble à l'intérieur des logements, comme :

- la réfection de l'électricité et des peintures ;

- l'ajout du chauffage central ou électrique avec amélioration de l'isolation thermique et changement des fenêtres.

En règle générale, les distributions intérieures du logement et les cloisonnements ne sont pas modifiés sur les parties communes de l'immeuble, des travaux légers sont entrepris, tels que, peinture des cages d'escalier et ravalement des façades sans reprise des toitures.

- Réhabilitation lourde :

En plus des travaux décrits ci-dessus, il est prévu une redistribution des pièces dans le logement par modification ou suppression de cloisons ou une redistribution des logements, étage par étage.

L'intervention est beaucoup plus complète sur les parties communes de l'immeuble ainsi :

- réfection des façades avec amélioration (isolation par l'extérieur par exemple) ;

- réfection des toitures (couvertures et toitures, terrasses).

- Réhabilitation exceptionnelle :

Cette opération est préconisée dans le cas où les désordres ou l'état de la structure menace, l'intégrité et la stabilité de l'ouvrage, alors, on reprend les structures, voire les fondations avec renforcement éventuel.

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

Les enjeux de la réhabilitation (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013) :

- L'enjeu social

- L'enjeu économique

- L'enjeu patrimonial :

La décision de réhabiliter peut être aussi emportée, pour des raisons patrimoniales, ainsi, la valeur patrimoniale d'un bâtiment (au sens culturel, qui comprend l'ancienneté, la rareté et la beauté), ou son appartenance à un ensemble dont la cohérence doit être conservée, peuvent être des critères plaidant pour sa réhabilitation.

- L'enjeu environnemental

La réhabilitation d'un bâti existant peut encore se décider par rapport à un enjeu environnemental, et cela dans le but de respecter l'impératif environnemental de réduction des émissions de CO₂ .

A vrai dire, cet enjeu est conforté à plus d'un titre par le fait, que ce but écologique de réduction des émissions de gaz, est recommandé à se porter en priorité sur le parc bâti existant, avant même l'intégration des sources d'énergies renouvelables dans les nouvelles constructions.

9. Consolidation

La consolidation, constitue un aspect technique, elle vise particulièrement la solidité de la structure, de l'organisme architectural et de ses composantes matérielles.

Cette dernière consiste en l'intervention qui introduit des changements et de nouveaux ensembles structurels aptes à produire une modification substantielle du modèle de comportement dans le cadre de modification fonctionnelle comportant des charges de fonctionnement ainsi que des standards de sécurité compatibles avec la structure existante. (Youcef Tani Khadidja, 2012-2013)

Dans le cadre particulier de la consolidation, les choix seront guidés dans l'intention de minimiser le malaise de l'édifice en lui assurant :

- Une intervention minimum.
- La compatibilité physique et chimique.
- La durabilité de l'intervention.
- La réversibilité de l'opération.
- La distinction entre l'ancien et le nouveau.
- L'authenticité de l'édifice traité.

Ceci dans le respect des valeurs historiques et artistiques de l'édifice.

L'idéal dans ce contexte est de réparer l'élément d'origine, mais la nécessité d'assurer la stabilité de l'édifice nous oblige parfois à opter pour un remplacement d'élément structurel d'origine par des technologies novatrices (béton armé, fer,...). Ces nouveaux éléments doivent être mis en évidence pour que la consolidation de la typologie et des matériaux ne constitue pas une falsification mais uniquement un choix d'intervention nécessaire. (Youcef Tani Khadidja, 2012-2013)

10. Renforcement

Le renforcement, appelé également « confortement préventif », est la stratégie la plus traditionnelle et la plus fréquente lors de la réhabilitation parasismique d'un bâtiment, auquel il confère une meilleure résistance mécanique. (ATTARIN, Juin 2015)

Le renforcement peut comporter les opérations suivantes :

- Redimensionnement, consolidation ou remplacement d'éléments structuraux ;
- Ancrage efficace des éléments de contreventement horizontal et vertical (ce qui implique la création de chaînages dans les maçonneries qui en sont dépourvues) ;

- Création d'un nouveau système de contreventement couplé à la structure existante ;
- Renforcement et liaisonnement des fondations ;
- Traitement du sol d'assise.

11. Conclusion

La présentation de ce chapitre nous a permis d'élucider les données théoriques qui se rapportent à notre champ de recherche, et de mettre en valeur certains points par rapports à notre recherche.

En revanche, un monument historique ou un bâti désigné comme monument historique, s'agissant d'une grande création architecturale ou d'un bâtiment modeste au cas où son état nécessite une intervention, ne peut aucunement se contenter d'une réhabilitation. Il doit être accompagnée d'une opération de restauration.

Ce chapitre nous a révélé surtout que l'intérêt principal de notre recherche est l'étude du bâti ancien réhabilité et les techniques mises en place dans le but de le **préserver** sur la base d'un **renforcement** et d'une **consolidation conservatoire**.

Chapitre 2 : Processus de réhabilitation et d'évaluation de la
vulnérabilité du bâti Ancien.

1. Introduction :

Suite aux dégâts et aux problèmes posés aux niveaux du bâti ancien, ces dernières décennies avec l'arrivée des catastrophes naturelles alternées, tout le monde pense à la préservation de leurs patrimoines. ceux-ci bâtis selon différentes opérations d'interventions notamment la réhabilitation. Avec l'apparition des nouveaux matériaux tels l'acier, le verre et le béton et la généralisation de leur usage dans la construction dès le début du 20ème siècle. Cela dit, la méthode à adopter dans une intervention pareille (opération de réhabilitation avec les nouveaux matériaux), doit être ordonnée selon une démarche logique, allant de la simple observation visuelle des désordres jusqu'au diagnostic détaillé, qui fixe les travaux de réhabilitation à mener et élabore leur suivi pendant et après l'exécution.

A cet effet, nous nous attèlerons dans ce chapitre, à présenter deux méthodes d'évaluation sismique reconnues par leurs démarches (**FEMA** et **AFPS**) qui visent à assurer la résistance de l'édifice face aux risques sismiques. Ainsi on va présenter une méthode de réhabilitation du bâti ancien avec toutes ses étapes (**méthode Rehabimed**).

2. Diagnostic de la vulnérabilité du bâti ancien :

Dans une intervention sur n'importe quel projet, nous devons suivre une démarche tout en se basant sur un diagnostic qui convient à cette opération donnée. Chaque intervention faite dans une zone sismique demande une évaluation plus approfondie face à ce risque.

De ce fait, dans ce présent point nous présenterons deux méthodes d'évaluation sismique **FEMA** et **AFPS** et une méthode de réhabilitation **Rehabimed**.

2.1. Présentation de méthodes d'évaluation sismique

2.1.1. Méthode FEMA

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

La méthode FEMA, permet d'évaluer la vulnérabilité de l'édifice à l'aide d'une grille structurée par un enchaînement d'étapes. (Figure 2.1)

Ainsi, cette méthode donne le degré de dommage des différentes échelles de vulnérabilité sismique pour une structure en maçonnerie et autre en béton armé. (Figure 2.2)

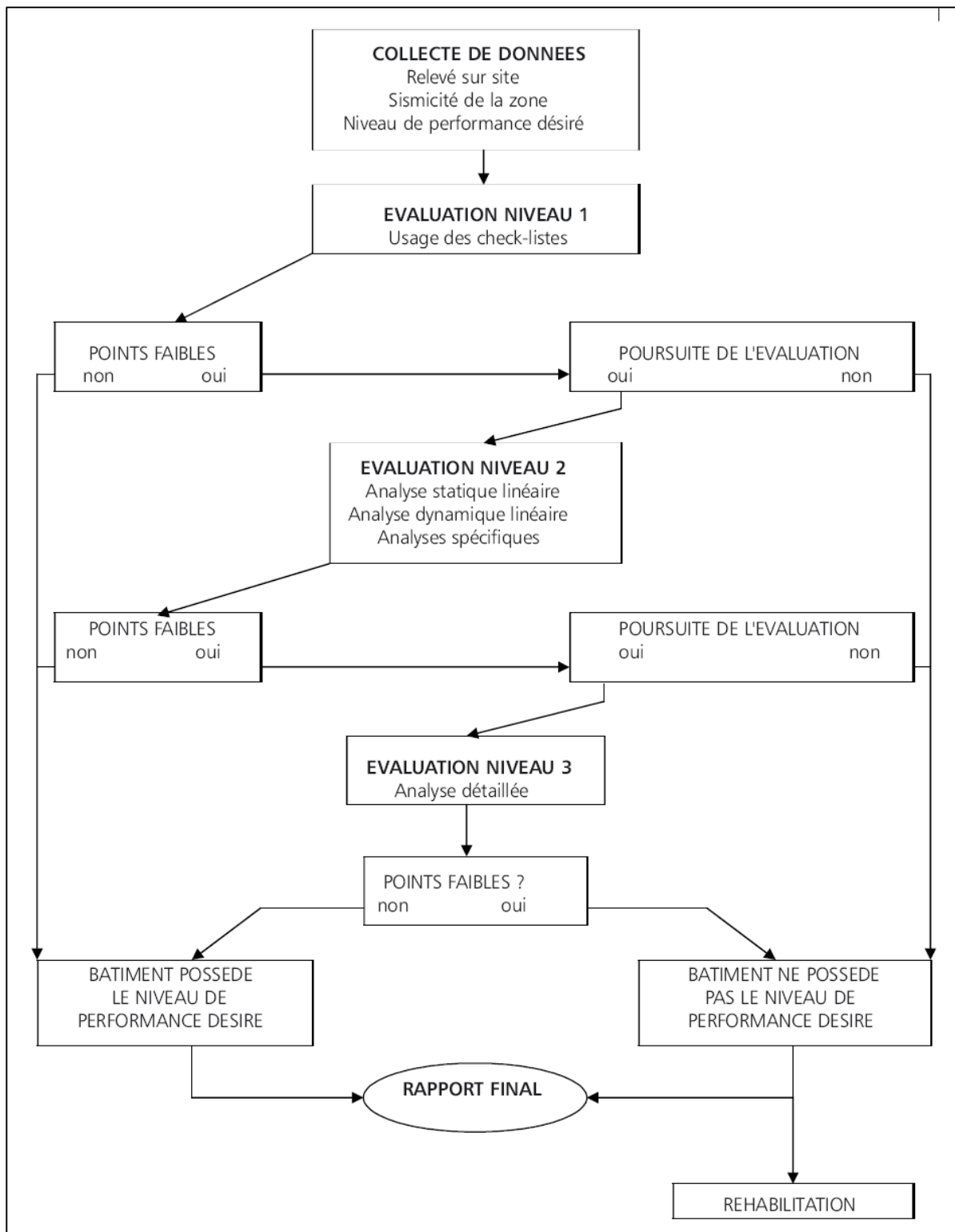


Figure 2.1 : grille d'évaluation de la vulnérabilité sismique, méthode FEMA

Source : ATTARI N, 2015

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

Figure 2.2 : les dommages causés par les différentes échelles de vulnérabilité

Source : Ibid.

2.1.2. Méthode AFPS

AFPS est une Association Française du Génie Parasismique qui s'intéresse à définir une méthode d'évaluation quantitative du Risque Sismique. Cette évaluation qualitative de la présomption de vulnérabilité est faite à l'aide d'un tableau d'évaluation, dans lequel une cote (coefficient de pénalité) est attribuée aux divers facteurs de vulnérabilité (Tableau 2.1) (CETE & brgm, 2008). Ces cotes permettent de calculer un coefficient K variant de 0 à 100. Selon la valeur de ce coefficient K, on conclut sur une présomption de :

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

EVALUATION QUALITATIVE DE LA PRESOMPTION DE VULNERABILITE

Propriétaire du bâtiment :

Dénomination et adresse du bâtiment :

Année de construction :

Date de diagnostic :

Auteur de diagnostic :

	1 Pente générale du terrain > 40 % 5		2 Proximité d'un changement de pente D < 2H du bâtiment 15		Observations			
B Environnement du bâtiment	1 Bâtiments accolés : joint = 0 ou rempli d'un matériau 25		2 Joints entre blocs adjacents < 2 cm 2 à 4 cm > 4 cm 25 10 5					
C Type de structure	1 Murs en maçonnerie de blocs 15	2 Murs en béton non armé 10	3 Murs en béton armé 5	4 Ossature poteaux-poutres sans remplissage 20	5 Ossature poteaux-poutres avec remplissage 25	6 Système mixte murs en maçonnerie et ossature 20	7 Panneaux de façade BA préfabriqués porteurs 10	8 Ossature BA préfabriquée porteuse 50
D Forme en plan	1 Irrégulière 5		2 Elancement en plan L/l>4 5		3 Parties saillantes ou rentrantes 5			

E	Forme en élévation	1 Etages en encorbellement > 2 m 15	2 Retrait en façade >40 % 20	3 Planchers d'un même étage situés à des hauteurs différentes 10	4 Présence d'un plancher lourd ou d'une toiture lourde 10	5 Absence de diaphragme horizontal en toiture 20	
F	Contreventement	1 Variation verticale croissante des rigidités 0 à 100 (voir formule 1)		2 Dissymétrie : torsion faible : 5 accusée : 50	3 Absence de contreventement dans le sens des x ou y 100	4 Densité de voiles de contreventement sens x ou y 0 à 100 (voir formule 2)	
G	Zones ou éléments	1 Descente de charge en baïonnette 25	2 Présence de poteaux courts ou partiellement bridés participant au contreventement 50	3 Présence de poteaux élancés 10	4 Percements inserts dans les poteaux $e>d/3$ 25	5 Percements inserts dans les poutres $e>d/3$ 10	6 Percements inserts dans les nœuds $e>d/3$ 50
	critiques	7 Présence d'un angle de façade affaibli 15	8 Axes poteaux et poutres non concourants $e>c/2$ 10	9 Diaphragmes horizontaux avec grandes ouvertures $s>10\%S$ 10	10 Absence de chaînages encadrant les murs de contreventement en MAC verticaux : 25 horizontaux : 75		
H	Divers	1 Etat de conservation du gros œuvre médiocre : 10 mauvais : 25	2 Risque de chute d'éléments non structuraux 5		3 Façade BA préfabriquée non porteuse 10		
Total des pénalités							

Tableau 2.1 : tableau d'évaluation de la vulnérabilité sismique, méthode AFPS
Source : (CETE & brgm, 2008)

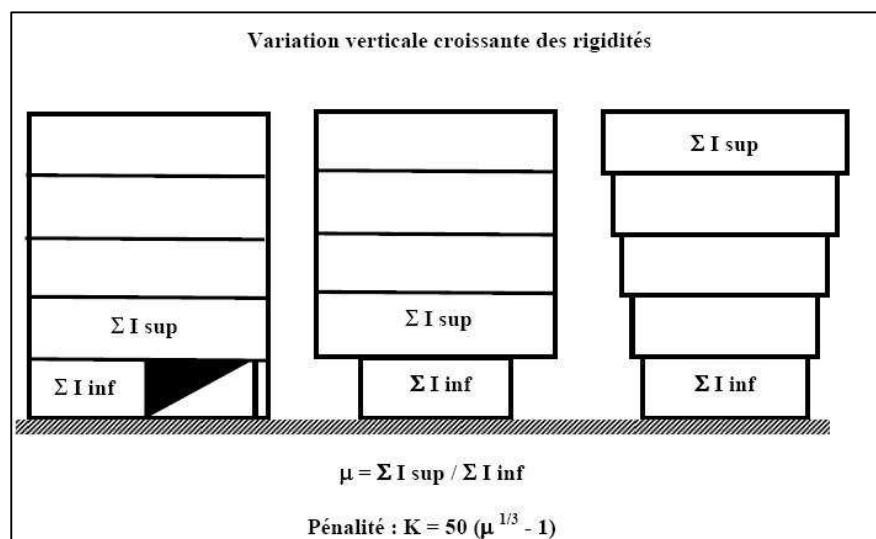
- **Formule 1** $K = 50 (\mu^{1/3} - 1)$ avec $\mu = \Sigma I \text{ supérieur} / \Sigma I \text{ inférieur}$
- **Formule 2** $K = 25 (1000 \lambda - 5)^2 / 4$ avec $\lambda = \Sigma I / S H$

Avec :

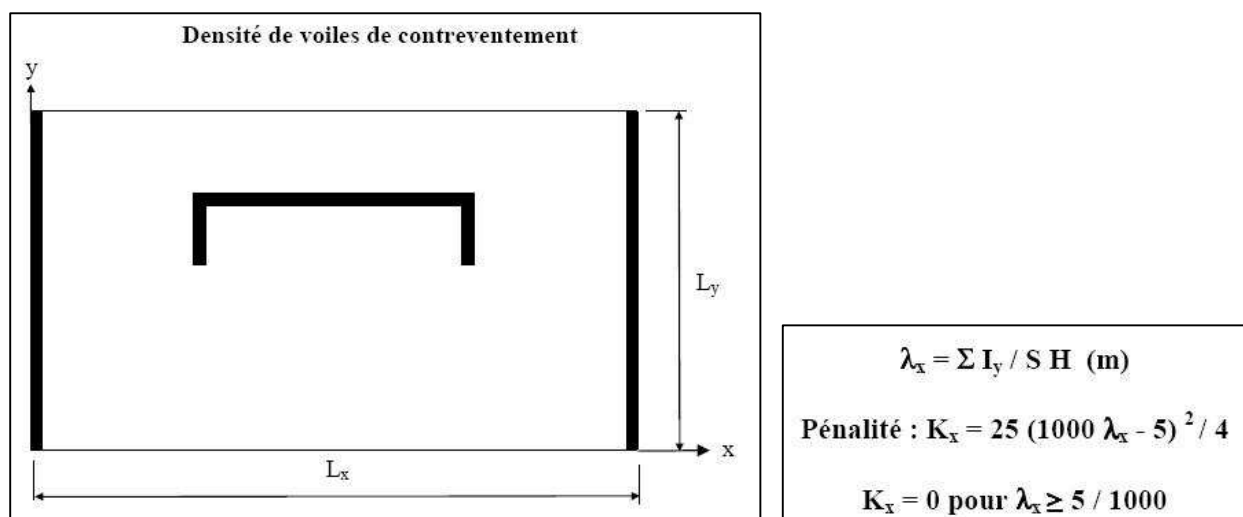
ΣI = somme des inerties des segments de voiles dans la direction de calcul (m^4)

S = surface du plancher courant (m^2)

H = hauteur totale du bâtiment (m)



Source : (CETE & brgm, 2008)



Source : (CETE & brgm, 2008)

Les pénalités des cases F1 et F4 sont calculées par les formules 1 et 2 données en pied de la grille d'évaluation.

Si le total des pénalités est obtenu sans qu'interviennent celles des cases C8, F1, F2, F3, F4, G2, G6, G10, la présomption de vulnérabilité peut être décalée au cran inférieur.

Lorsque le score de la case F1 est au moins de 100, il y a redondance avec celui de la case F3 : dans ce cas, les deux pénalités ne se cumulent pas.

Lorsque le total des pénalités dépasse 50, il y a lieu de procéder à une analyse sismique du bâtiment, par toute méthode scientifiquement établie et validée par l'expérience. (CETE & brgm, 2008)

Dans le cas contraire, on peut se dispenser de procéder à une telle analyse, et conclure directement sur la présomption de vulnérabilité. (CETE & brgm, 2008)

2.2. Présentation de la méthode de réhabilitation RehabiMed (CASANOVA Xavier, 2007)

La méthode Rehabimed est parmi les initiatives qui sont destinées à la récupération du patrimoine construit. Cette méthode se consacre à un patrimoine plus modeste, plus abondant et plus présent territorialement, tel que l'architecture traditionnelle des centres historiques des villes et des villages ruraux, ou celle que l'on trouve de forme plus dispersée sur l'ensemble du territoire.

L'objectif de RehabiMed est de renforcer l'activité de réhabilitation et d'entretien de l'architecture traditionnelle méditerranéenne, comme facteur de développement durable (social, économique et environnemental). Atteindre cet objectif permettra d'avancer par rapport à deux défis historiques qui pourraient sembler opposés mais qui sont, de notre point de vue, parfaitement compatibles et complémentaires : d'un côté, on contribue à améliorer les conditions de vie des

habitants, qui sont ceux qui donnent du sens et de la vie à ce patrimoine ; de l'autre, on contribue à la préservation de l'identité historique et culturelle des peuples méditerranéens.

Cette méthode se développe sous un processus basé sur plusieurs étapes dans la réhabilitation d'un patrimoine bâti. (Figure 2.3)

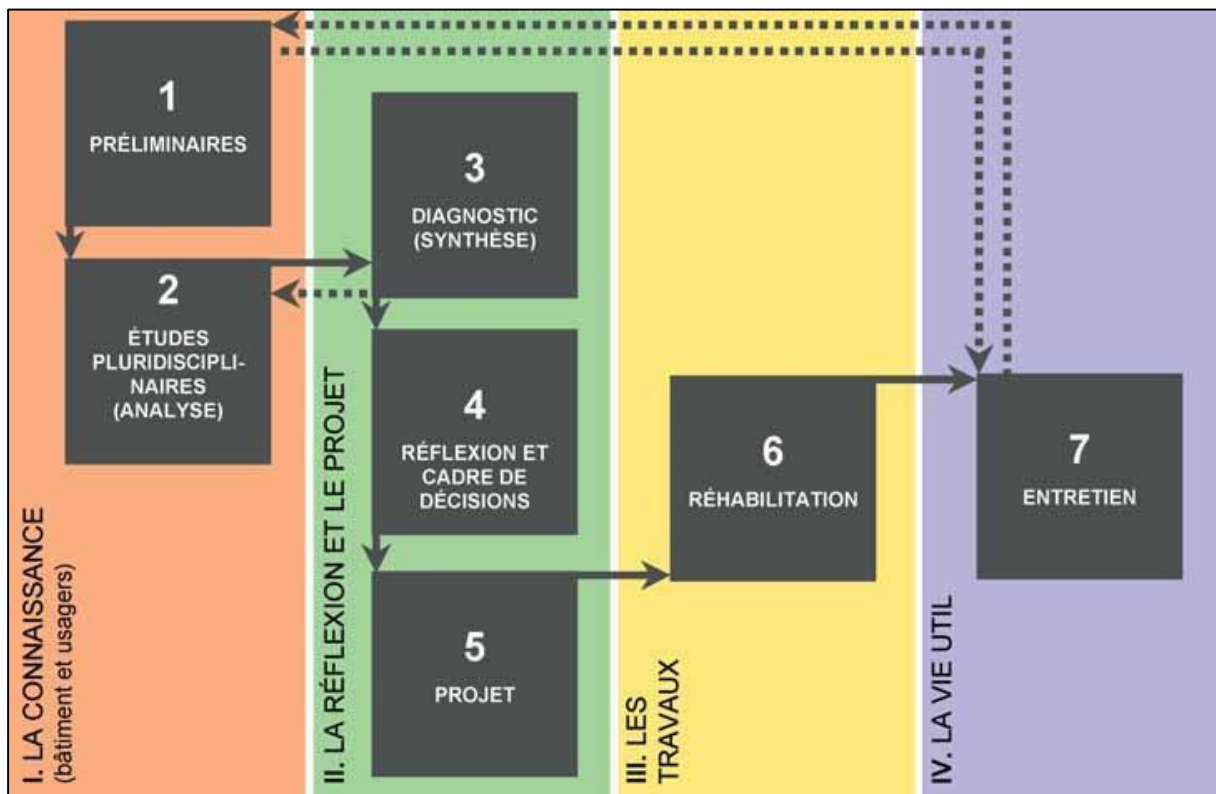


Figure 2.3 : Organigramme du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien

Source : CASANOVA Xavier (dir), Méthode RéhabiMed, 2007.

Chaque partie de processus présenté ci-dessus, à un rôle, objectif très intéressant. Comme suit (AIT HAMOUDA Ibrahim. 2012-2013) :

Étape 1 : Cette première étape englobe tous les contacts nécessaires, pour entamer un processus de réhabilitation d'un bâtiment, depuis le moment où le client ou le maître de l'ouvrage l'a décidée.

Étape 2 : Cette étape du processus consiste en un recueil d'informations dans tous les domaines, que l'on considère nécessaires, pour parvenir à une connaissance profonde du bâtiment objet de l'étude.

Étape 3 : L'étape 3 de diagnostic consiste à faire, la synthèse conjuguée à une réflexion critique des études pluridisciplinaires préalablement établies au cours de l'étape 2 de ce processus.

Étape 4 : C'est à ce moment, après la connaissance du bâtiment et de ses usagers, que l'on vérifiera la faisabilité des idées du maître de l'ouvrage ou du client, cela permettra en cette étape, d'arrêter le type de réhabilitation à mener sur le bâtiment.

Étape 5 : La présente étape du processus est dédiée à la mise en œuvre du projet de réhabilitation du bâtiment.

Etape 6 : Dans cette étape nous trouvons le processus de giration des différentes taches de travaux de réhabilitation réalisés.

Etape 7 : Cette étape nous figure les actions à mener dans l'entretien final de tout le processus.

2.3. Les étapes à suivre dans la Réhabilitation du bâti Ancien (Méthode Rehabimed) (Rehabimed-UE)

Dans cette présente recherche, nous avons choisi de présenter les étapes à suivre de la méthode "RéhabiMed" pour plusieurs raisons :

- La méthode "RéhabiMed" part du principe de base «que si l'on ne connaît pas, on ne peut pas réfléchir et que, par conséquent, on ne peut pas réhabiliter», d'où la structure de la méthode d'intervention en quatre moments, la connaissance, la réflexion et le projet, les travaux et la vie utile ;
- La méthode "RéhabiMed" se veut "scientifique", "objective", et "précise" donnant une grande importance aux premières phases du diagnostic et de réflexion préalables au projet de réhabilitation ;
- Contrairement aux autres méthodes, la méthode "RéhabiMed" accorde un grand intérêt à la connaissance du bâtiment à réhabiliter et à ses circonstances ;
- Elle se distingue par l'intégration dans sa démarche du contrôle économique des travaux de réhabilitation peu présent dans d'autres méthodes d'intervention ;
- Elle apprécie les performances des nouvelles technologies et l'efficacité des pratiques constructives anciennes ;
- Elle favorise le maintien du maximum des valeurs qui caractérisent le bâtiment à réhabiliter.

Pour toutes ces raisons on va présenter les différentes étapes une par une :

2.3.1. Etape 1 : Préliminaires (Rehabimed-UE)

Cette étape s'articule autour de ce qu'on appelle le pré-diagnostic, phase d'orientation objective du maître de l'ouvrage. Ladite étape est explicitée par la (figure 2.4) qui suit :

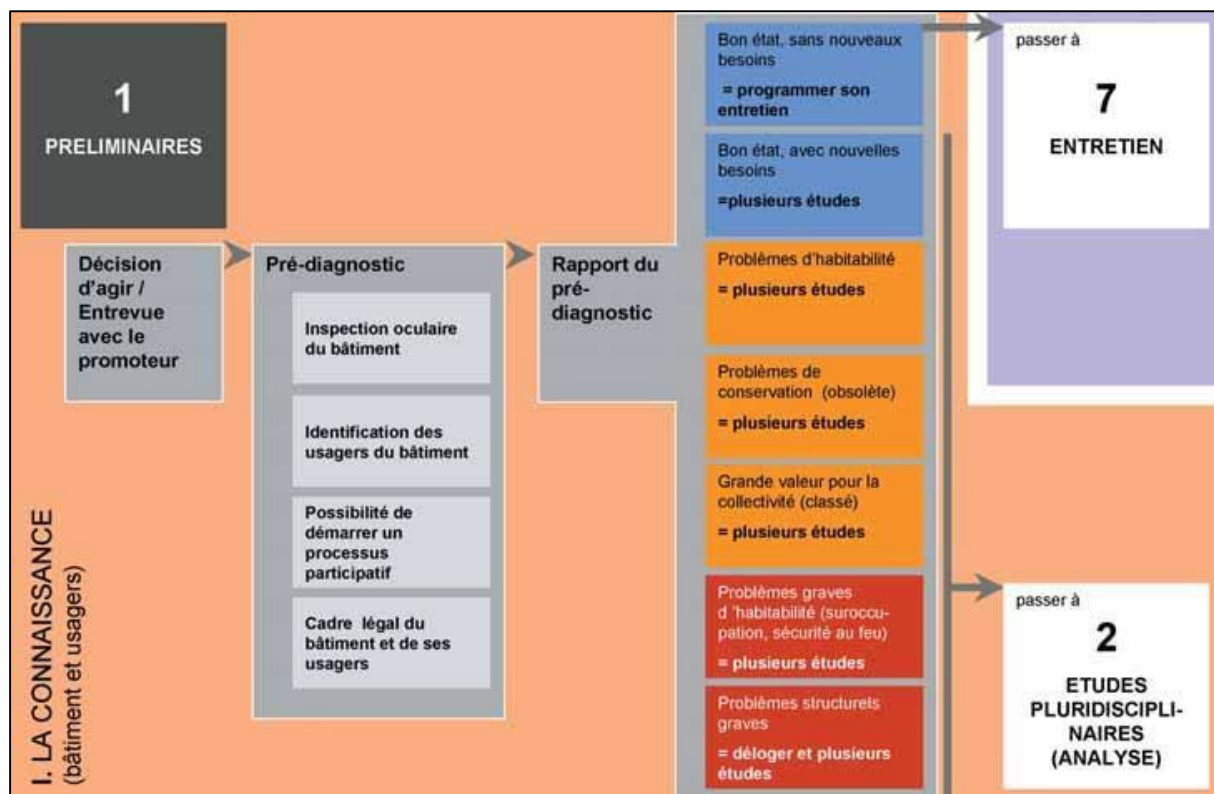


Figure 2.4 : Organigramme de l'étape 1 (Préliminaires) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.

Source : Ibid.

Décision d'agir/Entrevue avec le maître de l'ouvrage :

C'est le moment du dialogue ouvert entre le maître de l'ouvrage et l'architecte/ingénieur. Ce dernier doit identifier les besoins et les désirs du maître de l'ouvrage, et il doit détecter les possibilités de développement de son idée. Ainsi, l'architecte/ingénieur doit démontrer au maître de l'ouvrage qu'il est capable de l'orienter tout le long.

Pré-diagnostic :

Le pré-diagnostic est le point clé de cette première étape, il implique une première approche globale du bâtiment, de ses valeurs (architecturales, historiques,...etc.) et de ses problèmes (qu'ils soient constructifs, d'habitabilités,...etc.) grâce à une première inspection du bâtiment qui touche les tâches suivantes :

- Inspection oculaire du bâtiment et identification des usagers du bâtiment ;
- Vérification de la possibilité de démarrer un processus participatif ;
- Identification du cadre légal du bâtiment et de ses usagers.

Rapport du pré-diagnostic :

Après la première inspection élaborée, le rapport de pré-diagnostic recommande au maître de l'ouvrage, un type de traitement pour le bâtiment candidat à la réhabilitation.

2.3.2. Etape 2 : Etudes pluridisciplinaires (analyse) (Rehabimed-UE)

La propre expérience de l'architecte/ingénieur n'est pas suffisante, ainsi, il est nécessaire d'envisager la consultation de divers spécialistes, comme suit (Figure 2.5) :

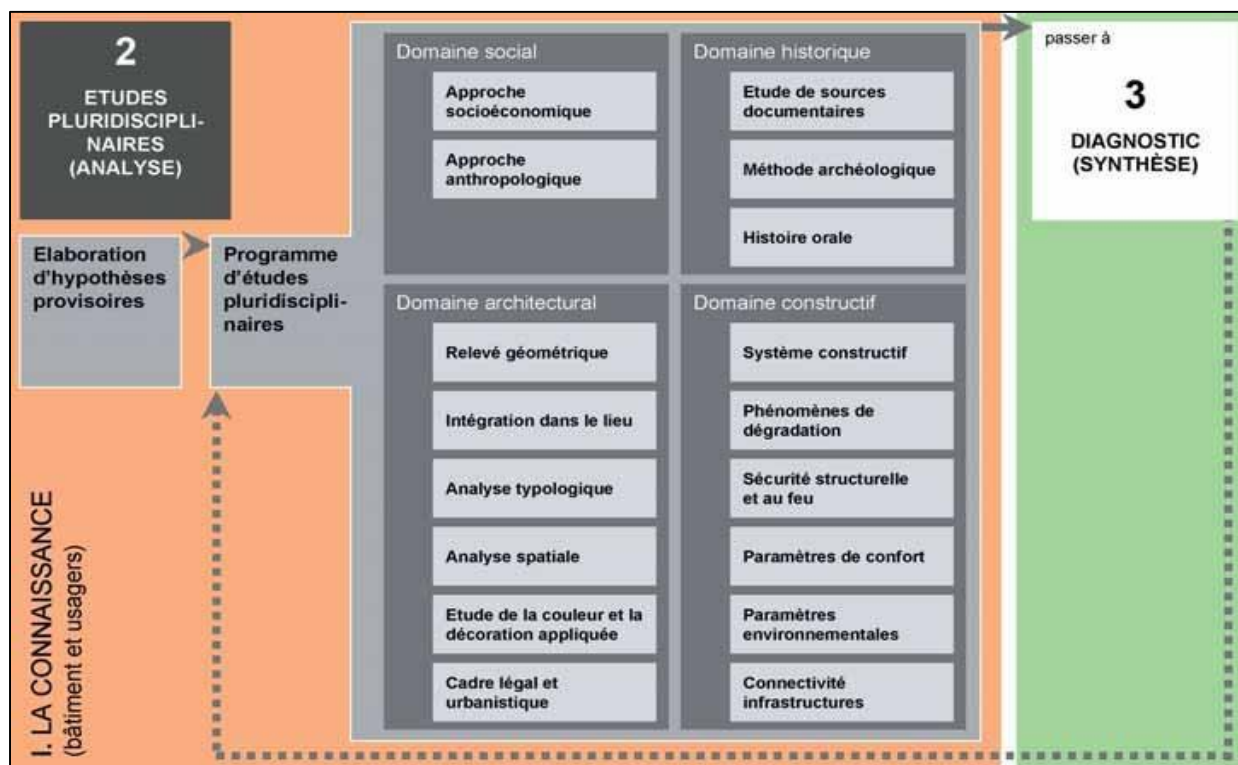


Figure 2.5 : Organigramme de l'étape 2 (Études pluridisciplinaires) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.

Source : Ibid.

Elaboration d'hypothèses provisoires :

Suit à la base des renseignements recueillis dans le rapport de pré-diagnostic, il est souhaitable de se fixer des objectifs et d'émettre des hypothèses qui seront confirmées ou infirmées dans les différentes études à mener.

Programme d'études pluridisciplinaires :

A partir des hypothèses qu'on émettra, on planifiera une campagne d'études qu'on jugera nécessaire à la connaissance profonde du bâtiment. Cela, il va être par l'étude de plusieurs domaines :

a. Domaine social :

- Approche socioéconomique : La base de cette étude est en général une enquête sociologique, qui permet de détecter les unités familiales, ainsi que les possibles situations problématiques (entassement, marginalisation, chômage, abandon,... etc.) et leur relation avec le quartier.
- Approche anthropologique : Dans le cas de la réhabilitation de l'architecture traditionnelle, l'anthropologie peut permettre d'obtenir de précieux renseignements, quand à la signification sociale de la maison, l'usage des espaces, les coutumes,... etc.

b. Domaine historique :

Il est nécessaire d'effectuer des études historiques sur le bâtiment à réhabiliter, cela permettra d'approfondir sa connaissance et aidera à fixer des critères d'intervention beaucoup plus fondés. Pour ce faire, les études suivantes sont à effectuer :

- L'étude des sources documentaires
- L'étude par la méthode archéologique
- Histoire orale

c. Domaine architectural :

Diverses études d'ordre architectural s'imposent dans un processus de réhabilitation d'un bâtiment ancien et cela pour parfaire sa connaissance, à cet effet, il est nécessaire de réaliser les travaux suivant :

- Un relevé géométrique précis et dessin du bâtiment ;
- Un reportage photographique voir vidéographique du bâtiment ;
- Une étude sur l'intégration dans le lieu du bâtiment (étude des valeurs architecturales du bâtiment et de son environnement) ;
- Analyse typologique du bâtiment ;
- Analyse spatiale du bâtiment ;
- Prendre connaissance du cadre ou statut légal et urbanistique du bâtiment.

d. Domaine constructif :

Cette étape comprend la reconnaissance physico-constructive de tous les éléments du bâtiment, ainsi que l'observation de ses lésions, on aura donc, à identifier et à approcher les éléments suivants :

- Le système constructif
- Les phénomènes de dégradation
- La sécurité structurelle et au feu
- Les paramètres de confort
- Les paramètres environnementaux
- Connectivité du bâtiment (état et position) avec les infrastructures

2.3.3. Etape 3 : Diagnostic (synthèse) (Rehabimed-UE)

Cette étape de diagnostic est achevée, par la rédaction d'un rapport d'expertise ou de diagnostic du bâtiment à réhabiliter. Ladite étape est illustrée par la figure ci-dessous. (Figure 2.6)

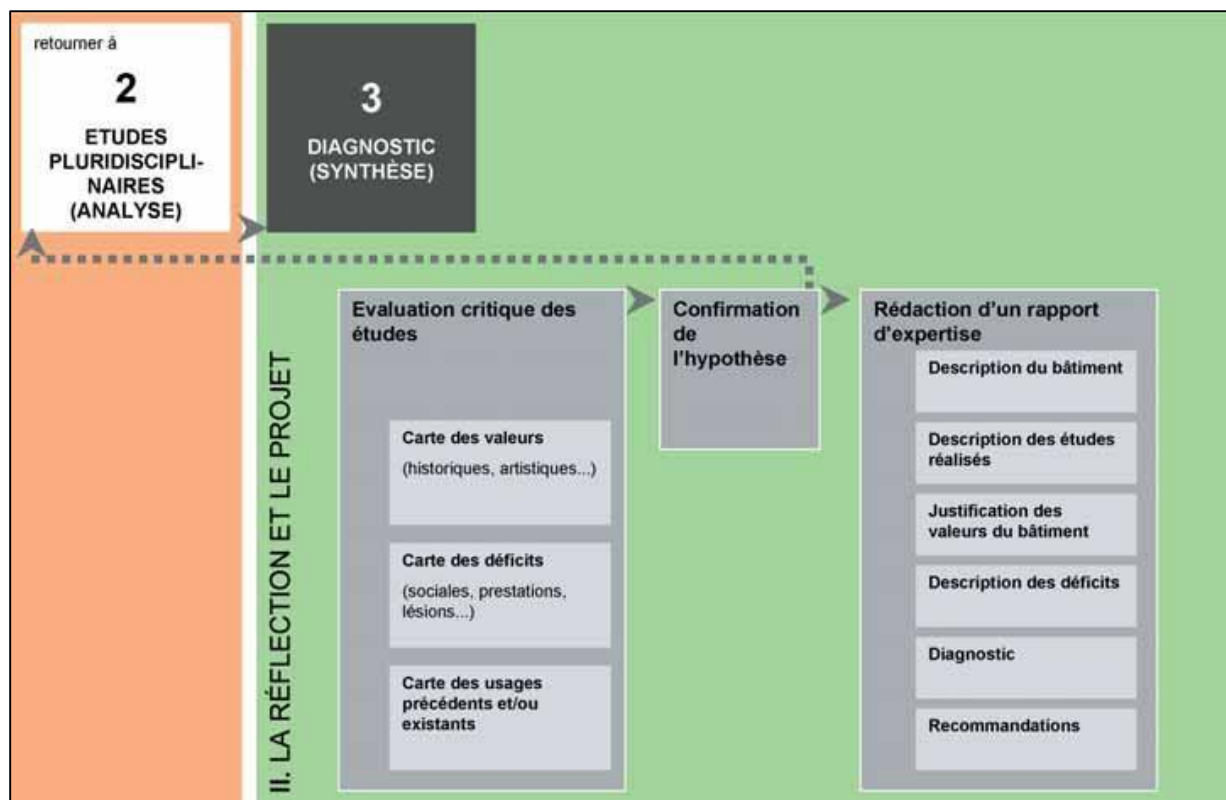


Figure 2.6 : Organigramme de l'étape 3 (Diagnostic) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien

Source : Ibid.

Evaluation critique des études :

Au cours de cette étape de diagnostic, on doit réunir toutes les informations recueillies d'une manière ordonnée, afin de réaliser un diagnostic précis, pour cela, il est recommandé de fixer graphiquement les informations sur le relevé géométrique du bâtiment (par étage, par élévation, en section) en créant trois types de carte :

a. Carte des valeurs :

En premier lieu, on établira une carte des valeurs, sur laquelle, on notera les valeurs spéciales, de couleur, historique, artistiques de chaque partie ou de l'ensemble du bâtiment.

b. Carte des déficits :

En deuxième lieu, une carte des déficits, sur laquelle, on notera la problématique sociale, le niveau de performance du bâtiment ainsi que les lésions et les dégradations.

c. Carte des usages précédents et/ou existants :

Sur cette carte on montrera, comment a été utilisé et comment est encore utilisé le bâtiment avant l'intervention.

Confirmation de l'hypothèse :

Après l'évaluation critique des études effectuées, on devra vérifier les hypothèses émises pendant l'étape 2 des études pluridisciplinaires du processus.

Toutefois, il est toujours possible d'émettre de nouvelles hypothèses si les hypothèses initiales ne sont pas confirmées, et de revenir à la phase des études pluridisciplinaires pour les établir.

Rédaction d'un rapport d'expertise (rapport diagnostic) :

Cette étape est clôturée par la rédaction, d'un rapport diagnostic du bâtiment qui comportera essentiellement :

- L'état du bâtiment ;
- Les causes de sa dégradation ;
- Les recommandations relatives à sa réhabilitation.

2.3.4. Etape 4 : Réflexion et cadre de décisions (Rehabimed-UE)

Cette étape nous permis d'arrêter le type de réhabilitation à mener sur le bâtiment. La figure ci-après illustre cette étape. (Figure 2.7)

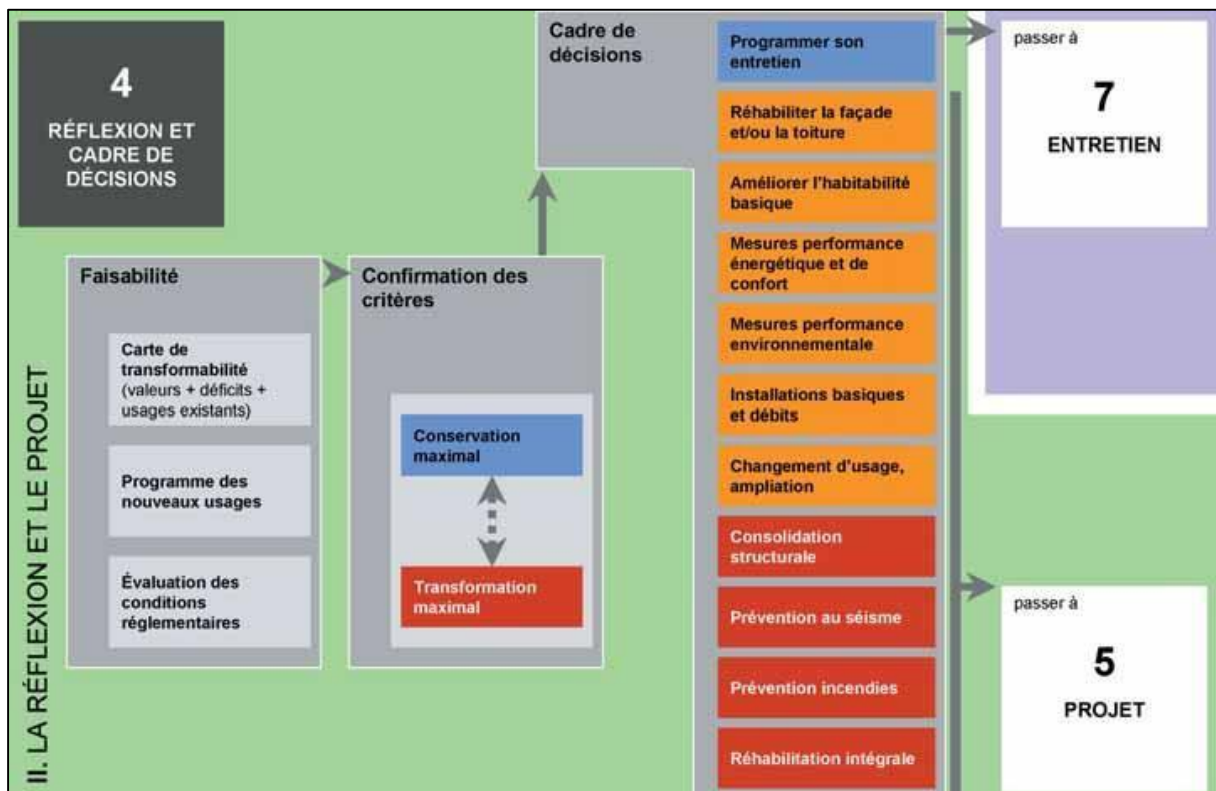


Figure 2.7 : Organigramme de l'étape 4 (Réflexion et cadre de décisions) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien

Source : Ibid.

Faisabilité :

Pour effectuer l'étude de la faisabilité des volontés du maître de l'ouvrage, on se basera sur trois études partielles dont :

a. Carte de transformable :

Pour réaliser cette carte, il s'agira de croiser les informations des cartes des valeurs, des déficits et des usages antérieurs et actuels du bâtiment, pour montrer les parties de l'édifice qui seraient susceptibles de changements (éliminations, additions, reformes,...etc.) et les parties qui devraient être conservées pour préserver sa valeur.

b. Programme des nouveaux usages :

Cette étude consistera à fixer le programme des nouveaux usages proposé par le maître de l'ouvrage/le client, et déjà rationalisé par l'architecte/ingénieur.

c. Evaluation des conditions réglementaires :

Cette étude a pour but, d'évaluer les conditions réglementaires liées aux paramètres urbanistiques et de catalogage des biens d'intérêt culturel, auxquels le bâtiment est peut être soumis.

Confirmation du type de l'intervention :

Au cours de cette étape, l'architecte/ingénieur devra fixer les options, qui seront appliqués au projet de réhabilitation du bâtiment. Cela dit, dès le départ de la réflexion sur le projet, on ne devra écarter aucune solution extrême, ni la conservation maximale ni la transformation maximale du bâtiment. A cet égard, la charte du patrimoine bâti vernaculaire de 1999 établit un premier cadre général à prendre en compte.

Cadre de décisions :

Après avoir confirmé les critères de l'intervention, on devra choisir les travaux de réhabilitation qui peuvent être variés, d'un simple entretien jusqu'à la réhabilitation intégrale, en passant par des interventions partielles.

2.3.5. Etape 5 : Projet (Rehabimed-UE)

Celle-ci (étape 5) à travers la figure suivante (Figure 2.8), nous illustrons la mise en œuvre du projet de réhabilitation du bâtiment.

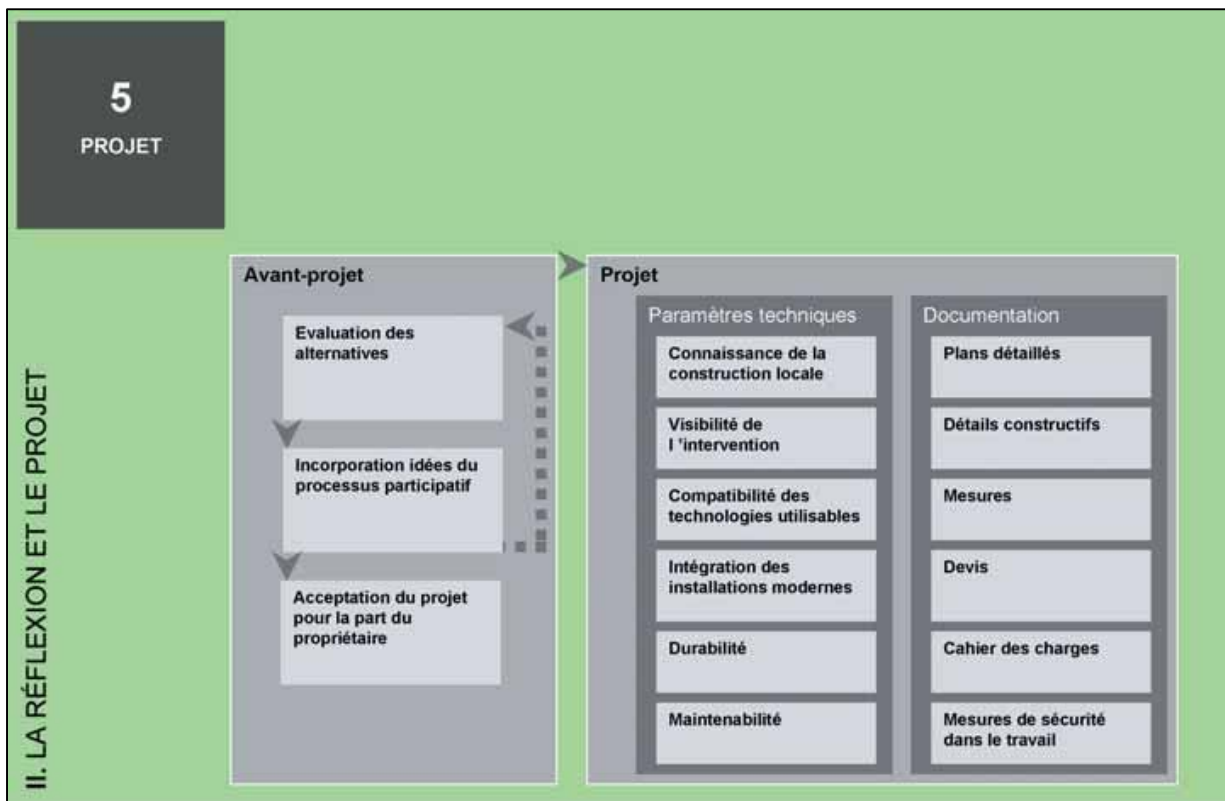


Figure 2.8 : Organigramme de l'étape 5 (Projet) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.

Source : Ibid.

Avant-projet :

L'avant-projet est une étape de profond dialogue avec le maître de l'ouvrage, elle consiste à fixer de façon définitive, l'intervention à développer dans la phase de rédaction du projet.

Projet :

Le projet détaille l'intervention à un niveau suffisant pour pouvoir effectuer les démarches administratives, embaucher les entreprises de construction et fixer les coûts des travaux.

Aussi, le projet d'exécution interprète les critères d'intervention et applique une série de paramètres techniques.

a. Paramètres techniques :

Afin de matérialiser l'intervention de réhabilitation d'un bâtiment ancien selon les bons usages, des paramètres d'ordre technique sont à respecter et à prendre en considération ainsi on a :

- La connaissance de la construction ancienne et/ou traditionnelle ;
- La compatibilité des technologies utilisables ;
- L'étude de l'impact de la visibilité finale de l'intervention ;
- L'intégration des installations modernes ;

- La durabilité (mesures de développement durable) ;
- La maintenabilité des solutions constructives.

b. Documentation à produire :

Le projet doit être détaillé, ouvert aux modifications qui pourraient se justifier du fait des découvertes de dernière minute, aux cours des travaux, le projet comprendra les documents suivant :

- Définition géométrique de la proposition avec côtes (étages, sections et élévations) ;
- Plans de structure, plans des finitions et plans des installations ;
- Cahier technique ;
- Mesures ;
- Devis ;
- Cahier des charges ;
- Mesures d'hygiène et de sécurité.

2.3.6. Etape 6 : Réhabilitation (les travaux) (Rehabimed-UE)

La réalisation des travaux de réhabilitation selon ce processus est gérée par les tâches décrites ci-dessous. (Figure 2.9)

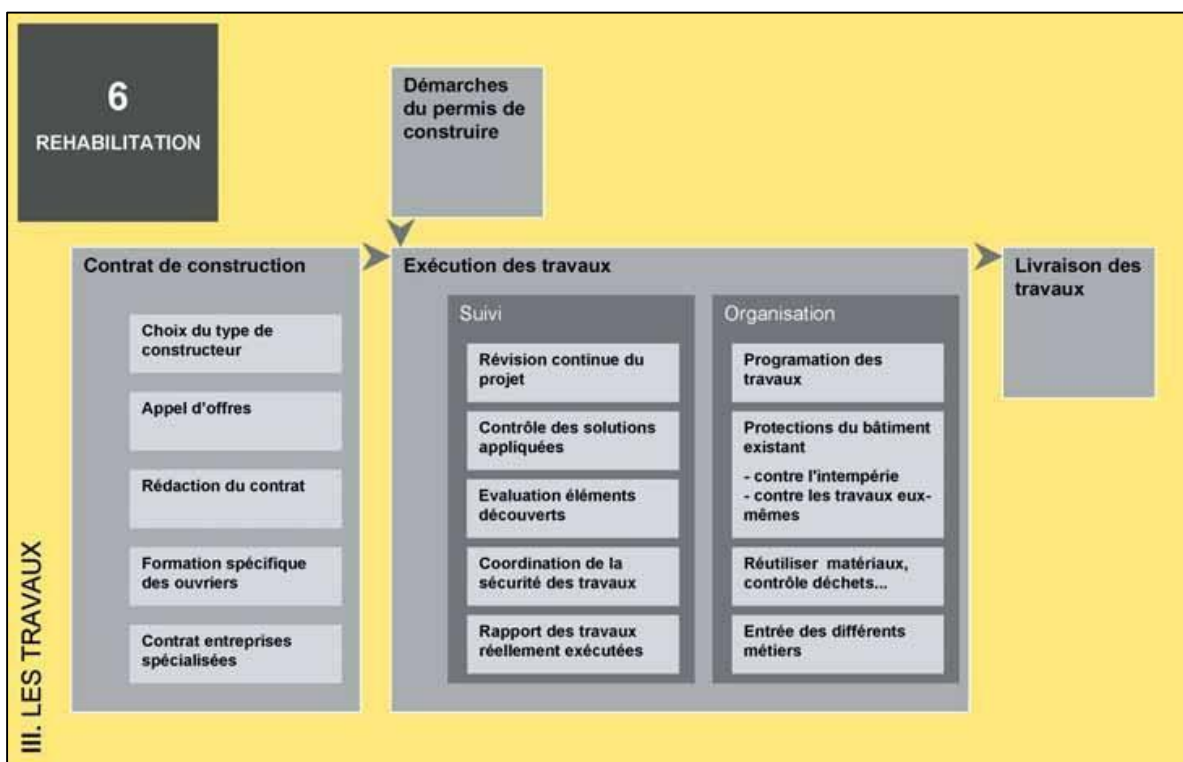


Figure 2.9 : Organigramme de l'étape 6 (Réhabilitation) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.

Source : Ibid.

Contrat de construction :

Pour garantir une réhabilitation correcte, il faut choisir un constructeur qui connaît et qui pratique les techniques, aussi bien anciennes qu'actuelles. Dans le cas d'un recours à une entreprise de construction peu spécialisée, on devra surveiller la manière de réaliser le contrat.

Démarches du permis de construire :

Dans la programmation de la réhabilitation, on doit tenir compte des délais d'attente nécessaires pour obtenir les permis de construire de la part des autorités compétentes. Dans le cas des bâtiments classés, les délais d'attente peuvent être plus importants.

On doit aussi prévoir l'hypothèse de revenir à la phase de projet, dans le cas où la réponse des autorités à la demande du permis de construire est défavorable ou conditionnée.

Exécution des travaux :

La direction des travaux de réhabilitation d'un bâtiment ancien ou traditionnel exige avant tout, une certaine flexibilité et un certain temps, les imprévus surgissent souvent au fur et à mesure, que les travaux avancent et il est ainsi difficile, d'appliquer uniquement ce qui est indiqué dans le projet.

a. Suivi des travaux :

- Il faut contrôler et vérifier l'exécution et le fonctionnement correct des solutions appliquées (constructives ou autres, par exemple de renfort, de consolidation, de rénovation d'un élément,...etc.), telles que décrites dans le projet, à cela, il sera alors nécessaire de mettre en place un mécanisme le permettant.
- Par ailleurs dans la phase de suivi des travaux, la révision continue du projet peut être envisagée et cela dans le cas où de nouvelles découvertes l'imposent, certaines découvertes peuvent même obliger l'architecte/ingénieur à modifier le projet initial.

b. Organisation des travaux :

Il existe plusieurs aspects relatifs à l'organisation des travaux qui doivent être pris en compte, à cet effet, on citera :

- La programmation des travaux ;
- La planification de l'entrée des différents métiers ;
- L'étude de l'accessibilité au chantier (pour chantiers desservis par des rues étroites) ;
- L'organisation des travaux à l'intérieur du bâtiment en utilisant de petites machines (pour les faibles hauteurs, les passages étroits,...etc.) ;
- La protection de certains éléments du bâtiment à réhabiliter contre les intempéries et contre les travaux de réhabilitation eux-mêmes ;
- Le non option pour l'accumulation d'opérateurs sur une seule tâche ;
- Le marquage dès le début des travaux des éléments à réutiliser (tuiles, poutres de bois,...etc.) ;
- La prévention de mesures de gestion correctes des déchets et résidus des travaux lors

des démontages. Le directeur des travaux devra être attentif, à l'apparition de matériaux ou de produits dangereux pour la santé (plaques d'amiante-ciment, isolants d'amiante, transformateurs électriques avec des PCB,...etc.).

Livraison des travaux :

Cette étape de fin des travaux est aussi, un moment de rétrospective qui doit servir pour améliorer les projets des commandes futures et une opportunité d'apprendre des erreurs commises.

2.3.7. Etape 7 : Entretien (Rehabimed-UE)

L'entretien figure comme la dernière étape du présent processus de réhabilitation d'un bâtiment, les actions qu'il comprend sont explicitées ci-après. (Figure 2.10)

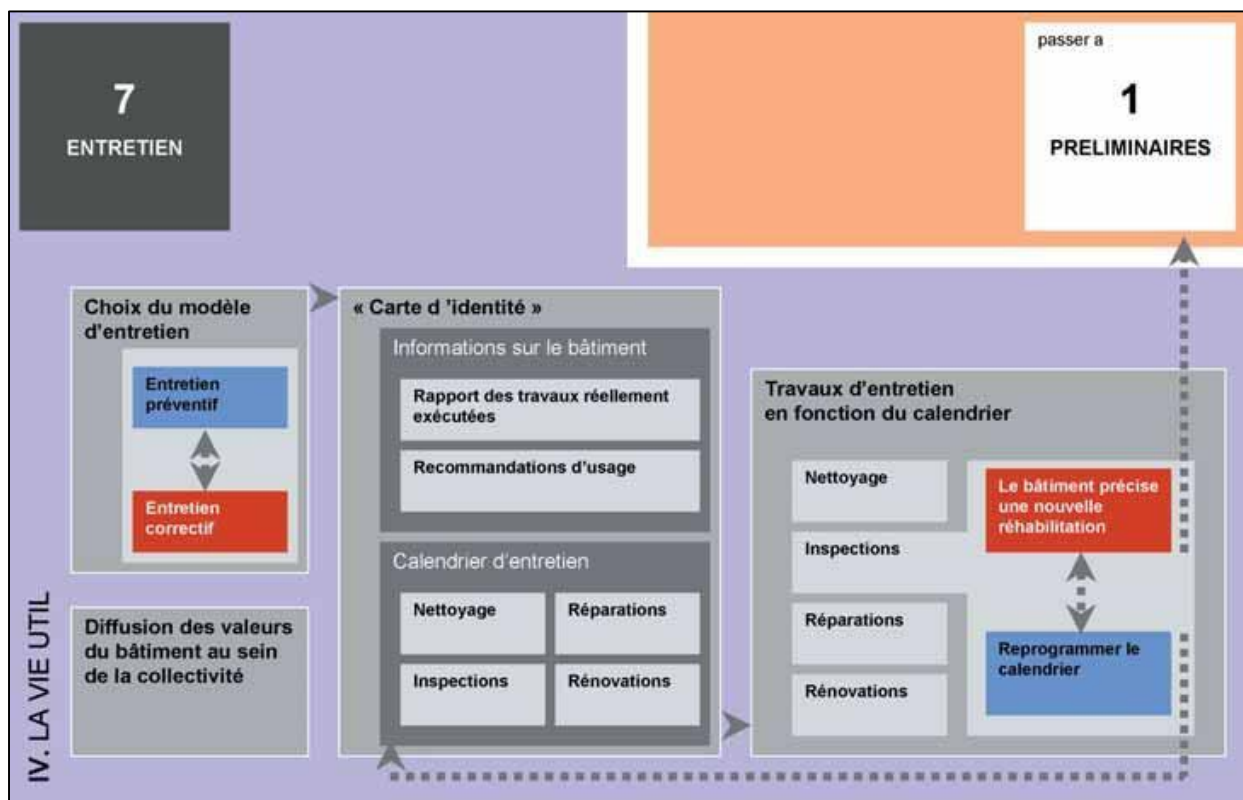


Figure 2.10 : Organigramme de l'étape 7 (Entretien) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.

Source : Ibid

Diffusion des valeurs du bâtiment au sein de la collectivité :

Les changements socio-économiques du monde contemporain, ont entraîné un certain mépris à l'égard des architectures anciennes et/ou traditionnelles, ainsi pour que la collectivité reconnaisse les valeurs de ce patrimoine bâti et participe à sa réhabilitation par son entretien, Il est important d'initier des activités de sensibilisation, qui montre la valeur du bâtiment et les travaux de sa réhabilitation.

Choix du modèle d'entretien (correctif ou préventif) :

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

Habituellement on associe l'entretien à l'idée de réparation des éléments endommagés, c'est ce qu'on appelle l'entretien correctif, mais l'idéal en termes de choix de modèle d'entretien, c'est de penser à un entretien planifié et préventif.

Carte d'identité :

Afin de réaliser un entretien préventif et planifié, on devra doter le bâtiment réhabilité d'une « carte d'identité », il s'agit d'un document contenant toute l'information qui existe sur le bâtiment, et un calendrier programmant les opérations d'entretien à effectuer, cette carte sera délivrée au propriétaire et/ou à tous les locataires.

Travaux d'entretien en fonction du calendrier :

Il ne faut pas programmer dans le calendrier des travaux d'entretien des opérations difficiles à effectuer. Par ailleurs, généralement, on y programme des inspections périodiques qu'effectue un architecte/ingénieur, pour évaluer la sécurité du bâtiment et reprogrammer le calendrier d'entretien.

Ainsi, l'accomplissement des travaux d'entretien programmés permettra, de conserver le bâtiment réhabilité dans un bon état, et c'est à partir de ce moment-là, qu'on pourra parler de l'achèvement du processus de réhabilitation du bâtiment.

3. Conclusion

Premièrement, la présentation de ce chapitre nous démontre quel est l'intérêt de faire un diagnostic sur un bâti ancien, afin d'arriver à faire une meilleure intervention de renforcement/consolidation conservatoire. Deuxièmement, dans un projet de réhabilitation il faut bien choisir une méthode riche dans son contenant en termes de techniques adoptées et d'évaluation sismique.

Le processus des étapes à suivre dans un projet de réhabilitation selon la méthode Rehabimed nous a démontré qu'une intervention pareille doit être fondée sur une démarche reconnue par la communauté des scientifiques et professionnels spécialistes. Chacune des étapes à suivre est plus intéressante que la précédente, et est indispensable avant de passer à une autre. Et cela, depuis la prise de décision d'entamer l'opération de réhabilitation avec le maître de l'ouvrage, jusqu'au moment de la programmation des travaux d'entretien après l'achèvement des travaux de réhabilitation.

Ainsi que dans notre cas d'étude (siège d'APC d'El-Harrach), on s'intéresse à pas mal d'étape de processus présenté. Tout en commençant par un nombre d'information assez minime et insuffisant sur le siège d'APC à étudié afin d'arriver à enrichir le volume d'information sur ce siège et même la réhabilitation qu'a été faite, et pourquoi ne pas proposer d'autres solution s'il y a lieu ?

Chapitre 3 : La méthodologie des opérations et des techniques de
réhabilitation structurelle des édifices anciens
situés dans des zones sismiques.

1. Introduction :

Ce chapitre de notre recherche est consacrée à présenter, les principaux et récurrents travaux qu'impliquent la réhabilitation structurelle d'un patrimoine bâti ancien. Il s'agit essentiellement dans cette partie, de présenter une méthodologie d'opérations et de techniques de renforcement/consolidation des éléments structurants d'un bâti ancien.

Cette partie nous permettra, entre autre, de connaître les désordres qui surviennent dans certains ouvrages du bâti ancien et les solutions préconisées à cet effet. Tout cela pour arriver à réhabilité avec des techniques spécifiques qui solutionnent chaque cas à ce qu'il faut.

2. Différents niveaux de renforcements (Agence Qualité Construction, 2011) :

2.1. Renforcement obligatoire : lorsque l'on réalise des travaux lourds sur un bâtiment, la réglementation impose de le renforcer. Les règles de construction à respecter sont issues des règles de neuf (Eurocode 8 partie 1 ou PSMI 89) mais sont atténuées pour tenir compte des enjeux du bâti existant. Les techniques de renforcement ci-après permettent de répondre aux objectifs imposés. (figure 3.1)

2.2. Renforcement volontaire : choix délibéré de renforcer un bâtiment pour réduire la vulnérabilité au séisme. On doit respecter l'Eurocode 8 « partie 3 » et choisir parmi un des 3 niveaux croissants de dimensionnement. Les principales techniques de renforcement sont l'objet des pages suivantes. (figure 3.1)

2.3. Lors d'une extension : au cas où la nouvelle partie de la structure est désolidarisée par un joint parasismique, elle doit respecter les règles pour le bâti neuf (prendre en compte le risque sismique pour les bâtiments neufs dès la conception). (figure 3.1)

	Cat.	Travaux	Règles de construction
Zone 2	IV	> 30 % de SHON créée	Eurocode 8-1 $a_{gr} = 0,42 \text{ m/s}^2$
		> 30 % de plancher supprimé à un niveau	
Zone 3	II	> 30 % de SHON créée	PS-MI ⁽¹⁾ Zone 2 si conditions PSMI respectées
		> 30 % de plancher supprimé à un niveau	
	III	> 30 % de SHON créée	Eurocode 8-1 $a_{gr} = 0,66 \text{ m/s}^2$
		> 30 % de plancher supprimé à un niveau	
IV	> 30 % de SHON créée	Eurocode 8-1 $a_{gr} = 0,66 \text{ m/s}^2$	
	> 30 % de plancher supprimé à un niveau		
Zone 4	II	> 30 % de SHON créée	PS-MI ⁽¹⁾ Zone 3 si conditions PSMI respectées
		> 30 % de SHON créée > 30 % de plancher supprimé à un niveau	
	III	> 20 % de SHON créée	Eurocode 8-1 $a_{gr} = 0,96 \text{ m/s}^2$
		> 30 % de plancher supprimé à un niveau	
IV	> 20 % de SHON créée > 20 % des contreventements supprimés Ajout équipement lourd en toiture	Eurocode 8-1 $a_{gr} = 0,96 \text{ m/s}^2$	
Zone 5	II	> 30 % de SHON créée	CPMI ⁽²⁾ si conditions CPMI respectées
		> 20 % de SHON créée > 30 % de plancher supprimé à un niveau > 20 % des contreventements supprimés	
	III	> 20 % de SHON créée	Eurocode 8-1 $a_{gr} = 1,8 \text{ m/s}^2$
		> 30 % de plancher supprimé à un niveau	
IV	> 20 % de SHON créée > 20 % des contreventements supprimés Ajout équipement lourd en toiture	Eurocode 8-1 $a_{gr} = 1,8 \text{ m/s}^2$	

Source : MEDDTL - ministère de l'écologie

- (1) Application possible (en dispense de l'Eurocode 8) des PSMI. La zone sismique à prendre en compte est celle immédiatement inférieure au zonage réglementaire (modulation de l'aléa).
- (2) Application possible du guide CPMI (en dispense de l'Eurocode 8).
- Eurocode 8-1 : application obligatoire des règles Eurocode 8, partie 1.

Figure 3.1 : règles de construction à respectées dans les différentes zones sismiques

Source : Agence Qualité Construction, 2011.

Catégorie des bâtiments
<p>Les règles définissent les catégories de bâtiments en fonction du type d'exploitation (le détail est précisé dans l'arrêté du 22 octobre 2010, la liste suivante n'est qu'indicative) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Catégorie d'importance I : bâtiment avec peu d'activité humaine (hangars, ouvrages extérieurs, ...); • Catégorie d'importance II : bâtiment à risque courant pour les personnes (habitations, bureaux, locaux à usage commercial...) et de hauteur inférieure à 28 mètres; • Catégorie d'importance III : bâtiment à risque élevé pour les personnes (établissements recevant du public de 1^{re}, 2^e et 3^e catégories, bâtiments d'habitation ou de bureaux de plus de 28 mètres de haut...); • Catégorie d'importance IV : bâtiment lié à la sécurité publique (hôpitaux, casernes de pompiers, gendarmerie,...).

Figure 3.2 : catégorie des bâtiments

Source : Agence Qualité Construction, 2011.

3. Choix d'une stratégie de renforcement (Agence Qualité Construction, 2011)

La stratégie consiste à trouver, parmi une gamme de solutions possibles, le renforcement optimal qui tient compte du coût, de la durée des travaux, de la gêne apportée aux occupants (délogés ou non). Un choix peut être fait entre deux méthodes :

3.1. renforcer la structure existante : souvent par l'intérieur du bâtiment, avec la gêne qu'elle représente (voir ci-après : principales techniques de renforcement/consolidation).

3.2. concevoir une nouvelle structure : souvent à l'extérieur du bâtiment si possible, et qui résiste seule à l'action totale du séisme provenant de sa masse et de la masse du bâtiment, à

laquelle revient d'assurer uniquement sa descente de charge, compte tenu du déplacement horizontal. Cette variante est souvent optimale.

4. Principales techniques de (renforcement/consolidation) des éléments structuraux du bâti ancien :

Dans le cadre de la réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien, les travaux de remise en état, voire de renforcement/consolidation, des éléments structuraux dégradés, sont souvent nécessaires à réaliser, pour maintenir ledit bâti en état.

En effet, il s'agit dans ces techniques de réhabilitation structurelle, de remettre en état ces éléments de structure et d'améliorer leurs performances, pour satisfaire les exigences des évolutions ultérieures à leur construction.

A cet égard, nous exposerons plus loin dans ce chapitre de notre recherche, les différentes techniques reconnues qu'on utilise généralement, pour réhabiliter les divers éléments structuraux d'un patrimoine bâti ancien.

4.1. Consolidation des fondations :

La consolidation des fondations est souvent indispensable dans la réhabilitation du patrimoine bâti ancien, cela pour autant, doit se réaliser dans le respect des valeurs historiques et artistiques de l'édifice sujet de réhabilitation.

4.1.1. Les raisons de la consolidation des fondations :

La nécessité de mener des travaux de consolidation des fondations d'un bâti ancien est dictée par certains faits qu'un bon diagnostic structurel peut établir.

En règle générale, nous noterons deux raisons qui rendent nécessaire l'engagement des travaux de consolidation des fondations d'un bâti ancien en réhabilitation, on citera :

- L'insuffisance de la surface d'appui par rapport aux charges appliquées et à la résistance du terrain. (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)
- Tassements du terrain sous-jacent à la fondation, pour des raisons tout à fait indépendante de l'édifice construit au-dessus, comme par exemple, celles qui découlent des phénomènes de subsidence ou d'affaissement, provoqués par l'homme ou par des causes naturelles. (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

MTech Patrimonium a cité les problèmes généralement rencontrés :

- dégradation des fondations existantes,
- mauvais dimensionnement de la fondation et absence de résistance à l'arrachage,
- absence de chaînage en pied de mur.
- difficultés d'accès pour les interventions.

4.1.2. Les fondations du bâti ancien :

Parmi les fondations qu'ont été réalisées dans les constructions anciennes, on peut citer principalement :

a) Les fondations en pierre ordinaire :

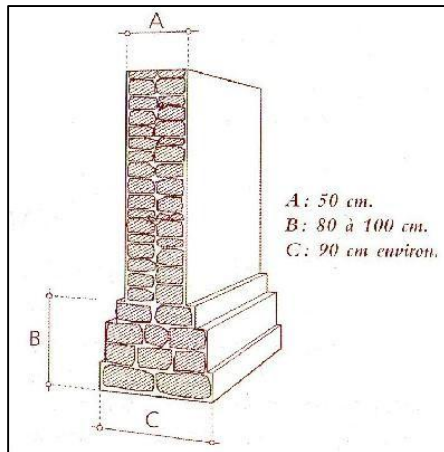


Figure 3.3 : Fondation en pierre ordinaire d'un bâtiment sur cave
Source : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

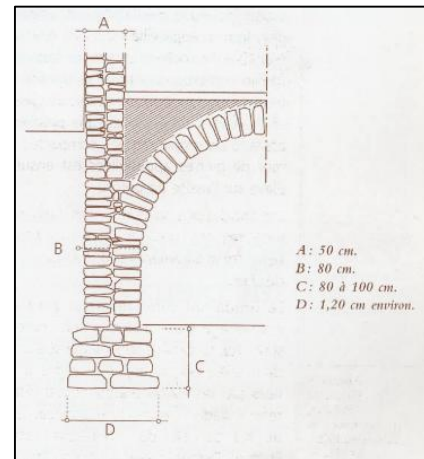


Figure 3.4 : Fondation en pierre ordinaire d'un bâtiment sans cave
Source : Ibid.

b) Les fondations exceptionnelles en pierre :

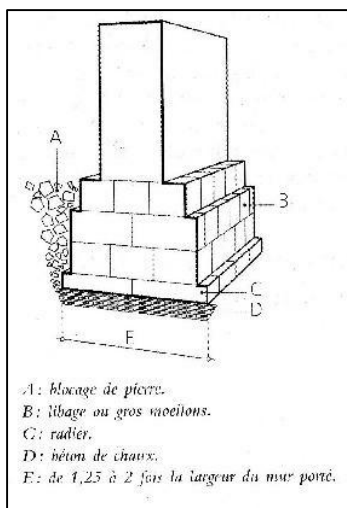


Figure 3.5 : Fondation exceptionnelle en pierre sur un bon sol
Source : Ibid.

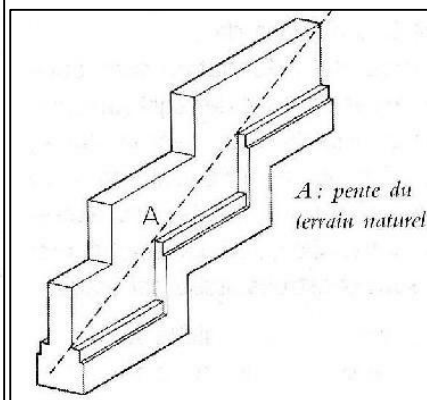


Figure 3.6 : Fondation exceptionnelle en gradin
Sur un bon sol en Pente
Source : Ibid.

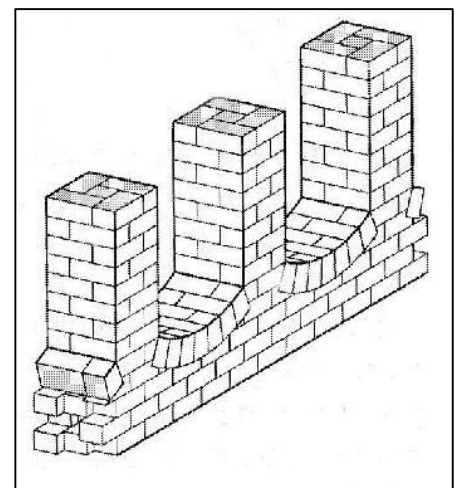
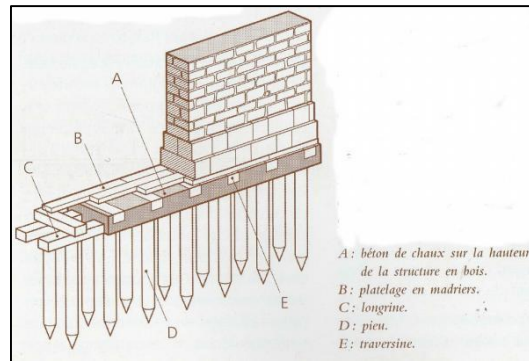


Figure 3.7 : fondation en voute renverser
Source : Ibid.

c) Fondations sur pieux en bois :**Figure 3.8 :** Fondation sur pieux en bois

Source : Ibid.

4.1.3. Techniques de consolidation des fondations :

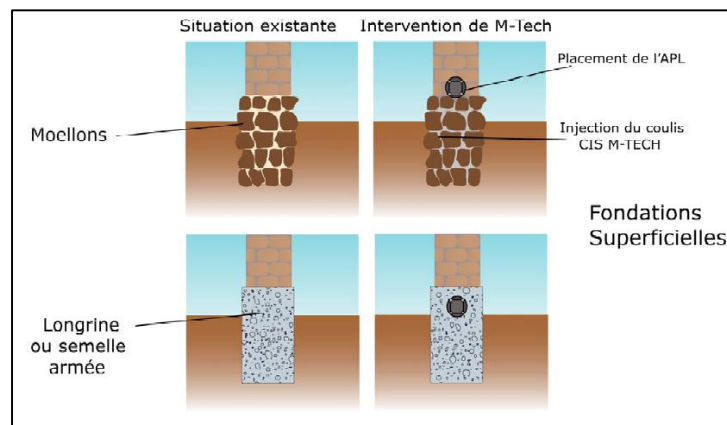
Pour résoudre les problèmes posés dans les fondations citées ci-dessus principalement, on va présenter les différentes techniques utilisées afin d'atteindre le but :

a) Consolidation des fondations par injection de sol :

Cette technique consiste à combler par injection sous pression, les vides et fissures du sol, afin d'augmenter sa résistance à la compression.

Les produits d'injection sont selon les cas constitués (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013) :

- De coulis de ciment éventuellement additionnés de pouzzolanes de cendres volantes, de plastifiants et d'accélérateurs ;
- De coulis d'argile colloïdale ou de bentonite ;
- De coulis à base de produits chimiques liquides ou de résines organiques.
- à injecter un coulis de consolidation (CIS MTECH) afin de colmater les vides et palier à la dégradation de la semelle dans le cas d'une fondation en moellons, (Figure 3.9)
- assurer un chaînage du mur porteur au-dessus des semelles de fondations par le placement d'un ou deux ancrages horizontaux de type ARL ou APL en pied de maçonnerie. (MTech Patrimonium)

**Figure 3.9 :** CIS MTECH comme coulis de consolidation

Source : (MTech Patrimonium)

b) Elargissement des fondations en sous-œuvre par maçonnerie :

Cette technique de consolidation des fondations en sous-œuvre par maçonnerie, consiste à réaliser une nouvelle fondation en briques pleines et au mortier de ciment en dessous de celle existante, cela conduira à l'approfondissement et à l'élargissement du plan de la fondation, car il faut tenir compte du fait que l'approfondissement de la fondation, implique nécessairement son élargissement. (Figure 3.10) (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

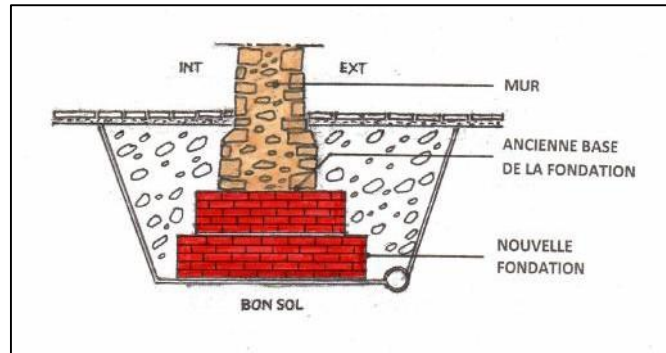
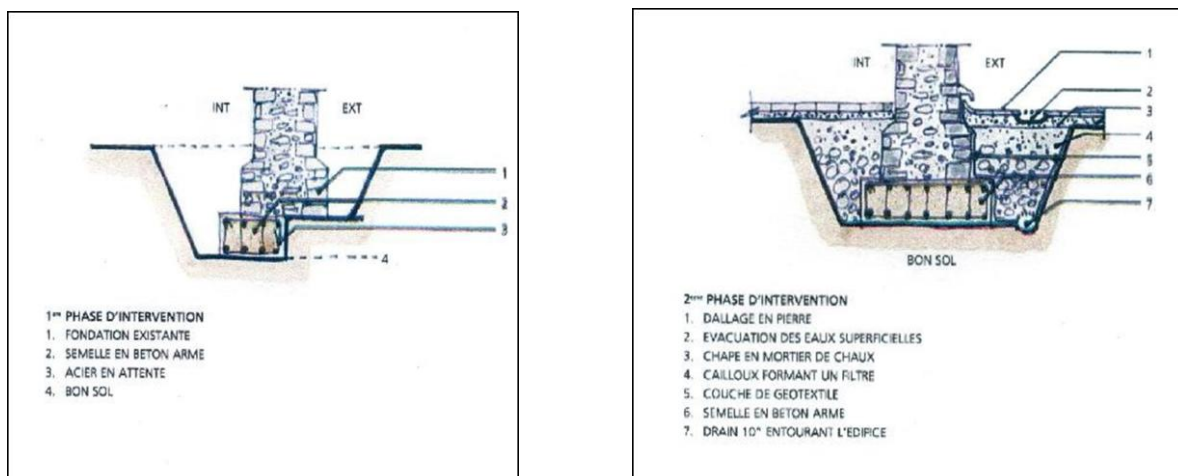


Figure 3.10 : Consolidation de la fondation en sous-œuvre par maçonnerie

Source : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

c) Elargissement des fondations par semelle en béton armé :

EN SOUS-ŒUVRE : C'est une autre technique de consolidation des fondations du bâti ancien, celle-ci consiste à réaliser en sous-œuvre de la fondation existante, une semelle élargie en béton armé et cela pour assurer d'une part, la stabilité du mur existant et aussi, afin d'augmenter la surface de la répartition des charges sur le sol. (Figure 3.11)



Figures 3.11 : Reprises-en sous œuvre d'une semelle en béton armé

Source : Ibid.

Avec surépaisseur de la semelle : c'est une technique de renforcement utilisée pour les fondations anciennes en béton armé. (Figure 3.12)

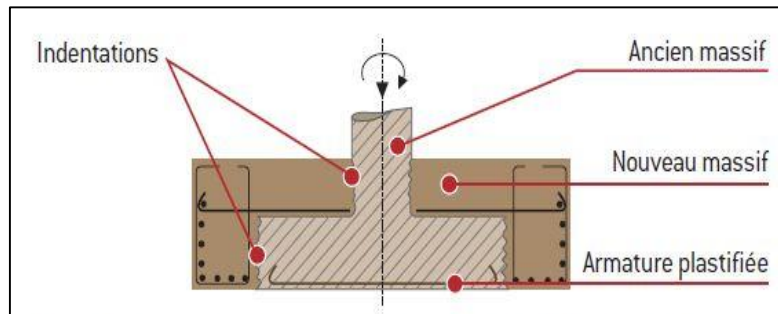


Figure 3.12 : renforcement d'une fondation avec surépaisseur de la semelle

Source : Agence Qualité Construction, 2011

Sans augmentation de la surface de la semelle : c'est une technique de renforcement utilisée pour les fondations anciennes en béton armé. (Figure 3.13)

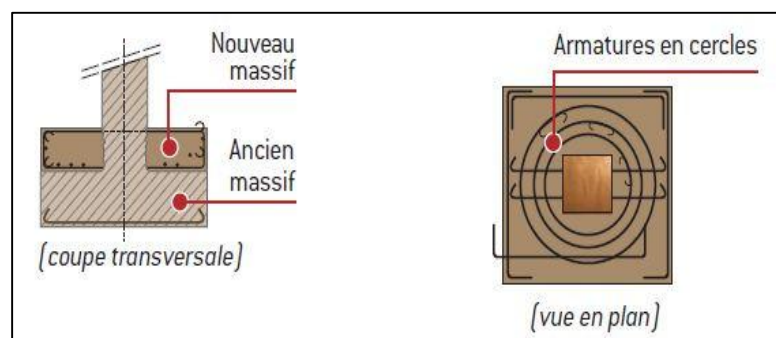


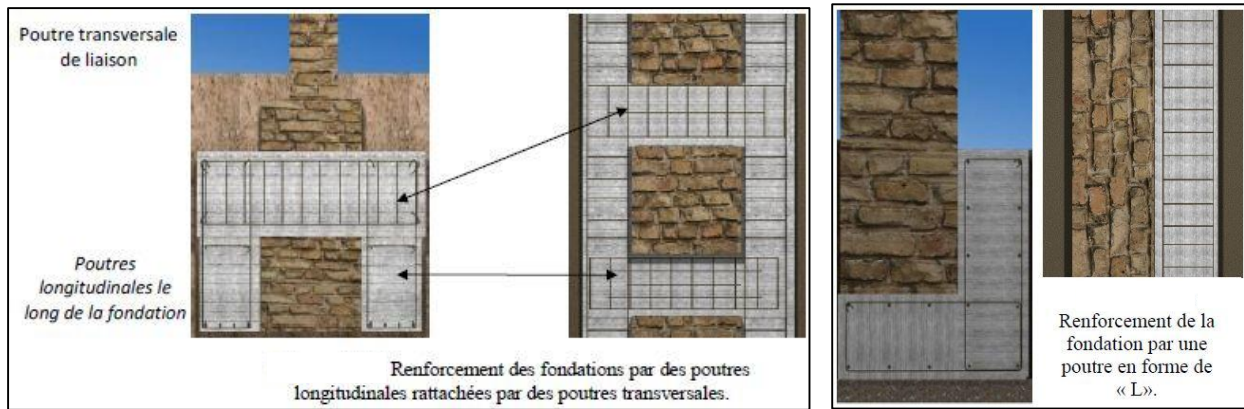
Figure 3.13 : renforcement d'une fondation sans augmentation de la surface de la semelle

Source : Ibid.

d) Consolidation de la fondation par poutres transversales

Ce type de consolidation consiste à l'adhérence à l'ancienne maçonnerie de la fondation, cela va être par étapes :

- A laisser des fers d'attente, au point où seront réalisées les poutres transversales de liaison ;
- La reprise des poutres longitudinales terminées, procéder des cavités dans lesquelles seront coulées les poutres transversales de liaison au-dessus des poutres longitudinales ;
- Rattacher l'armature de ces poutres aux fers d'attente laissées dans les poutres longitudinales. (Figure 3.14)



Figures 3.14 : consolidation de la fondation par poutres transversales

Source : (ACHAB SAMIA EP CHERNAI, Juin 2012)

e) La consolidation des fondations par des pieux / micro-pieux :

La technique des micropieux est utilisée généralement pour stabiliser une construction ancienne en cas de sinistres (tassements en cours d'une construction, désordres survenu après affouillements limitrophes,...etc.).

Cette technique consiste, à implanter des micropieux qui descendent profondément vers le bon sol au-dessous des semelles existantes. (Figure 3.16)

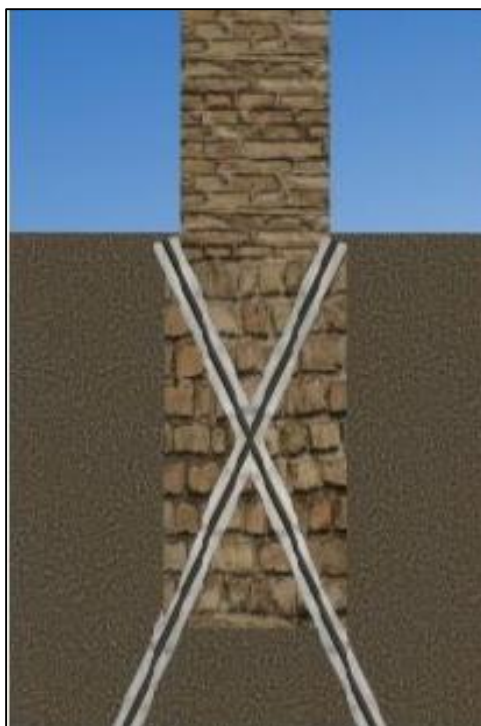


Figure 3.15 : Consolidation des fondations par micro-pieux
Source : (ACHAB SAMIA EP CHERNAI, Juin 2012)

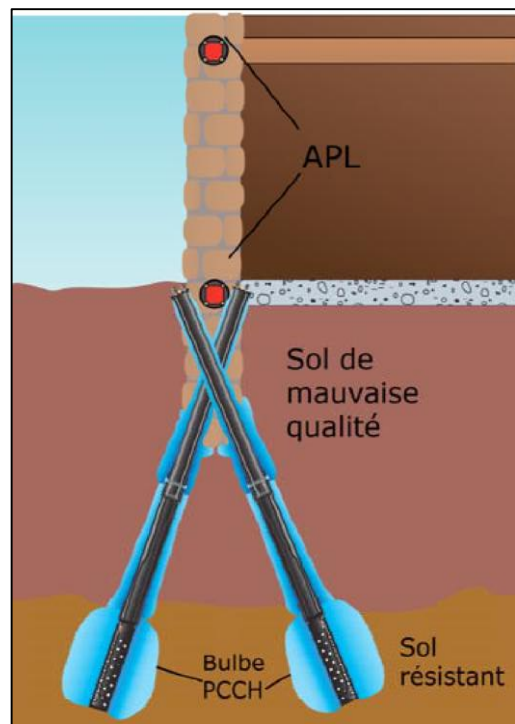


Figure 3.16 : PCCH et chainage de la maçonnerie portante
Source : (MTech Patrimonium)



Figures 3.17 : Consolidation des fondations par pieux en béton armée

Source : (ACHAB SAMIA EP CHERNAI, Juin 2012)

f) Le chaînage (Liaisons entre fondations et structures)

On doit réaliser des longrines pour lier les têtes de fondations pour un ancrage supérieur à 0,50 m. Si les semelles de fondations sont situées à moins de 0,50 m, le rôle des longrines est alors assuré par un chaînage bas des murs.

Les longrines, ou chaînages de fondations, doivent être de dimensions courantes :

- Section minimale de coffrage des longrines : 20 cm × 20 cm.
- Section minimales des armatures longitudinales : 1.25% de la section de béton. Ou quatre HA 1/2 (i.e. #4).
- Section des armatures transversales et leurs espacements : HA1/4 ou HA3/8 tous les 10 à 15 cm.
- Recouvrement minimal des barres longitudinales : 60 diamètres.

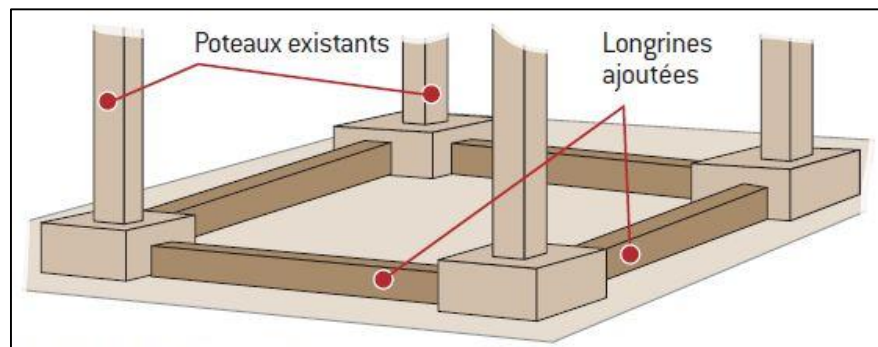


Figure 3.18 : fondations solidarisées par ajout de longrines

Source : Agence Qualité Construction, 2011

4.2. Renforcement des poteaux :

4.2.1. Renforcement par fibre de carbone ou de verre :

Il existe différents types de fibres est différents tissus pour ce genre de renforcement (Figure 3.19)

Parmi les objectifs de ce type de renforcement est :

- Améliorer la ductilité du poteau ou de l'ensemble de la structure en confinant le béton dans la zone critique. En effet, ces zones proches des nœuds sont souvent insuffisamment frettées. les fibres empêchent également les armatures de flamber. (Figure 3.20)
- Garantir la localisation des rotules plastiques. On dispose alors des fibres dans les deux directions, pour renforcer aussi la résistance du poteau en flexion dans le but de sur dimensionner le poteau ; on souhaite en effet que les rotules plastiques se forment dans la poutre.



Matériau	Module d'Elasticité GPa	Résistance à la Rupture MPa	Orientation des Fibres	Epaisseur mm	Elongation à la Rupture	Masse Surfaccique g/m ²
Fibre CFRP SikaWrap230C	238	3650	Unidirectionnel	0.13	1.7%	225
Fibre GFRP SikaWrap430G	76	2200	Unidirectionnel	0.17	2.8%	430

Figure 3.19 : différents types fibres de renforcements

Source : (ATTARI N, Juin 2015)

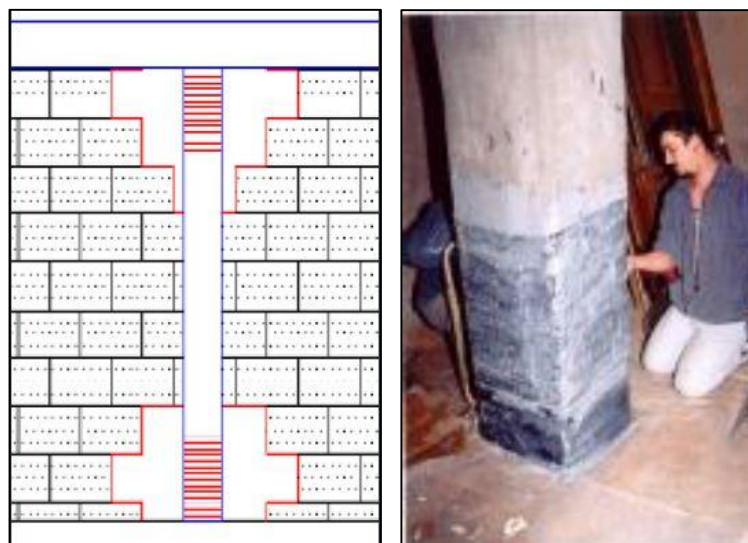


Figure 3.20 : renforcement des poteaux par fibre de carbone au niveau des nœuds

Source : Ibid.

4.2.2. Renforcement par l'utilisation des lamelles métalliques :

On peut remplacer les fibres par des lamelles métalliques (plats) collés sur le poteau de façon à former des anneaux encerclant le poteau dans les zones faibles. La mise en œuvre est identique. Par contre, il faut donner la forme de la section du poteau au plat avant la pose et veiller à ce qu'il n'y ait pas de jeu pour que le collage soit efficace. (Figure 3.21) (ATTARI N, Juin 2015)

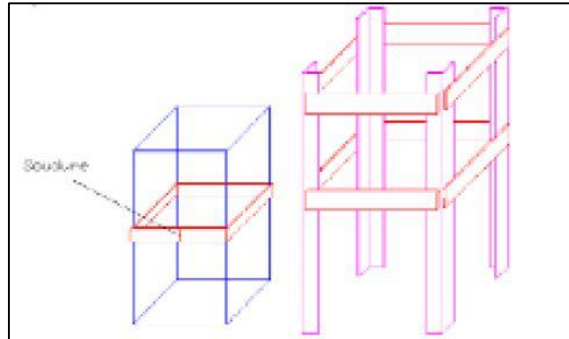


Figure 3.21 : renforcement des poteaux par des lamelles métalliques

Source : Ibid.

4.2.3. Renforcement par chemisage en BA (ATTARI N, Juin 2015) :

Parmi les objectifs de ce type de renforcement est :

- Améliorer la ductilité du poteau ou de l'ensemble de la structure en confinant le béton dans la zone critique. En effet, ces zones proches des nœuds sont souvent insuffisamment frettées. les cadres empêchent également les armatures de flamber.
- Garantir la localisation des rotules plastiques. On utilise un ferrailage classique (longitudinale et cadres), pour renforcer aussi la résistance du poteau en flexion dans le but de sur dimensionner le poteau ; on souhaite en effet que les rotules plastiques se forment dans la poutre.
- Augmenter la résistance globale de la structure.



Figures 3.22 : renforcement des poteaux par chemisage en BA

Source : Ibid.

Remarque : Cette opération présente des inconvénients (mise œuvre spécialisée, surcharge, travaux relativement lourds)

4.3. Renforcement des poutres :

4.3.1. Renforcement par collage de plaques :

Ce type de renforcement concerne beaucoup plus les bâtiments à portiques ; parmi les caractéristiques mécaniques visées, on trouve : la ductilité et l'augmentation de la résistance et au cisaillement. (Figure 3.23) (ATTARI N. Juin 2015)

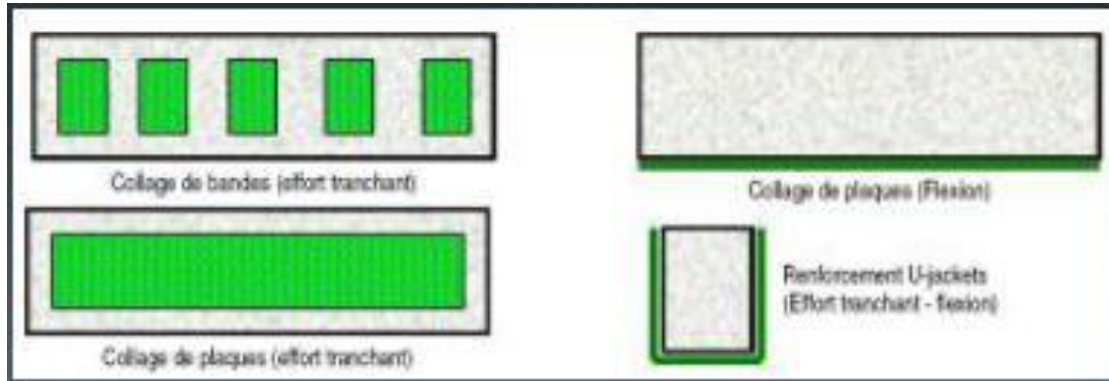


Figure 3.23 : renforcement des poutres par collage de plaques

Source : Ibid.

4.3.2. Renforcement par chemisage :

Cette technique utilisée tant pour le renforcement de structures insuffisantes ou défailtantes que pour la réparation d'ouvrage endommagés. Elle exige pour sa mise en œuvre un personnel spécialisé. (Figure 3.24) (ATTARI N. Juin 2015)

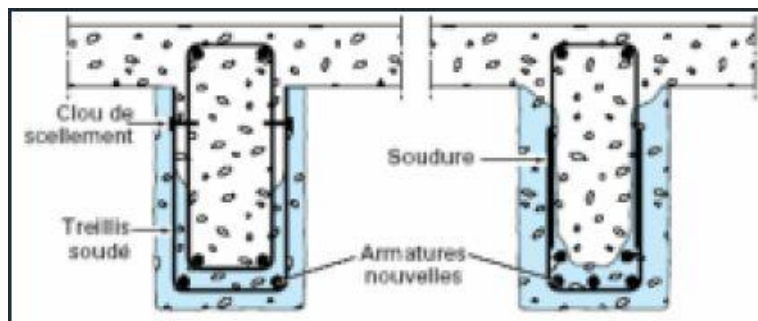


Figure 3.24 : renforcement des poutres par chemisage

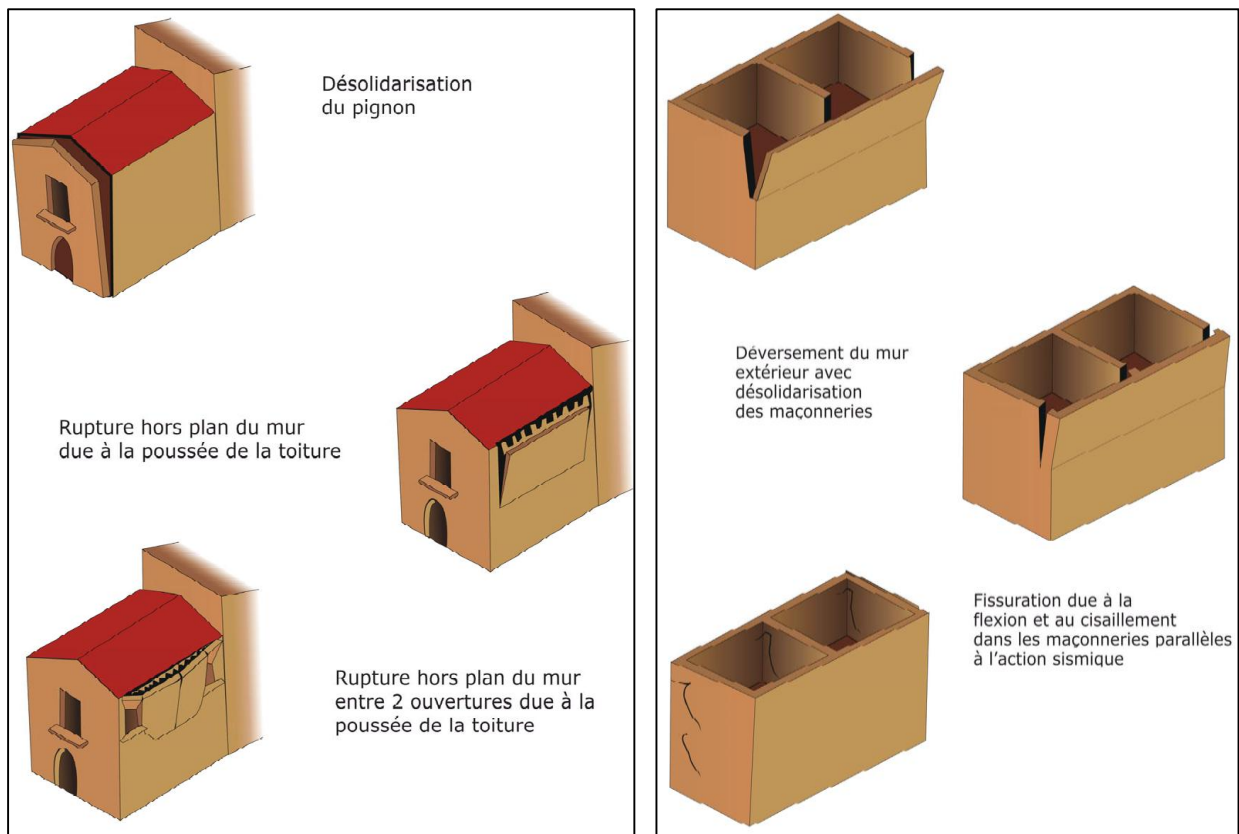
Source : Ibid.

4.4. Consolidation des murs en maçonnerie de pierre :

4.4.1. Les raisons de la consolidation des murs en maçonnerie :

Le comportement d'un édifice lors de secousses sismiques dépend donc non seulement de la stabilité d'éléments individuels structurels, mais aussi de la mobilisation globale de toute sa structure. (Figure 3.25)

En effet les phénomènes de ruptures observés le plus couramment résultent aux niveaux des murs en maçonnerie nous citerons :



Figures 3.25 : les phénomènes de ruptures dans les murs en maçonnerie de pierre

Source : (MTech Patrimonium)

4.4.2. Techniques de consolidation des murs en maçonnerie de pierre :

Pour consolider les murs en pierre dégradés, qui sont souvent porteurs, plusieurs techniques sont utilisées, parmi celles-ci nous citerons :

a) Consolidation des murs en pierre par injection de coulis à la chaux :

La consolidation des murs anciens en pierre (qui sont généralement montés au mortier de chaux) par l'injection de coulis à base de chaux est d'avantage conseillée, elle permet entre autres, d'éviter tous éventuels désordres, que peut générer une incompatibilité de matériaux. (AIT HAMOUDA Ibrahim. 2012-2013)

MTech Patrimonium a développé un coulis d'injection le CIS MTECH permettant de reconstituer une partie des propriétés physiques de ces maçonneries, évitant leur démontage et leur remplacement. Ce coulis dont la composition est paramétrable permet de s'adapter à tout type de matériau constituant afin d'éviter la création de points durs, de plus sa fluidité garantit la qualité du traitement sans retrait important. (MTech Patrimonium)

b) Consolidation des murs en pierre par cimentation :

La cimentation est une technique de consolidation des murs en maçonneries, à laquelle on fait appel, lorsque l'état de dégradation intéresse presque la totalité d'un mur ou quand les fissurations sont très étendues, dans un mur d'un édifice. (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

Selon le procédé dont se fait l'introduction du mélange cimentant, à l'intérieur de la maçonnerie d'un mur, on distingue deux méthodes de consolidation par cimentation :

- La cimentation par coulée ;
- La cimentation par injection sous pression.

CIMENTATION PAR COULEE :

Ce procédé de consolidation par cimentation consiste, en l'introduction du mélange cimentant dans les vides du mur, par poussée de la seule pression atmosphérique. (Figure 3.26) (AIT HAMOUDA Ibrahim. 2012-2013)

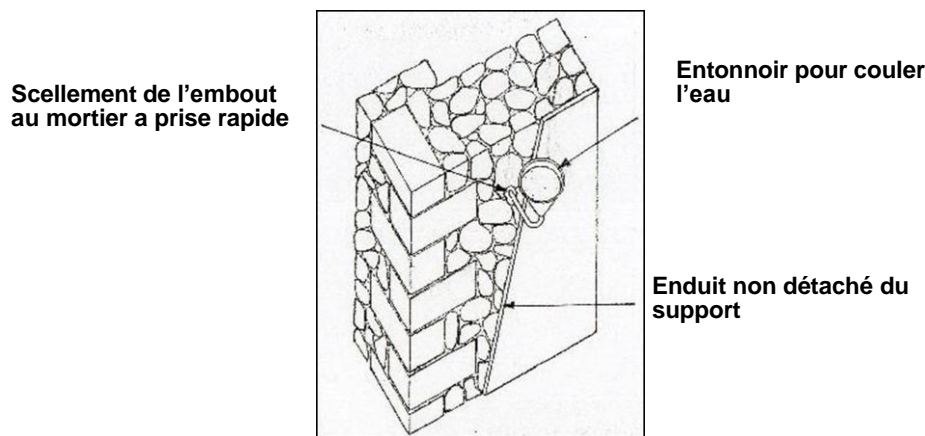


Figure 3.26 : Cimentation d'un mur en pierre par coulée

Source : (AIT HAMOUDA Ibrahim. 2012-2013)

CIMENTATION PAR INJECTION SOUS PRESSION :

Dans ce type de procédé de consolidation par cimentation, le mélange cimentant est introduit dans la maçonnerie par injection sous pression. (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

c) Consolidation par parois armées :

Si un mur en maçonnerie est fortement dégradé, présentant un nombre de lézardes très important et que l'on observe des signes inquiétants d'écrasement, il peut être dangereux d'opter pour des techniques de consolidation, qui peuvent encore affaiblir les maçonneries à consolider. On peut alors opter, pour la technique de consolidation par parois minces armées. (Figure 3.27)

Cette technique consiste, à faire couler des parois en ciment armé ou en béton armé directement contre les parements du mur à consolider. (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

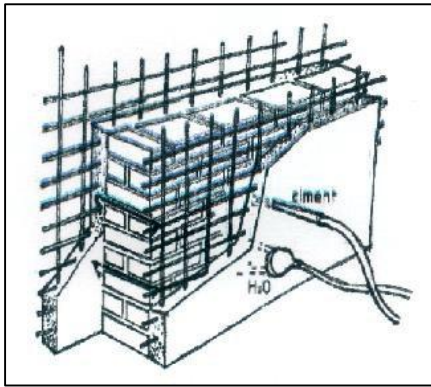


Figure 3.27 : Consolidation d'un mur en pierre par parois armées.

Source : CASANOVA Xavier, 2007



Figure 3.28 : Disposition d'un treillis métallique sur une face d'un mur avant gunitage

Source : Ibid.

Lors de l'analyse du comportement de la structure aux sollicitations sismiques, l'ingénieur peut décider d'augmenter la rigidité d'ensemble du bâtiment en ajoutant des murs de contreventement. (Figures 3.29 & Figure 3.30)

Les contreventements sont des murs pleins qui servent à transmettre les forces sismiques horizontales et verticales des planchers aux fondations. Ils doivent être reliés aux planchers et aux fondations et reliés entre eux par des chaînages. (Agence Qualité Construction, 2011)

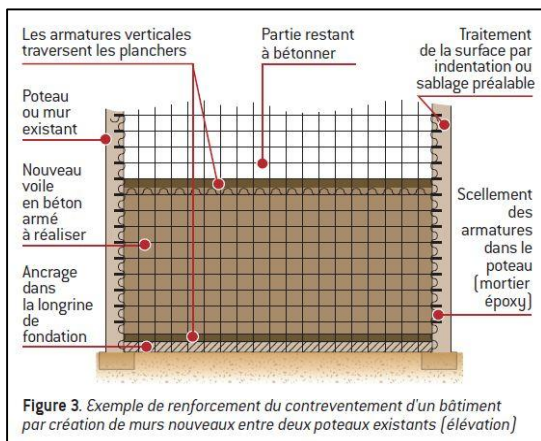


Figure 3. Exemple de renforcement du contreventement d'un bâtiment par création de murs nouveaux entre deux poteaux existants (élévation)

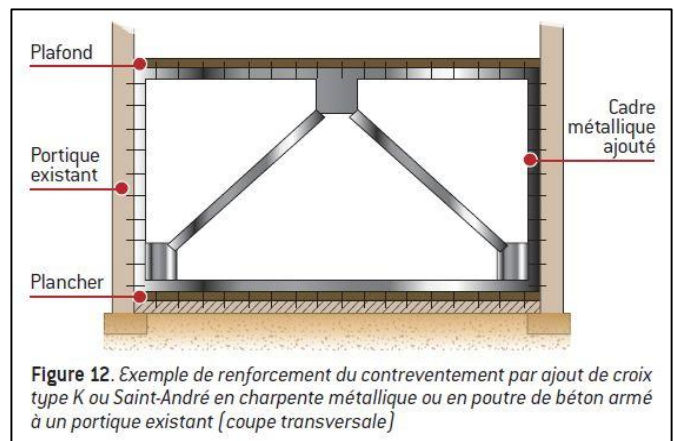


Figure 12. Exemple de renforcement du contreventement par ajout de croix type K ou Saint-André en charpente métallique ou en poutre de béton armé à un portique existant (coupe transversale)

Figures 3.29 : Consolidation par murs de contreventement

Source : Agence Qualité Construction, 2011



Figures 3.30 : Consolidation par murs de contreventement

Source : (ATTARI N, Juin 2015)

d) Le chaînage de la maçonnerie :

Le chaînage a pour effet de créer une ossature dans le mur de contreventement. (Figure 3.30)

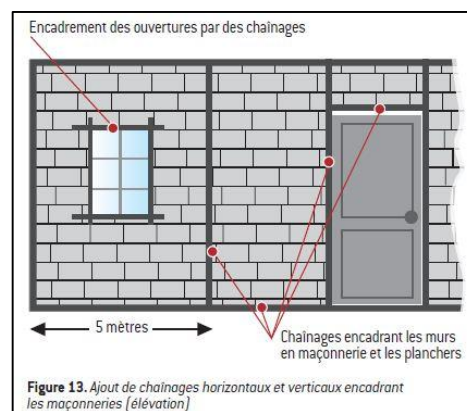
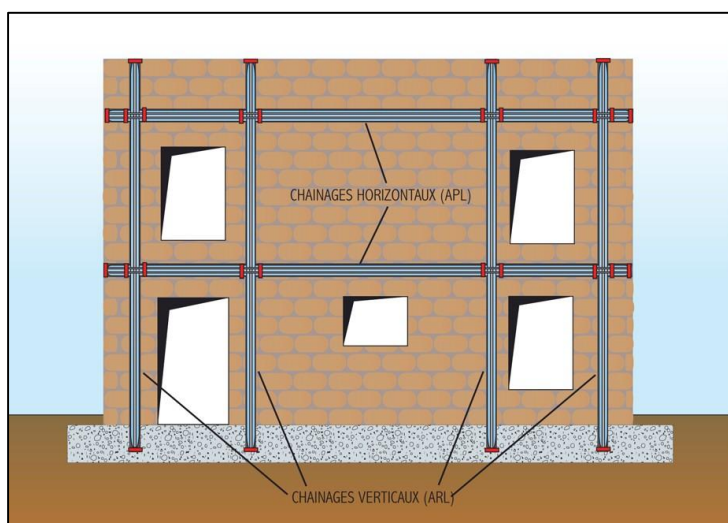
On distingue deux directions de chaînages (MTech Patrimonium) :

HORIZONTALE :

- Au niveau bas
- Au niveau de chaque plancher
- Au niveau du contreventement du haut des murs en l'absence de plancher sous comble,

VERTICALE :

- En bordure des panneaux de contreventement
- À tous les angles saillants ou rentrants de la construction
- Aux jonctions des murs encadrant les ouvertures.



Figures 3.31 : Principes généraux de chaînage proposés par MTECH Patrimonium

Source : (MTech Patrimonium)

MTech préconise, pour le chaînage, l'utilisation des ancrages suivants :

- APL de diamètre 90mm avec 4 barres de diamètres dépendant de la sollicitation pour les chaînages horizontaux, placés dans des forages de 120 mm (pour des murs d'épaisseur <30cm) et 180mm (au-delà de 30cm d'épaisseur) ; la gaine ne recouvre que les parties hors nœuds avec les chaînages verticaux, seules les barres assurant la continuité du chaînage traversent le nœud. (Figure 3.32)
- ARL 30/30/3 pour les chaînages verticaux placés dans des forages de 110mm ; la gaine recouvre tout l'ancrage qui traverse le chaînage horizontal. (Figure 3.33)

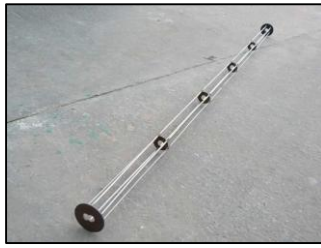


Figure 3.32 : détails de l'ancrage APL

Source : (MTech Patrimonium)

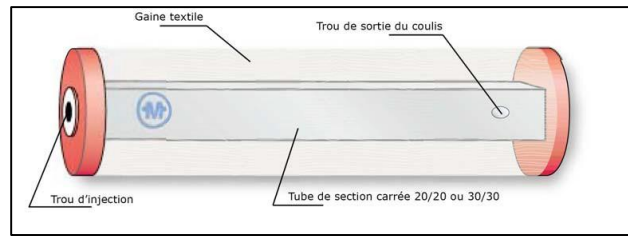


Figure 3.33 : détails de l'ancrage ARL

Source : Ibid.

Ce chaînage horizontal et vertical demande une technique dans la mise en œuvre les différents encrages. (Figure 3.34)

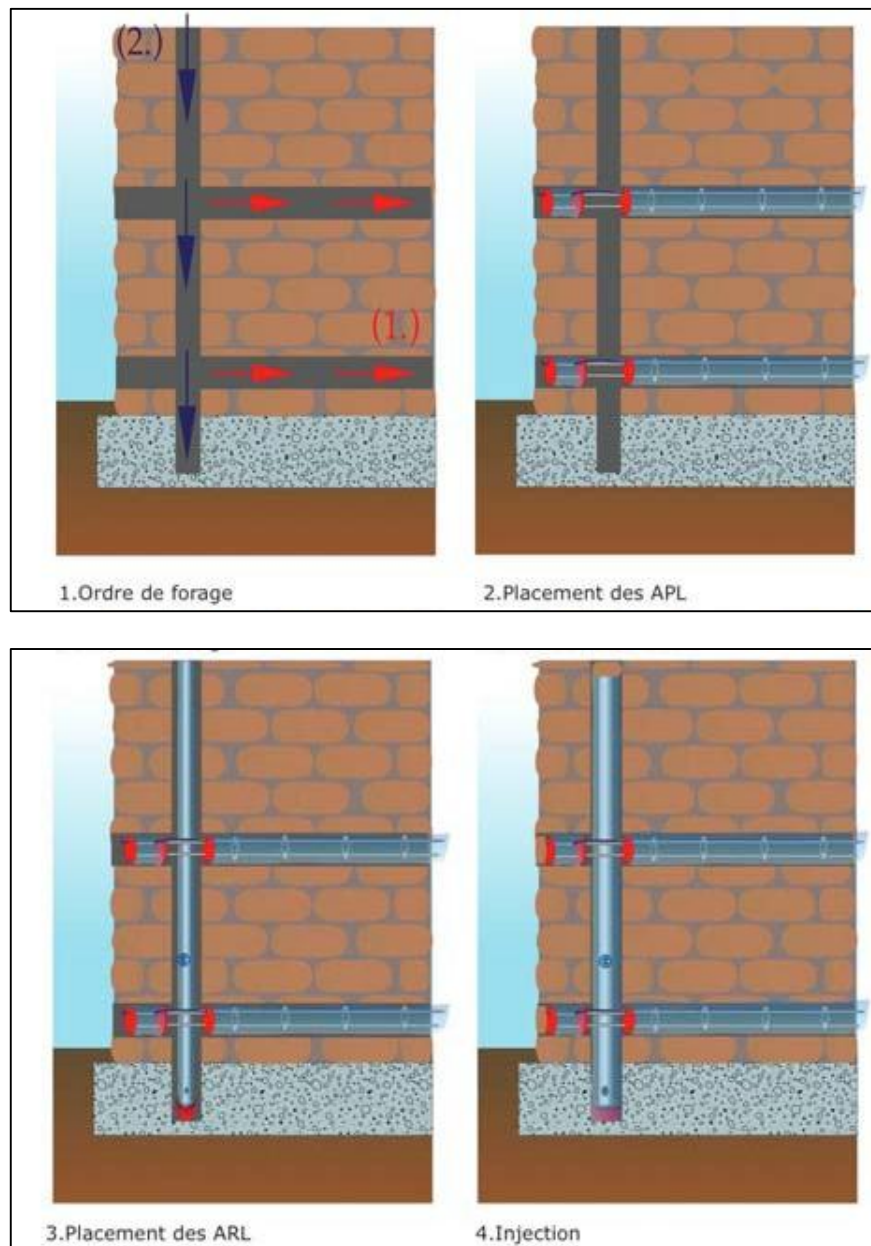


Figure 2.34 : Phases de placement des ancrages de chaînage horizontaux et verticaux

Source : Ibid.

Les panneaux sans ouvertures assurant le contreventement doivent satisfaire, entre chaînages parallèles aux conditions suivantes (Figure 3.34) :

- dimensions inférieures à 4 m (>2,0 m idéalement voir la figure ci-dessous) ou superficie inférieure ou égale à 20m².
- longueur de la diagonale inférieure à 40 fois l'épaisseur brute pour les murs en éléments pleins, 25 fois celle-ci pour les murs en éléments creux.

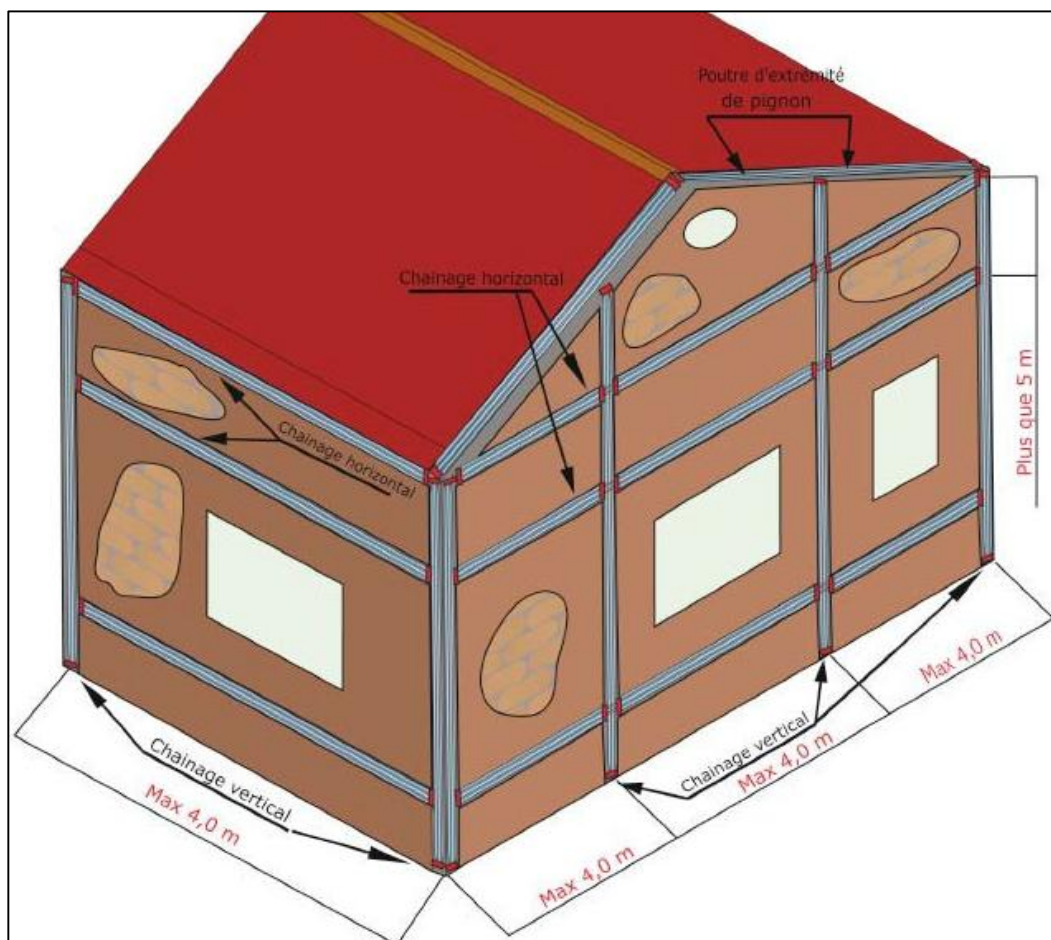


Figure 3.34 : exemple de chaînage d'un édifice

Source : Ibid.

Remarque : Le système MTech Patrimonium superpose les ancrages horizontaux sur base des résultats d'essais montrant que les efforts repris par les ancrages sont transmis à la maçonnerie par la formation d'arcs de déchargement. Il faut toutefois s'assurer que le matériau de base soit de bonne qualité. Dans le cas contraire une injection locale préalable du coulis de stabilisation CIS MTECH sera nécessaire. (MTech Patrimonium)

4.5. Traitement de fissures dans les murs en pierres :

Les murs du bâti ancien, essentiellement constitués de maçonnerie de pierre liés à la chaux, sont susceptibles de développer toutes formes de fissures, les causes principales étant le tassement différentiel des fondations. (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

4.5.1. Qu'est-ce qu'une fissure dans un mur en pierre ?

Dans le domaine de la construction, les fissures se concrétisent par des fentes, des brisures ou encore, des déchirures qui touchent certains éléments d'une construction, comme les murs, les plafonds, les planchers,...etc.

Concernant les murs en pierres du bâti ancien, les fissures sont visibles en surface, elles peuvent se manifester dans les enduits, les joints de maçonnerie, et les pierres. (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

4.5.2. Les différents types de fissures : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

Parmi les différents types de fissures, on distingue :

a) 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.

b) Les micro-fissures :

Ce sont des ouvertures de largeur inférieure à 0,2 mm, elles concernent généralement toute l'épaisseur de l'enduit.

c) 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.

d) Les lézardes (ou crevasse) :

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

4.5.3. Les causes des fissures des murs en pierre : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

Les causes des différents types de fissures des murs en pierre sont les suivantes :

a) Causes possibles d'un faïençage :

- Le séchage superficiel trop rapide (dessiccation) de l'enduit ou du badigeon ;
- L'excès de talochage.

b) Causes possibles des microfissures :

- Maçonnerie composée d'éléments divers, ayant des comportements hygrothermiques différents ;
- Mauvais dosage de l'enduit ;
- Excès de l'eau de gâchage ;
- Mauvaise adhérence de l'enduit ;
- Epaisseur trop importante de l'enduit.

c) Causes possibles des fissures :

- L'instabilité du terrain ou des fondations, entraînant des mouvements importants des constructions ;
- La déformation ou rotation du plancher sur le chaînage périphérique, voire le chaînage horizontale trop faible ;
- Chaînage vertical absent ou trop faible.

d) Causes possibles des lézardes :

- L'instabilité du sol ou des fondations qui entraînent des mouvements importants sur l'édifice.

4.5.4. Les Techniques de réparation des fissures des murs en pierre :

Parmi les techniques reconnues, qui sont utilisées pour la reprise des fissures des murs en pierre du bâti ancien, nous citerons :

a) Réparation d'une fissure par fixation de grillage : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

Cette technique consiste à fixer sur la zone fissurée du mur, une armature de type grillage galvanisé ou grillage de fibres synthétique de maillage supérieur à 2cm et cela se faisant, après décroûtage de l'ancien enduit et injection de coulis de chaux dans la fissure. (Figure 3.35)

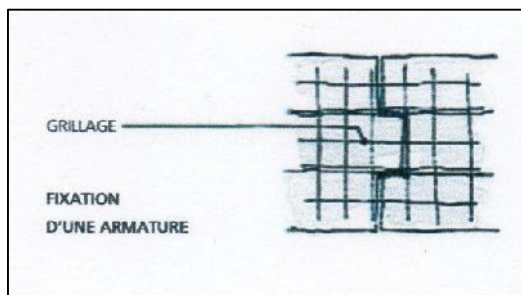


Figure 3.35 : Fixation d'une armature sur la zone fissurée d'un mur en pierre

Source : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

b) Traitement des fissures par injection :

Ce type de traitement est préconisé, pour traiter les fissures profondes qui peuvent survenir entre autres, dans les murs de pierre ou de brique.

Si les fissures sont petites mais l'épaisseur de la maçonnerie ne l'est pas, des injections de coulis minéral CIS MTECH sont préconisées. Ce coulis ne présente pas de retrait et convient très bien. (MTech Patrimonium)

Le traitement des fissures par injection, consiste à injecter des résines ou des coulis de chaux hydraulique ou de ciment dans les fissures, ce qui permet de reconstituer en profondeur les éléments altérés, tout en renforçant leurs résistances et leurs étanchéités.

c) Traitement des fissures par colmatage : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

On distingue deux types de traitement de fissures par colmatage :

- Un colmatage en profondeur, il s'agit d'un remplissage total de la fissure à l'aide de mastic ;

- Un colmatage superficiel, qui consiste à traiter la fissure sur quelques millimètres.

d) Traitement des fissures par encrage : (MTech Patrimonium)

En cas de fissures importantes (>10mm) y compris en diagonale, la solution proposée par MTECH est l'utilisation d'ancrage de type AAT (Figure 3.36), injectés au moyen du coulis CA MTECH pour lier les deux faces de la fissure. (Figure 3.37)

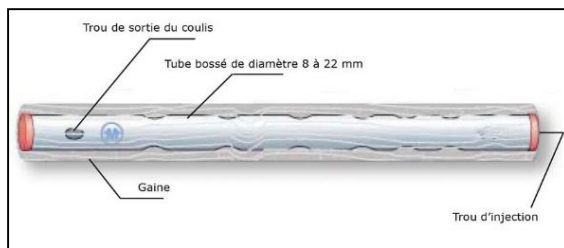


Figure 3.36 : Détails de l'ancrage AAT

Source : (MTech Patrimonium)

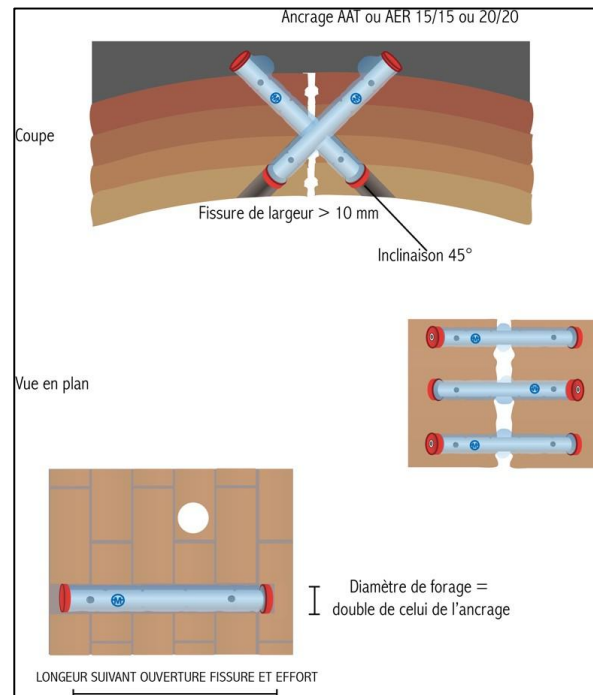


Figure 3.37 : Réparation de fissures avec ancrages

Source : Ibid.

4.6. Réhabilitation des planchers :

Dans le cadre de la réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien, l'intervention sur les planchers présentant des pathologies et désordres est nécessaire à plus d'un titre.

4.6.1. Les planchers en bois : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

Les planchers en bois figurent parmi les planchers qu'on retrouve dans une partie appréciable du patrimoine bâti ancien, ces types de planchers font souvent l'objet, d'intervention dans les multiples opérations de réhabilitation qui se mènent sur le bâti ancien.

4.6.1.1. Composition d'un plancher en bois : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

Les planchers en bois qu'on rencontre dans le bâti ancien, peuvent être à travure simple ou à travure composées.

De manière générale, ces planchers sont composés de solives et/ou de poutres en bois, celles-ci reposent sur des murs porteurs et sont recouvertes par des planches en bois formant le parquet. (Figure 3.38 & Figure 3.39)

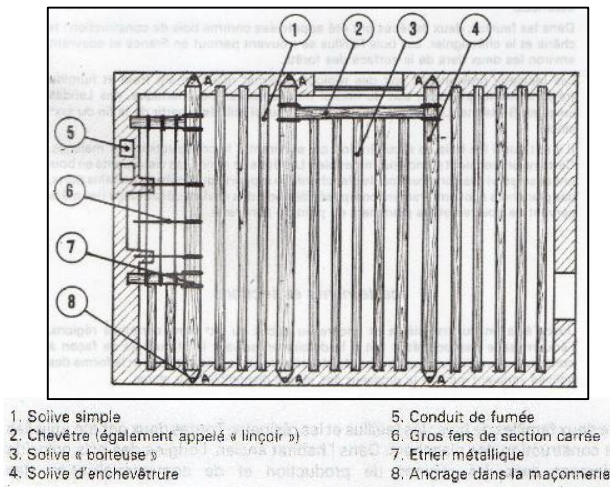


Figure 3.38 : composition d'un plancher en bois

Source : (AIT HAMOUDA Ibrahim. 2012-2013)

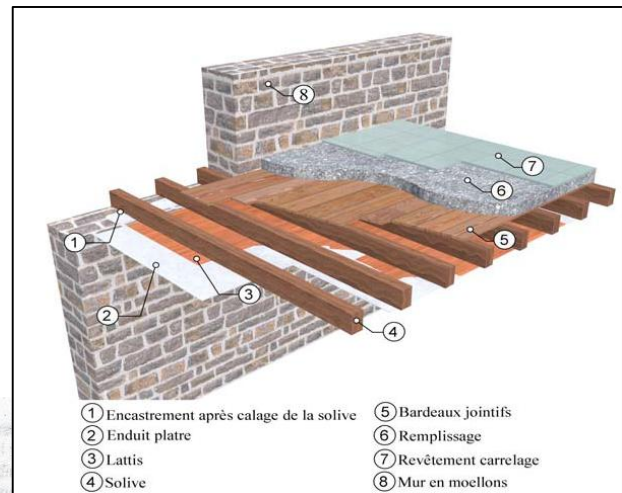


Figure 3.39 : composition d'un plancher en bois

Source : SOUKANE S & DAHLI M

Les dégradations les plus fréquentes qu'on diagnostique dans les planchers en bois sont dues principalement à deux causes :

- L'humidité qui entraîne l'attaque des champignons et ainsi le pourrissement des bois
- Les attaques des insectes parasites qui causent les vermoulures du bois.

4.6.1.2. Techniques de renforcement des planchers en bois :

Plusieurs techniques sont préconisées pour renforcer les planchers en bois défailants (Figure 3.40), parmi celles-ci nous distinguons :

- Renforcement par recoupement des travures par une poutre en bois ou en métal ;
- Renforcement par des solives intercalaires ;
- Renforcement d'une solive sur sa longueur.

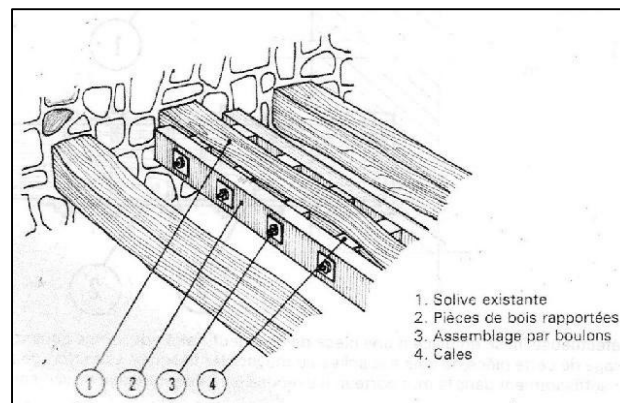


Figure 3.40 : Renforcement d'une solive sur toute sa longueur

Source : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

MTECH propose une gamme complète de solutions (système CARPO) pour raidir et renforcer les planchers en bois contre la torsion en plan (Figure 3.41) :

- les ancrages carbone de MTECH permettent l'addition d'une couche de panneaux sur l'existant ou le renfort des joints et liaisons entre fermes ;
- la mise en place d'une couche de béton armé sur plancher en bois avec liaison entre les deux et ancrage du béton aux murs périphériques est réalisable par MTECH grâce à l'ancrage représenté au paragraphe « fonction de liaison ».

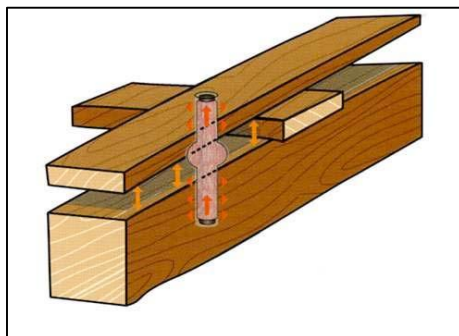


Figure 3.41 : Système CARPO de raidissement de planchers en bois

Source : (MTech Patrimonium)

La liaison est à considérer sous trois aspects : liaison du plancher aux éléments de structure y compris sur ses rives latérales et liaison entre façades opposées.

MTech Patrimonium préconise l'usage d'ancrages développés à cet effet, pour ancrer les armatures dans les deux directions en cas d'absence de poutre de rive. Ils sont placés en recouvrement, disposés sur la table de compression, en oblique dans le mur si nécessaire pour augmenter la longueur d'ancrage (mur porteur peu résistant).

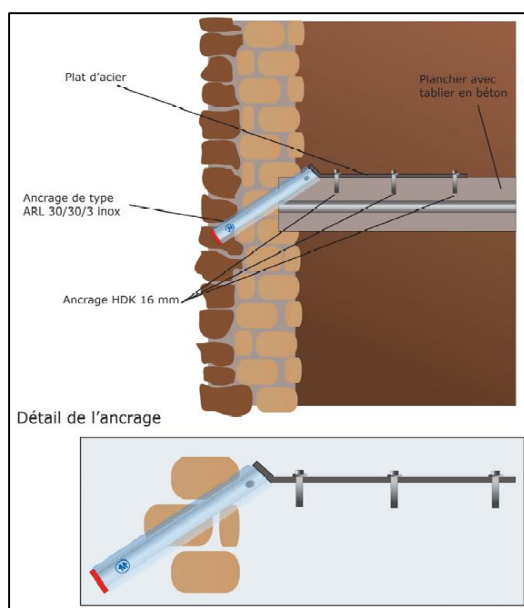
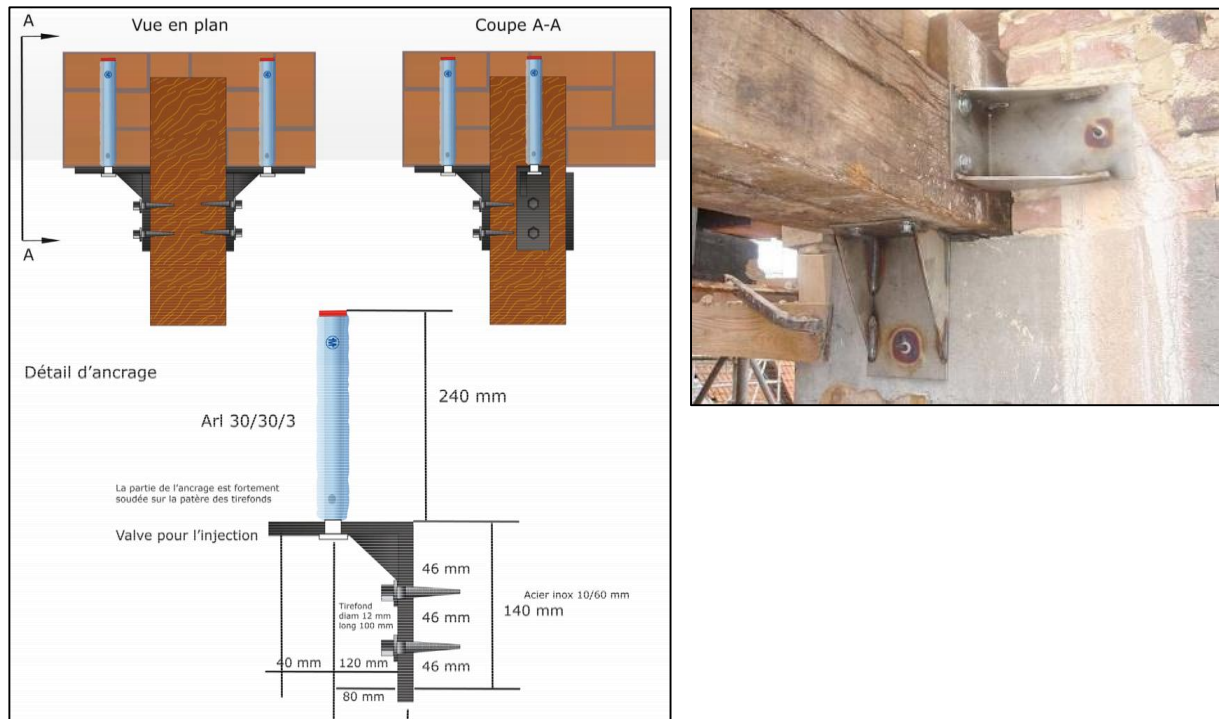


Figure 3.42 : Ancre de liaison entre mur de maçonnerie et table de compression du plancher en l'absence de poutre de rive

Source : Ibid.

D'autres systèmes ont été mis au point pour solidariser une structure en bois à un mur de maçonnerie en l'absence de poutre de rive.

Cette dernière a un rôle important dans le chaînage de la structure et sera alors remplacée dans les deux cas, explicités ici par un ancrage APL.



Figures 3.43 : Exemple de liaisons entre poutres en bois et murs extérieurs en l'absence de poutre de rive

Source : Ibid.

4.6.2. Les planchers métalliques : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

Les planchers métalliques comptent parmi les types de planchers les plus courants dans le patrimoine bâti ancien, ce plancher est apparu pendant la seconde moitié du 19^{ème} siècle, à partir de 1900 son utilisation dans la construction s'est généralisé, son usage a continué en se diversifiant, jusqu'à la fin de la deuxième guerre mondiale ou un peu plus tard.

4.6.2.1. Composition d'un plancher métallique :

Comme pour les planchers à ossature en bois, les planchers métalliques qu'on rencontre dans le bâti ancien, sont généralement à travure simple et/ou à travure composée.

En générale, ces planchers sont composés de profilés ou solives métalliques, qui reposent sur des murs porteurs. Ces planchers sont aussi constitués d'un remplissage placé entre les solives, sur lequel est coulé un béton maigre de plâtre ou autre. (Figure 3.44) (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

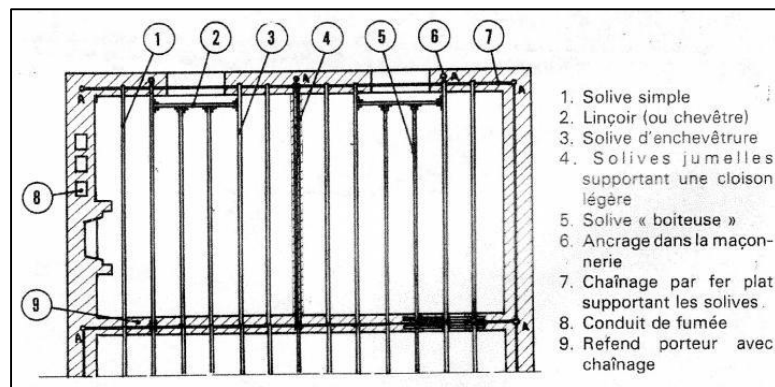


Figure 3.44 : Composition type d'un plancher métallique

Source : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

4.6.2.2. Les types courants des planchers métalliques du bâti ancien :

On rencontre dans le patrimoine bâti ancien plusieurs types de planchers métalliques, parmi ceux-là, nous présenterons les planchers courants suivants (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013) :

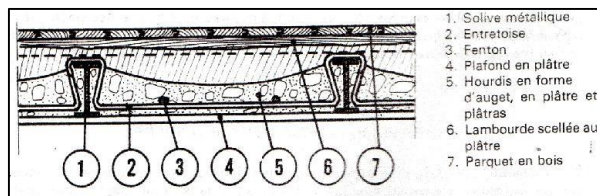


Figure 3.45 : Plancher métallique avec hourdis en auget

Source : Ibid.

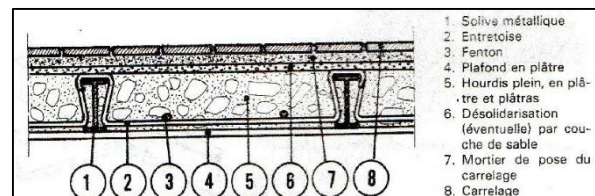


Figure 3.46 : Plancher métallique avec hourdis plein

Source : Ibid.

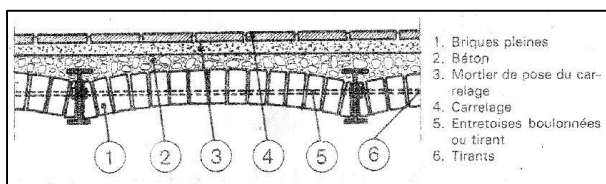


Figure 3.47 : Plancher métallique avec voûtains en brique pleine

Source : Ibid.

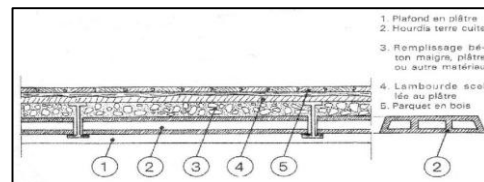


Figure 3.48 : Plancher métallique avec hourdis en terre cuite

Source : Ibid.

4.6.2.3. Les causes de dégradation des planchers métalliques :

La principale dégradation des planchers métalliques est la corrosion de ses ossatures, celle-ci est toujours due à une infiltration importante d'eau. (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

4.6.2.4. Techniques de renforcement d'un plancher métallique :

Parmi les techniques de renforcement d'un plancher métallique, on peut citer :

a) Le recouvrement des travures par une poutre métallique :

Le recouvrement des travures par une poutre métallique est la technique la plus simple pour renforcer un plancher métallique ancien, mais sa mise en œuvre n'est pas toujours facile. Pour réaliser cette solution, il suffit de mettre en place à mi-portée de la travure environ, une poutre

métallique sur laquelle les profilés du plancher viendront reposer, les solives reposeront ainsi sur trois appuis rapprochés, ce qui augmentera la charge admissible du plancher. (Figure 3.49)

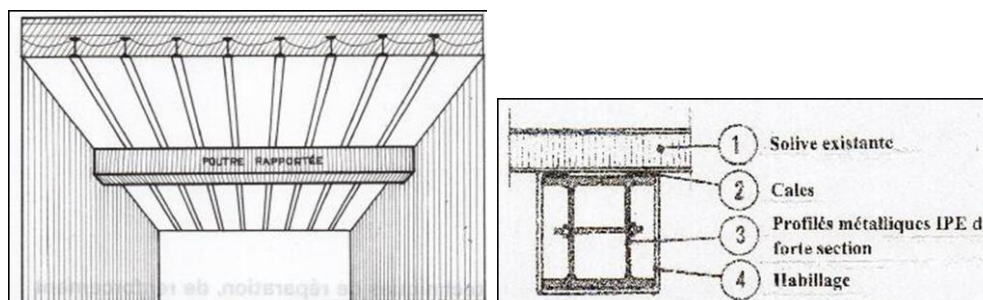


Figure 3.49 : Renforcement d'un plancher métallique par recouplement d'une travure par une poutre métallique

Source : Ibid.

b) Le renforcement des profilés :

Cette solution consiste à renforcer une à une les solives par le dessous, en soudant des fers plats ou des profilés (fer en T, I, U ou en C) afin d'augmenter leur inertie. (Figure 3.50)

Cette solution s'avère peu avantageuse, car le taux de travail des pièces métalliques adjointes est important. (ACHAB SAMIA EP CHERNAI, Juin 2012)

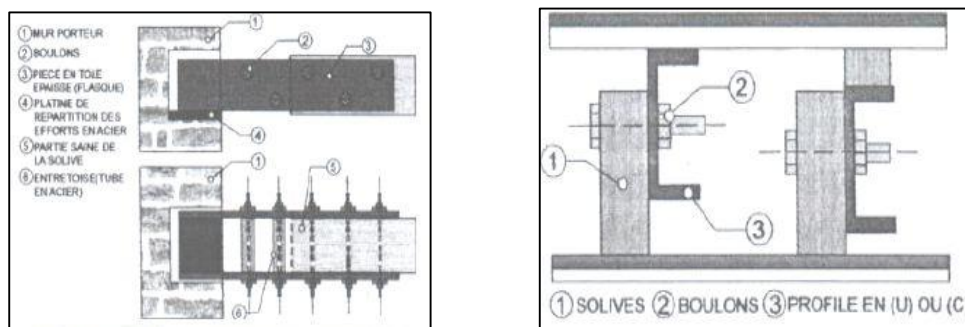


Figure 3.50 : réparation des liaisons à travers des profilés métalliques

Source : (ACHAB SAMIA EP CHERNAI, Juin 2012)

4.7. Réhabilitation des toitures :

Le traitement des désordres, que peuvent présenter les toitures, figure parmi les travaux majeurs à mener, dans une opération de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.

En effet, la conservation d'un bâti dans des bonnes conditions dépend pour autant du bon état de sa toiture. (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

4.7.1. Les causes de dégradation des toitures du bâti ancien :

La présence des mousses et lichens dans les toitures du patrimoine bâti ancien, notamment sur les parties Nord, est recensée parmi les causes de dégradation de ses couvertures. Effectivement, mousses et lichens stockent l'humidité, favorisent les infiltrations d'eau, ce qui peut provoquer des dommages importants dans ledit bâti.

A cet effet, l'élimination et la prévention de l'apparition de ces parasites (mousses, lichens) s'ils sont diagnostiqués, doivent figurer parmi les actions nécessaires à mettre en œuvre, dans le cadre de la réhabilitation de la toiture d'un patrimoine bâti ancien. (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

4.7.2. Réparation d'une couverture en tuiles plates (de Marseille) :

La majeure partie des toitures en pentes que compte le patrimoine bâti ancien en Algérie, sont recouvertes de tuiles plates mécaniques dites de Marseille, ces dernières couvrent souvent des supports ou des ossatures en bois. (Figure 3.51) (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)



Figure 3.51 : Couverture en tuiles plates dégradée (Tuiles manquantes, prolifération mousses, algues et lichens)

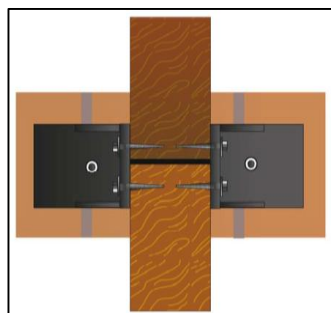
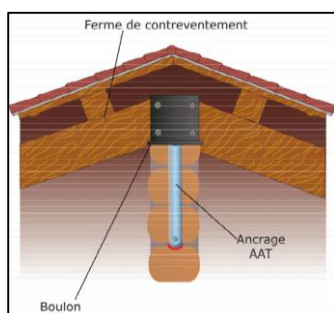
Source : (AIT HAMOUDA Ibrahim, 2012-2013)

Ce type de toiture peut présenter des dégradations notables, qui font objet de réparation dans les multiples interventions de réhabilitation. A cet effet, parmi les récurrents travaux de réhabilitation d'une toiture en pente à tuile d'un bâti ancien on notera :

- Le remplacement des tuiles arrachées ;
- Le remplacement des ouvrages d'évacuation comprenant les gouttières et chéneaux, les Tuyaux de descente et leurs accessoires (crochets, colliers, coudes, bagues et cuvettes).

4.7.3. Renforcement des fermes de la toiture :

Plusieurs solutions permettent le contreventement et l'ancrage des fermes de toitures dans les murs porteurs. La plus courante consiste à ancrer la membrure inférieure de la ferme aux murs au moyen d'ancrages AAT, celle-ci pouvant être alors sollicitée en compression ou en traction. (Figure 3.52 & Figure 3.53)



Figures 3.52 : Liaison au sommet entre fermes de toiture et maçonnerie

Source : (MTech Patrimonium)

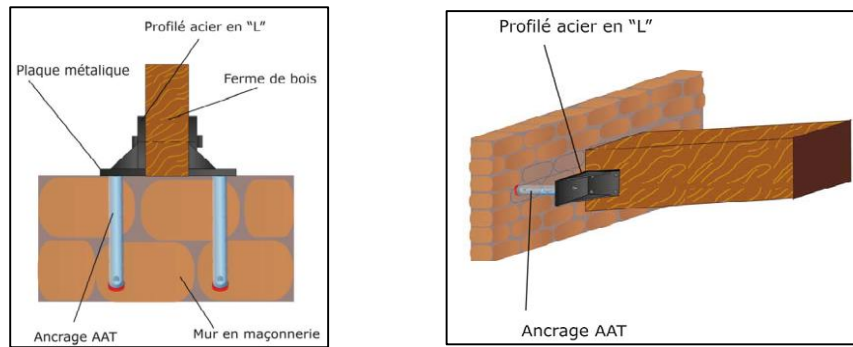


Figure 3.53 : Liaison du support des fermes de toiture avec maçonnerie en l'absence de poutre de rive

Source : (MTech Patrimonium)

4.8. Renforcement du système d'arcature :

C'est un procédé qui consiste à la disposition des éléments linéaires qui vont exercer des tractions visant à freiner l'effondrement du mur ou leurs déformations progressives transversalement à leur plan. Ces tirants sont constitués d'un câble d'acier ancré par forage dans la maçonnerie à une hauteur du 1/3 de la flèche des arcades et fixés à deux murs opposés (Figure 3.54) et à l'extrémité de la construction, par des pièces spécifiques d'ancrage (Figure 3.55), à travers lesquelles l'évolution de leur écartement et la perte de leur capacité résistante sera évitée. Le système de tirant se pose de façon à ce que l'un, au moins, des deux éléments d'ancrage admette un réglage périodique de la tension afin d'en compenser les effets éventuels de son allongement (Figure 3.55). Ce procédé est utilisé aussi dans le renforcement des structures horizontales et les murs porteurs (Figure 3.56). (ACHAB SAMIA EP CHERNAI, Juin 2012)

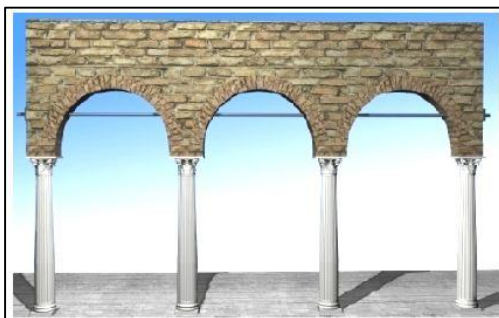


Figure 3.54 : renforcement du système d'arcature

Source : ACHAB SAMIA EP CHERNAI, 2012

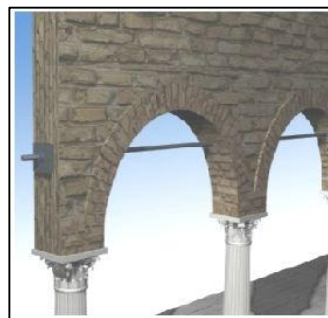


Figure 3.55 : système de réglage périodique du tirant

Source : Ibid.

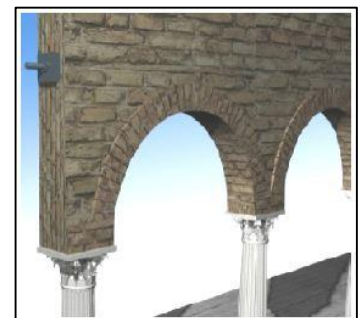


Figure 3.56 : système de réglage périodique du tirant, en haut dans le mur

Source : Ibid.

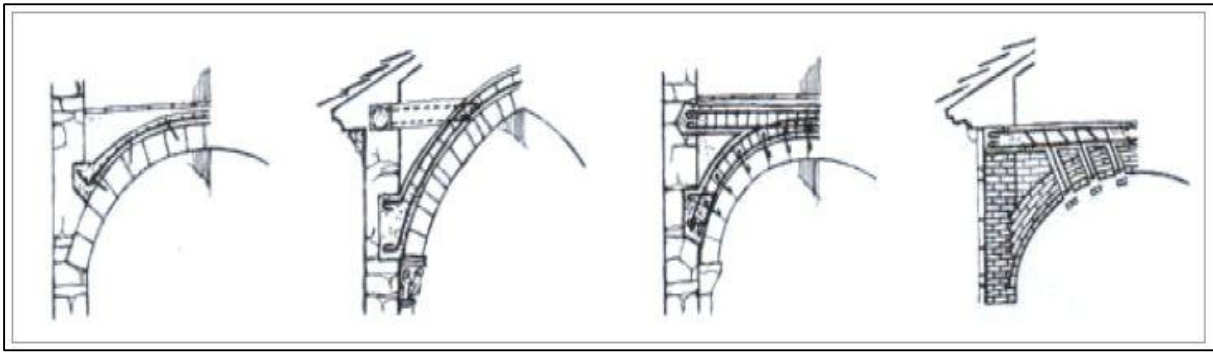


Figure 3.57 : renforcement des arcs par des tirants (avec chainage périphérique)

Source : (ACHAB SAMIA EP CHERNAI, Juin 2012)

5. Conclusion

Dans ce présent chapitre nous avons relevé, les différentes techniques qui sont préconisées de nos jours, pour réhabiliter les divers éléments de structures d'un patrimoine bâti ancien dégradé. Ces techniques, sont faites par niveaux et selon des stratégies.

Toutes les techniques et tous les procédés cités dans ce chapitre ont un rôle et un effet important dans une intervention structurelle, comme chacune d'elle conçu de manière à respecter dans leur mise en œuvre les valeurs architecturales que peut présenter le bâti ancien objet de l'intervention.

Chacune des techniques présentées, doit être mise en œuvre d'une manière spécifique selon la nature et l'état d'objet à consolider/renforcer ou réparer.

Partant de cette base de données sur les méthodes et les techniques de renforcements du bâti ancien, nous essaierons d'analyser et évaluer celles utilisées dans notre cas d'étude (siège d'APC d'El-Harrach) afin d'argumenter sur ces techniques et de recommander sur elles si elles ne sont pas les meilleurs solutions.

DEUXIEME PARTIE : analyse et évaluation (***partie pratique***) du siège d'APC d'El Harrach et les techniques utilisées dans sa réhabilitation, et adaptation d'autres plus durables et plus adéquates en zones sismiques.

Chapitre 4 : Analyse critique de l'état du siège d'APC d'El Harrach et des techniques utilisées dans la réhabilitation qu'il a subit.

1. Introduction

Dans ce chapitre nous aurons l'occasion de travailler avec un édifice ancien de valeur historique et patrimoniale (siège d'APC d'El Harrach) dont la démarche se base sur la méthode Rehabimed qui va de moindre informations sur l'édifice jusqu'à la dernière étape qui est l'entretien.

Dans notre démarche à suivre, nous allons baser sur les principes utilisés dans Rehabimed, mais ne pas suivre l'ordre chronologique des points traités par cette méthode. premièrement, vue que le siège a déjà été réhabilité, nous voulons examiner ce siège à l'état actuel et afin d'arriver à l'analyser d'une manière critique, mais aussi prendre position d'intervenir à nouveau ou pas. Deuxièmement, on va passer plusieurs points cité dans Rehabimed par manque d'informations, mais aussi vue l'intérêt de notre recherche (par exemple dans cette recherche, on n'a pas le but d'analyser les mesure de confort).

A cet écart nous commençons par le recueillement des informations concernant la situation, nature et l'importance de l'édifice et son identification. Et puis nous passerons à un travail de terrain (relevé, photographier, observer,...) pour avoir le dossier graphique et afin d'analyser, décortiquer, soulever tous les points endommagés et les changements qui concernent le siège, notamment les techniques de renforcement/consolidation utilisées dans la réhabilitation de ce dernier.

2. Présentation du cas d'étude

2.1. Historique du siège d'APC d'El Harrach

L'édifice ciblé comme cas d'étude **concerne le siège de la commune d'El Harrach**, est né dans un endroit qu'a connu une histoire très riche est très intéressante dès sa naissance sous le nom maison carrée jusqu'à nos jours.

La maison carrée est à l'origine turc construite en 1724, comme un fort bordj à murs très épais. Ce fort était également connu sous plusieurs autres noms (bordj el kantara, Draa Harrach, Bordj el Agha et Bordj Yahia). A l'arrivée des français vers 1830, la maison a connu une expansion et devenue le village de la maison carrée. En 1844 ce village est rattaché à la commune d'Hussein Dey. C'est jusqu'au 14 septembre 1870 que ce village appelé maison carrée devient alors commune d'El Harrach l'édifice de plein exercices avec ALEXENDERVAN MASYK comme le premier maire de cette commune. A la même date il y a eu la construction de cet édifice ciblé (siège de la commune d'El-Harrach). (Figure 4.1)

Aujourd'hui cet édifice il a une grande valeur patrimoniale d'après ce qu'il porte comme richesse décoratif, architecturale d'une part et d'autre part c'est un édifice public qui représente une commune et toute la population de cette dernière.



Figure 4.1 : Maison carrée (mairie / place de la mairie), Photos prises vers 1917

Source : www.abcdelacpa.com

2.2. Situation du siège d'APC d'El Harrach

Le siège de la commune d'El Harrach (APC) qu'a été construit en 1870 par les colonisateurs français sous le nom la mairie de maison carrée, se situ au centre de la ville d'EL Harrach à 12 Km d'Alger centre. Il occupe un emplacement stratégique dans la ville en face de la place d'El Harrach qui y est nommée (la place de la mairie). (Figure 4.2)



Figure 4.2 : situation de la mairie d'El-Harrach

Source : www.Google earth.com

2.3. Délimitation du siège d'APC d'El Harrach (Figure 4.3)



Figure 4.3 : délimitation du siège de la mairie d'El-Harrach

Source : PDAU, 2015

3. Vulnérabilité de l'édifice vis-à-vis les risques existants dans l'environnement immédiat (centre d'El-Harrach)

D'après la situation de cette édifice au centre d'El-Harrach, et avant de parler sur n'importe quelle actions ou décision d'agir, nous devons analyser et voir les risques majeurs qu'existent au niveau de l'environnement immédiat de ce siège. Pour cela nous citons :

3.1. Le risque sismique :

Compte tenu de la localisation de l'Algérie, qu'est dans une zone de convergence de plaques, l'Algérie est une région à forte sismicité (figure 4.4 & Figure 4.5). Au cours de son histoire, elle a subi plusieurs séismes destructeurs. Parmi les plus notables, on peut citer : 1715, séisme d'Alger, 20000 morts ; 1954 séisme d'Orléans ville (EL Asnam), magnitude 6,7, 1 200 morts, 20 000 bâtiments détruits ; 1980 séisme d'El Asnam, magnitude 7,1, 2600 morts ; et dernièrement l'importance des destructions engendrées par le séisme du 21 mai 2003, l'intensité de cette secousse est a priori supérieure à VIII. (www.irsn.org)

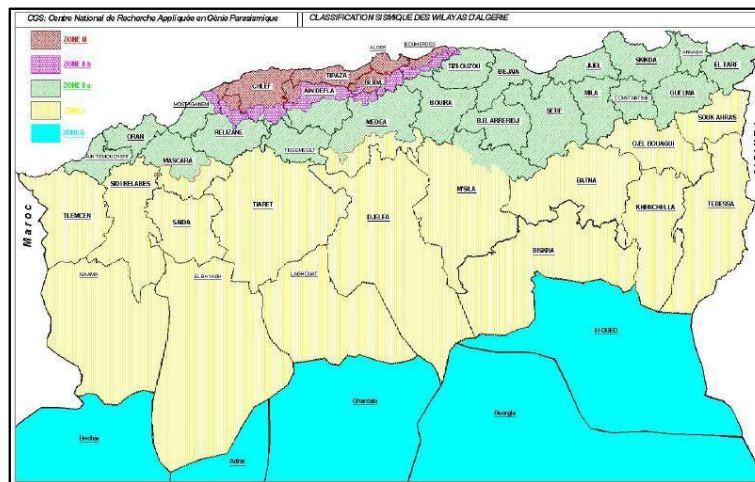


Figure 4.4 : classification des zones sismique en Algérie

Source : RPA, 2003

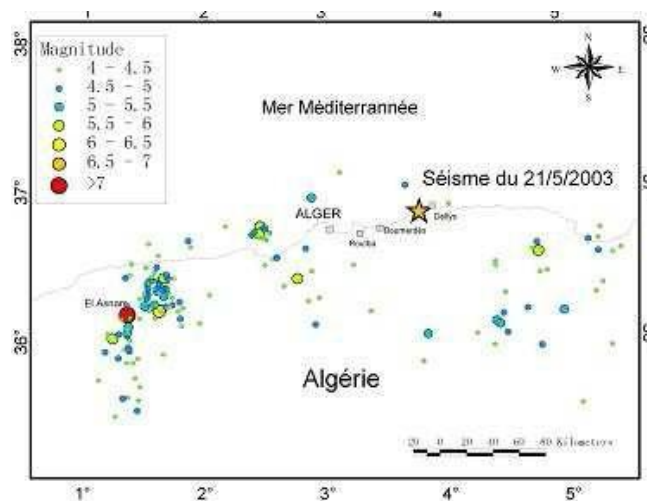


Figure 4.5 : Carte de la sismicité enregistrée en Algérie depuis 1973

Source : RPA, 2003

Vue les informations sur le risque sismique en Algérie, on constate que la situation de notre édifice d'étude au centre de la commune d'El-Harrach cours un grand risque sismique. D'ailleurs l'édifice a subit de grands dommages lors du dernier séisme en l'an 2003.

3.2. Le risque d'inondation :

Le centre d'El-Harrach est traversé par l'Oued El Harrach. Pour cela, on parle de risque des inondations d'Oued El Harrach (Figure 4.6). Cet Oued qui subit une crue centennale de 2500m³/s, a toujours connu de nombreux phénomènes hydrologique extrême qu'ont provoqué d'importantes crues occasionnant des inondations dévastatrices qui causent des pertes humaines et des dégâts matériels considérables.

La topographie défavorable des terrains (pentes très faibles), les précipitations intenses, ajoutées à la faible perméabilité et la saturation des sols rendent très difficile le drainage des eaux de surface, ceci constitue les principaux facteurs conduisant à l'inondation des zones planes et peu élevées de la commune d'El-Harrach. (Figure 4.7)

En 1911, le centre d'El-Harrach a subi une inondation catastrophique comme l'on voit dans les figures suivantes.



Figure 4.6 : Oued El-Harrach et le centre d'El-Harrach
Source : Ewa azzag & Aroua Najet. 2009.



Figure 4.7 : inondations dans les zones planes dans le centre d'El-Harrach
Source : service communication, APC d'El-Harrach, 2015.

D'après ces illustrations et notamment celle de gauche, on constate que le centre d'El-Harrach a vécu à grand problème d'inondation en 1911. On voit aussi que le niveau des eaux a complètement masqué le soubassement du siège d'APC d'El-Harrach (hauteur des eaux à environ 1,40 m).

NB : D'après cela, on conclut que notre cas d'étude court un risque au cas des inondations.

4. Degré de qualification et de catégorisation de l'édifice

Le degré de qualification et de catégorisation d'un édifice ou bâtiment quel que soit, il dépend de plusieurs paramètres. Comme, il peut être classé différemment d'une référence à une autre, d'une stratégie à une autre.

Dans notre cas, nous allons prendre en considération trois paramètres dans le classement de notre édifice : l'importance historique de l'édifice, son type d'exploitation et la classification de l'ouvrage pour une protection sismique.

4.1. L'importance historique :

D'après toute l'historique qu'a été citée sur le siège d'étude auparavant, et aussi d'après tout ce qu'il porte comme richesses (architecturales, décoratifs, et même constructifs, ...). On constate que le siège d'APC d'El-Harrach est un édifice patrimonial important, mais qui n'est pas classé.

Donc, d'après tout cela, on peut dire que notre cas d'étude (siège d'APC d'El-Harrach), est un édifice à **grande valeur patrimoniale non classé**, mais qui risque d'être classé avec le temps.

4.2. Type d'exploitation :

Ce siège d'APC d'El-Harrach, comme l'indique son nom, c'est un édifice public qui représente une commune et toute la population de cette dernière. Donc, c'est un édifice qui reçoit de publics.

Selon la référence citée dans le chapitre 3 concernant la catégorisation des bâtiments, on trouve que les édifices qui reçoivent de publics sont classés dans une catégorie d'importance 3. Donc, notre édifice d'étude est classé dans une **catégorie d'importance 3**.

4.3. Classification de l'ouvrage pour une protection sismique

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

Selon la classification de règlement parasismique Algérien (RPA, 2003), notre édifice d'étude est classé dans les ouvrages de grandes importances. De cela, notre édifice est classé dans le **GROUPE 1B**.

NB : d'après toutes ces classifications paramétriques de l'édifice, nous pouvons conclure que ce siège est un édifice qui porte une très grande importance dans les différents axes (patrimonial,...). Donc, la protection de ce siège devrait être une nécessité, et avec une grande réflexion.

5. Critères de choix du cas d'étude

Parmi les critères qui nous ont menés à choisir ce cas d'étude, nous citons deux principalement :

- La situation de l'édifice en zone à forte sismicité et dans un mauvais sol d'une part, et son importance tant que histoire, activité d'autre part.

- L'édifice présente un grand dommage depuis longtemps qu'est l'effet de tassement différentiel (la partie droite est tassée par rapport à celle de gauche).

6. Définition du système structurel et constructif

Selon la documentation et toutes les illustrations que nous avons sur le siège d'APC d'El-Harrach notamment celles présent lors de l'intervention, nous avons pu soulever ce qui suit :

- a) Parmi les systèmes constructifs principaux, on trouve des murs en maçonnerie de pierre. (Figure 4.8 & Figure 4.9)



Figure 4.8 : murs en maçonnerie de pierre au niveau de l'étage



Figure 4.9 : murs en maçonnerie de pierre au niveau de l'acrotère de la terrasse

D'après la présence de ces murs dans les différents niveaux et en tout endroits de la bâtisse, on peut dire que dans le système structurel principalement utilisé à l'état initial on trouve des **murs porteurs en maçonnerie de pierres**.

Dans cette 3D qu'est faite par logiciel Sketchup (Figure 4.10), on voit nettement que les murs extérieurs et intérieurs sont tous des murs porteurs en pierre.

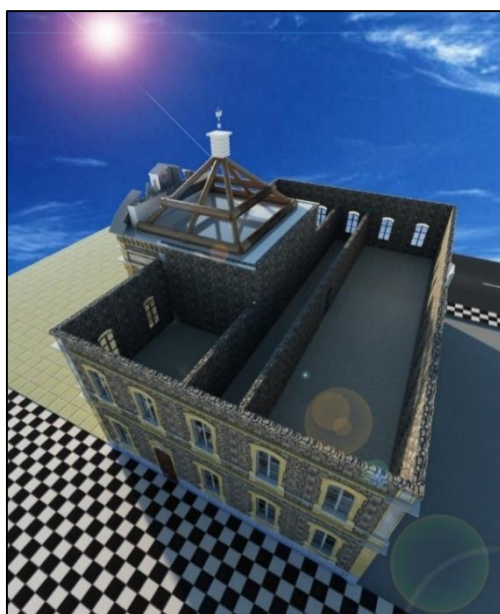


Figure 4.10 : structure principale de la bâtisse, murs porteurs en pierre

- b) D'après certaines illustrations anciennes sur l'édifice, on trouve la présence des éléments verticaux comme points porteurs notamment aux niveaux des angles et de l'entrée, et qui jouent un rôle décoratif et esthétique qui rends compte de la richesse de la bâtisse. (Figure 4.11)

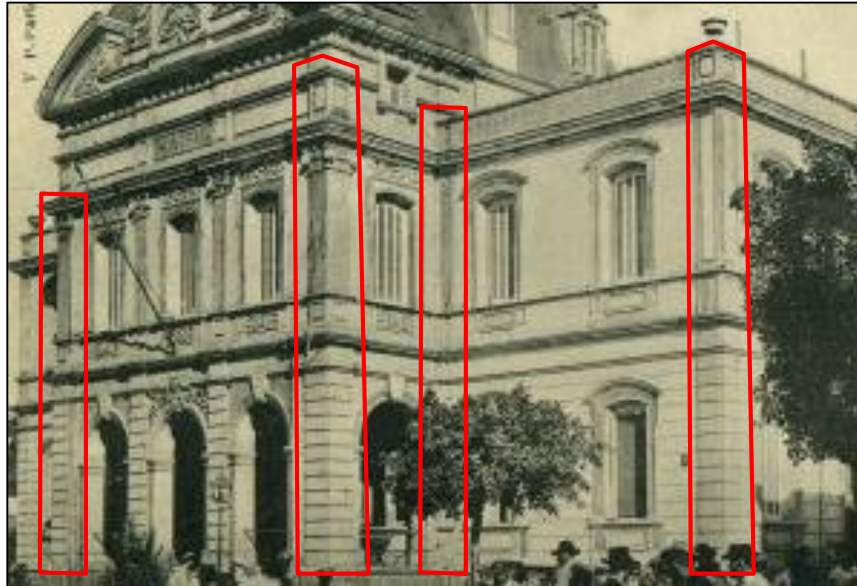


Figure 4.11 : points porteurs décoratifs et esthétique de l'édifice d'étude

Source : www.abcdelacpa.com

Ces éléments verticaux jouent un double rôle (porteur et décoratif), mais des fois ils ont un rôle uniquement esthétique et décoratif. (Figure 4.12)

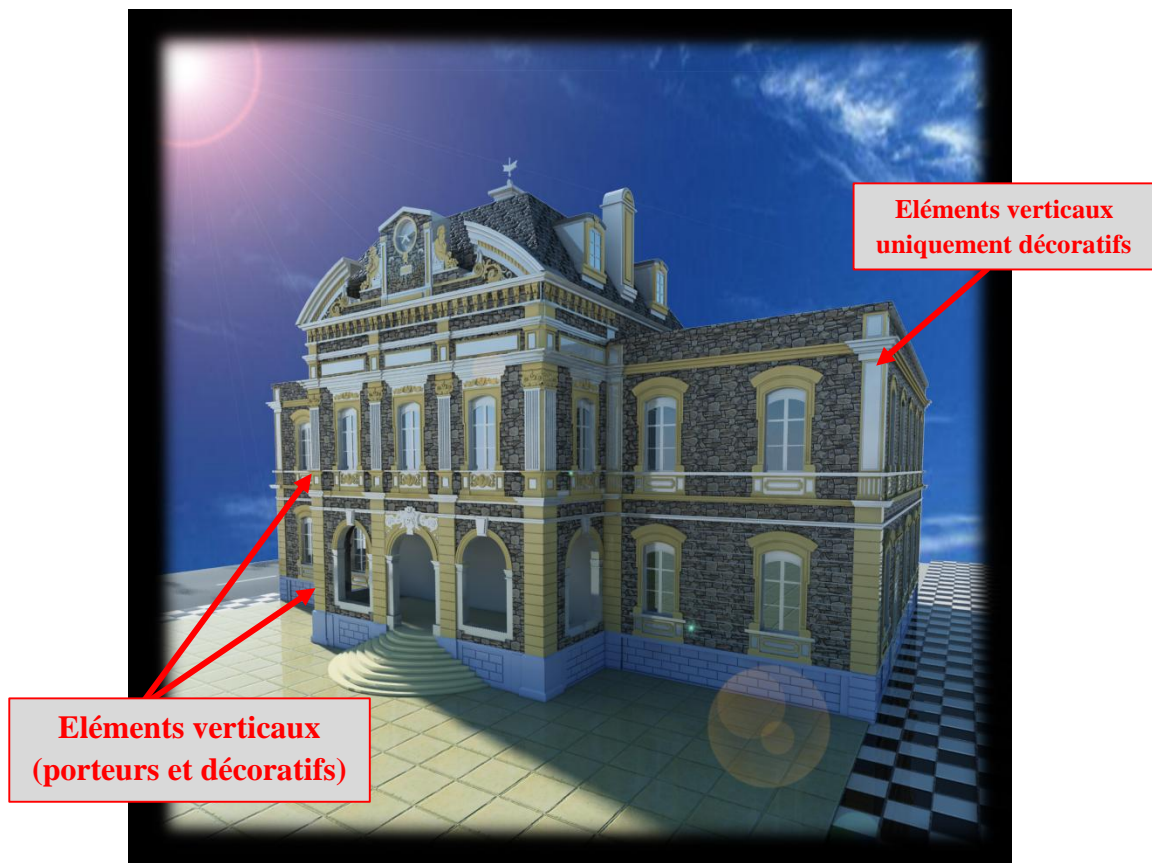


Figure 4.12 : points porteurs décoratifs et esthétique de l'édifice d'étude

- c) Le type de plancher utilisé dans la construction de l'édifice est un plancher métallique à voutains maçonné en brique creuse et des poutres composées (Figure 4.13 & Figure 4.14)



Figure 4.13 : plancher métallique à voûtain maçonné et une poutre composée repose directement sur le mur en pierre



Figure 4.14 : image sur la brique creuse utilisée au niveau des planchers

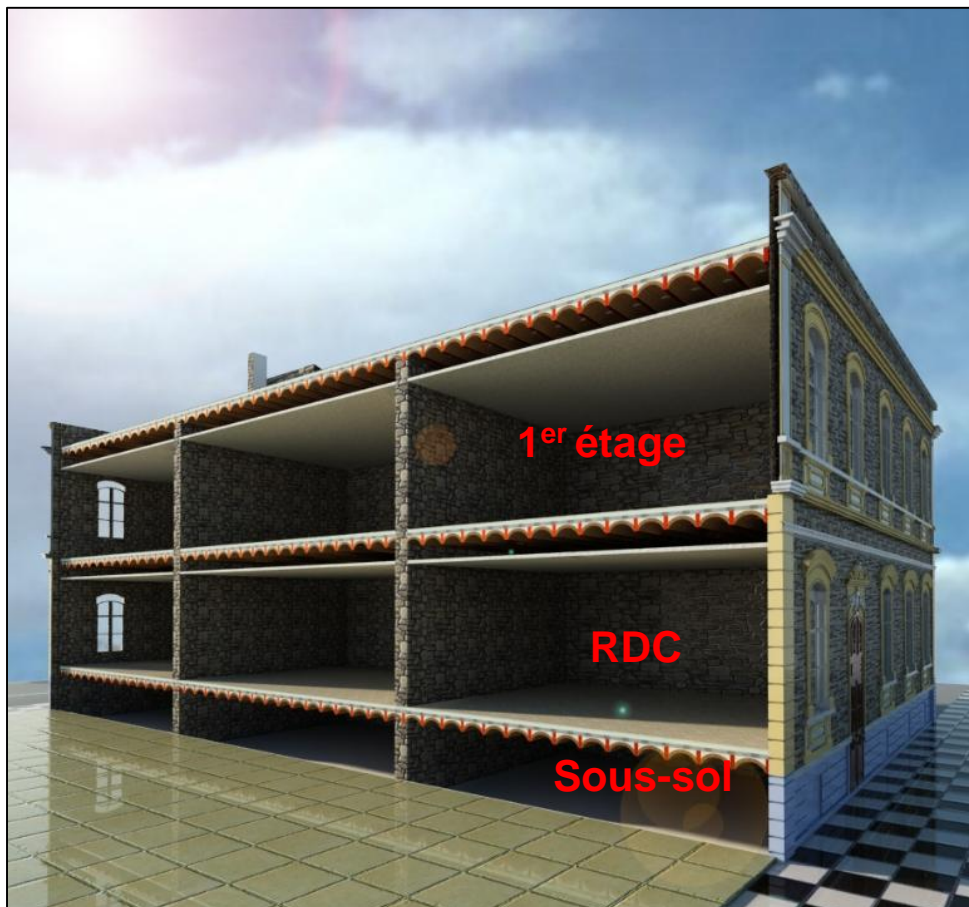


Figure 4.15 : l'ensemble des planchers utilisés sont de type métallique à voûtain, maçonnés en briques creuses

- d) Les escaliers sont construits en bois (hélicoïdale et même balancé), ils sont fixés aux murs porteurs et aux planchers par un système d'encastrement. (Figure 4.16 & Figure 4.17)



Figure 4.16 : vue sur l'escalier hélicoïdale en bois avec l'importance de la hauteur sous plafond



Figure 4.17 : vue sur l'escalier balancé en bois

- e) Coupole en plâtre couverte par une charpente. (Figure 4.18 & Figure 4.19)



Figure 4.18 : Vue sur le sommet de la coupole



Figure 4.19 : La coupole en plâtre comme couverture pour la salle des réunions

- f) Charpente avec une structure en bois (Figure 4.21) et une couverture en ardoise artificielle (Figure 4.20).



Figure 4.20 : Couverture en ardoise artificielle



Figure 4.21 : Ossature, Rondins en bois

g) Les illustrations suivantes (Figure 4.22) nous montrent pratiquement tous les éléments constructifs extérieurs et intérieurs utilisés dans la construction de la bâtisse.

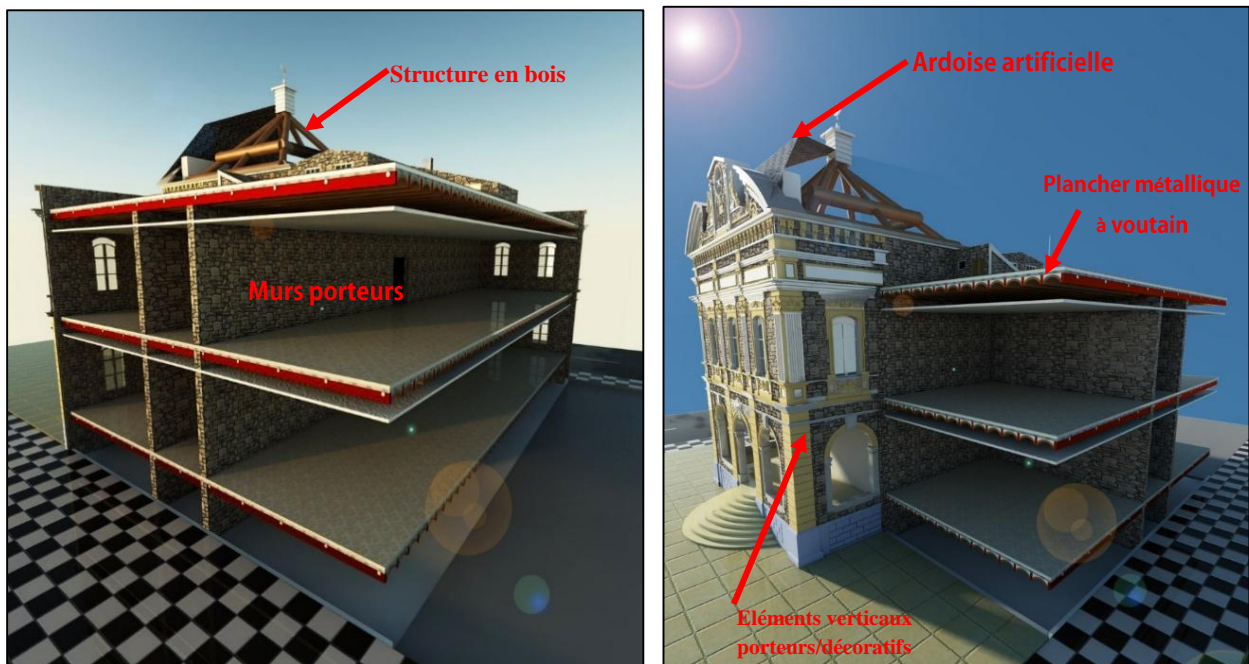


Figure 4.22 : Schémas récapitulatifs de l'ensemble de systèmes structurel et constructif de l'édifice

NB : d'après tous ces systèmes constructifs utilisés dans la construction de l'édifice (siège d'APC d'El-Harrach), on déduit que la structure principale de l'édifice est en murs porteurs en maçonnerie de pierre avec certains points porteurs. Comme on trouve différents systèmes constructifs, par exemples : les planchers métalliques à voûtains maçonnés en briques creuses, ainsi le bois pour la structure de la charpente.

7. Restitution de dossier graphique de l'édifice

Vue la non documentation sur l'édifice (absence de documents graphiques de l'édifice) d'une part, et la nécessité de ces documents pour analyser et évaluer l'édifice réhabilité d'autre part. Nous étions obligés de restituer le dossier graphique de l'édifice avant toutes actions tout on basant sur un travail de terrain (document photographique, relevé, ...), ainsi l'aide des logiciels (Autocad, SketchUp).

7.1. Les plans

Pour la restitution des différents plans on s'est basés sur un relevé métrique de l'édifice et de matériels de mesures (décamètre,...). Après, on a utilisé l'Autocad pour faire les plans. (Figure 4.23)



Figure 4.23 : Le décamètre comme un outil d'aide pour restituer les plans de l'édifice

NB : à base de ce relevé métrique, on a réussi de restituer les plans du siège d'APC d'El- Harrach aux centimètres prêts à l'état actuel (**voir annexe A, différents plans avec cotations**), Ainsi les modifications apportées sur chacun des plans par rapport à l'originalité de l'édifice tels qu'il est conçu.

7.2. Les façades

Pour la restitution des façades on s'est basés sur les photos prises sur les façades de l'édifice. Après, on a utilisé logiciel Autocad qui nous a permis d'obtenir des résultats beaucoup plus précis. (Figure 4.24)

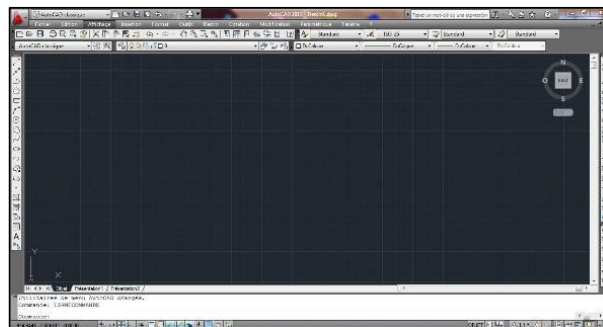


Figure 4.24 : Autocad comme un logiciel d'aide pour restituer le dossier graphique

NB : à l'aide de ce logiciel, on a réussi de restituer toutes les façades et de soulever la richesse et la particularité de chacune d'elles (**voir annexe A, différentes façades avec cotations**), ainsi de ressortir les modifications apportées sur chacune des façades lors de l'intervention de réhabilitation effectuée en 2005.

7.3. La monographie de l'édifice (plans et façades)

Le siège d'APC d'El Harrach est conçu en 1870 par les français dans une période qui s'appelle l'éclectisme (1830-1890), cette période a connu une crise des cultures architecturale et le retour vers l'histoire (historicisme). A cette époque on trouve qu'il est très intéressant de mentionner un mouvement autonome, c'est le néo-gothique qui s'opposera au néo-clacissisme et qui aura comme chef de file un architecte restaurateur et théoricien de l'architecture E. VIOLET LE DUC. (Figure 4.25) (Kanoun.2001)



Figure 4.25 : Violet le Duc architecte restaurateur et Théoricien de l'architecture

Source : Kanoun, 2011.

NB : vue la non documentation sur cet édifice, nous n'avons pas trouvé des informations concernant l'architecte et tous les acteurs qu'ont participés dans la conception de l'édifice et même dans sa réalisation.

Dans cette partie, après la restitution de dossier graphique, on va étudier et analyser les plans et les façades par la définition des différents éléments qui constituent l'édifice.

Plan de sous sol

Au niveau de sous sol, comme s'est illustrer dans le plan, on remarque qu'il ne prend même pas la moitié de la superficie bâti de l'édifice.

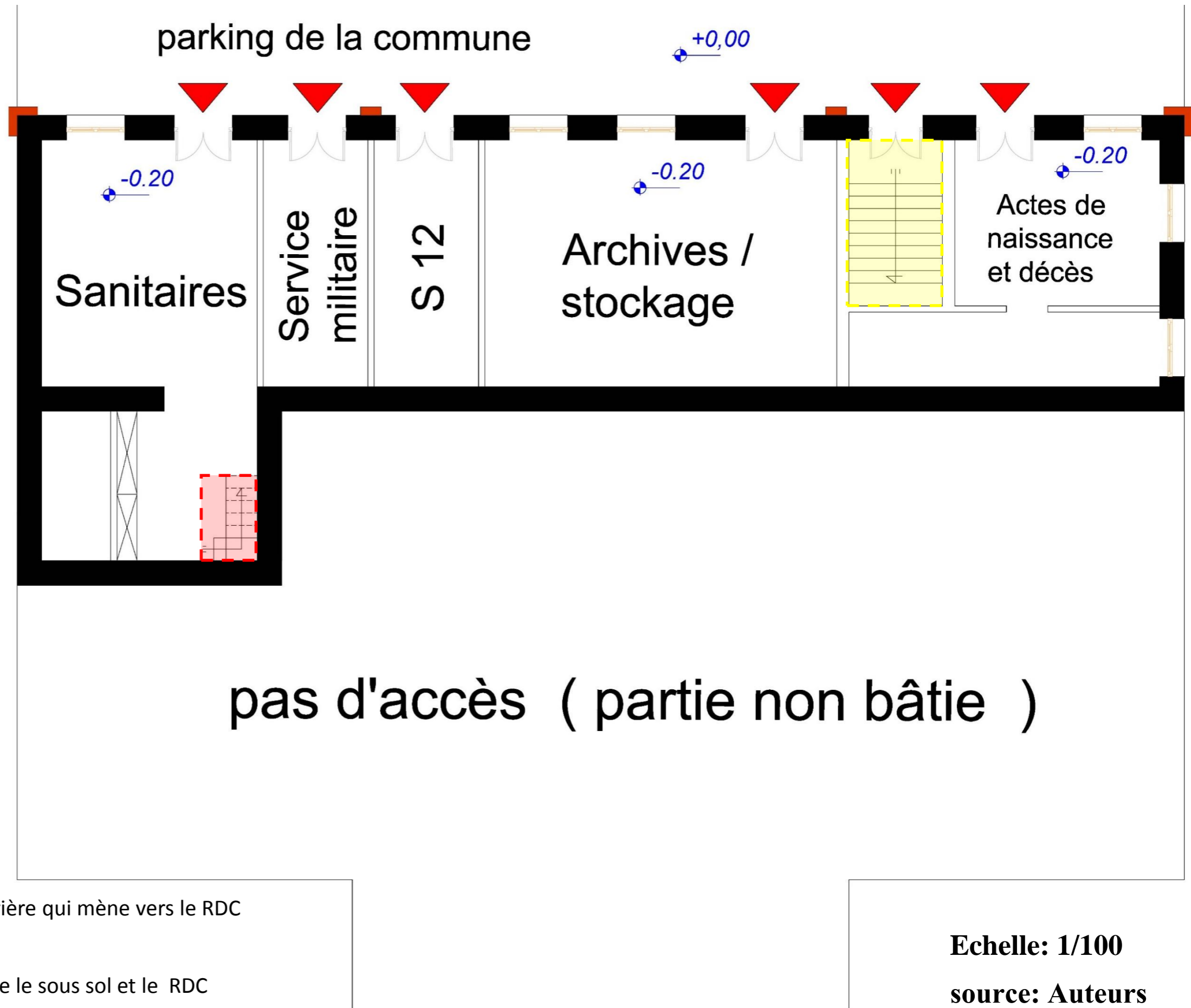
Ce sous sol, se trouve au niveau de la façade arrière, (accès de la façade arrière)

On trouve plusieurs bureaux, et chacun d'eux a une porte directement aux parking du siège de la mairie.

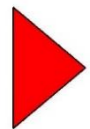
Le niveau de ce sous sol est moins élevé par rapport au niveau de parking de 30cm.

La hauteur de ce sous sol est de 2,30m.

Ce sous sol pose un problème d'aération (l'aire ne circule pas à l'intérieur). Donc, il est étouffé



Petites ouvertures



Portes d'accès



Entrée de la façade arrière qui mène vers le RDC



Le seul escalier qui relie le sous sol et le RDC



Murs porteurs en pierres

Echelle: 1/100

source: Auteurs

Plan RDC

Le RDC du siège d'APC d'El-Harrach est élevé de 1,5m par rapport au niveau de la chaussée (la hauteur de soubassement).

Dans ce plan on remarque le principe de **symétrie** par rapport aux deux axes **X et Y**, Ce principe est remarquable même pour l'emplacement des murs porteurs dans le sens des **XX**.



Au niveau du RDC le siège a quatre accès (trois servent le RDC, le quatrième celui de gauche sert la partie présidentielle du 1^{er} étage).

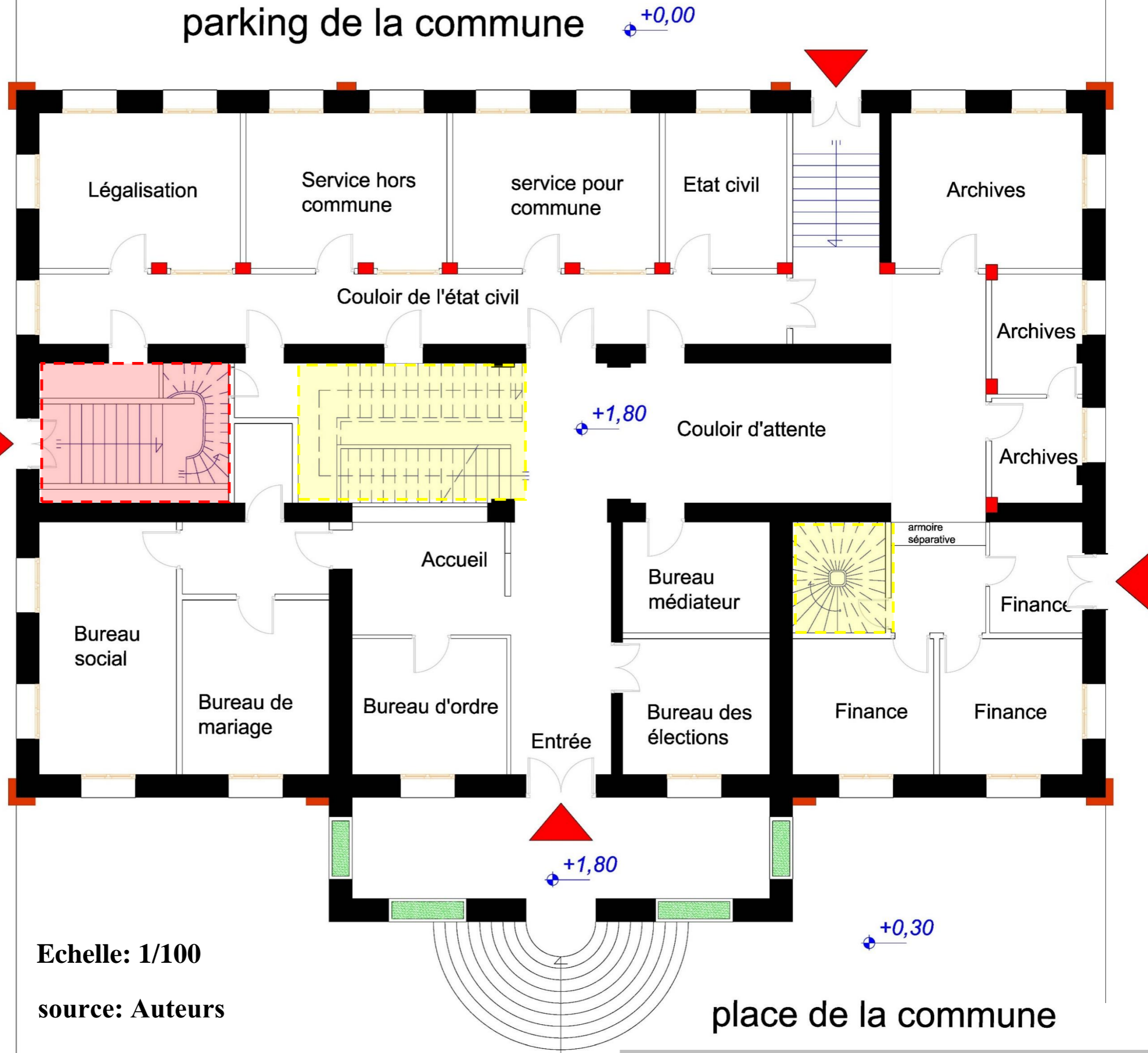
La hauteur du RDC est de 5m (4+0,5+0,5):

4m: la hauteur entre le sol et le faux-plafond

0,5m: hauteur entre le faux-plafond et le niveau bas de la dalle

0,5m: c'est l'épaisseur de la dalle.

-  Portes d'accès
-  Grandes ouvertures
-  Escaliers de liaison entre le RDC et l'étage
-  Le seul escalier qui relie l'extérieur et l'étage
-  Murs porteurs en pierre
-  Poteaux de renforcement intérieurs en béton armé
-  Poteaux de renforcement extérieurs en béton armé



Echelle: 1/100

source: Auteurs

Plan du 1^{er} étage

Le 1^{er} étage du siège d'APC d'El-Harrach est élevé de 6,8m par rapport au niveau de la chaussée.



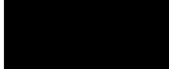


Dans ce plan on remarque le principe de **symétrie** par rapport aux axes **X et Y**. Ce principe est remarquable même pour l'emplacement des murs porteurs dans le sens des **XX**.

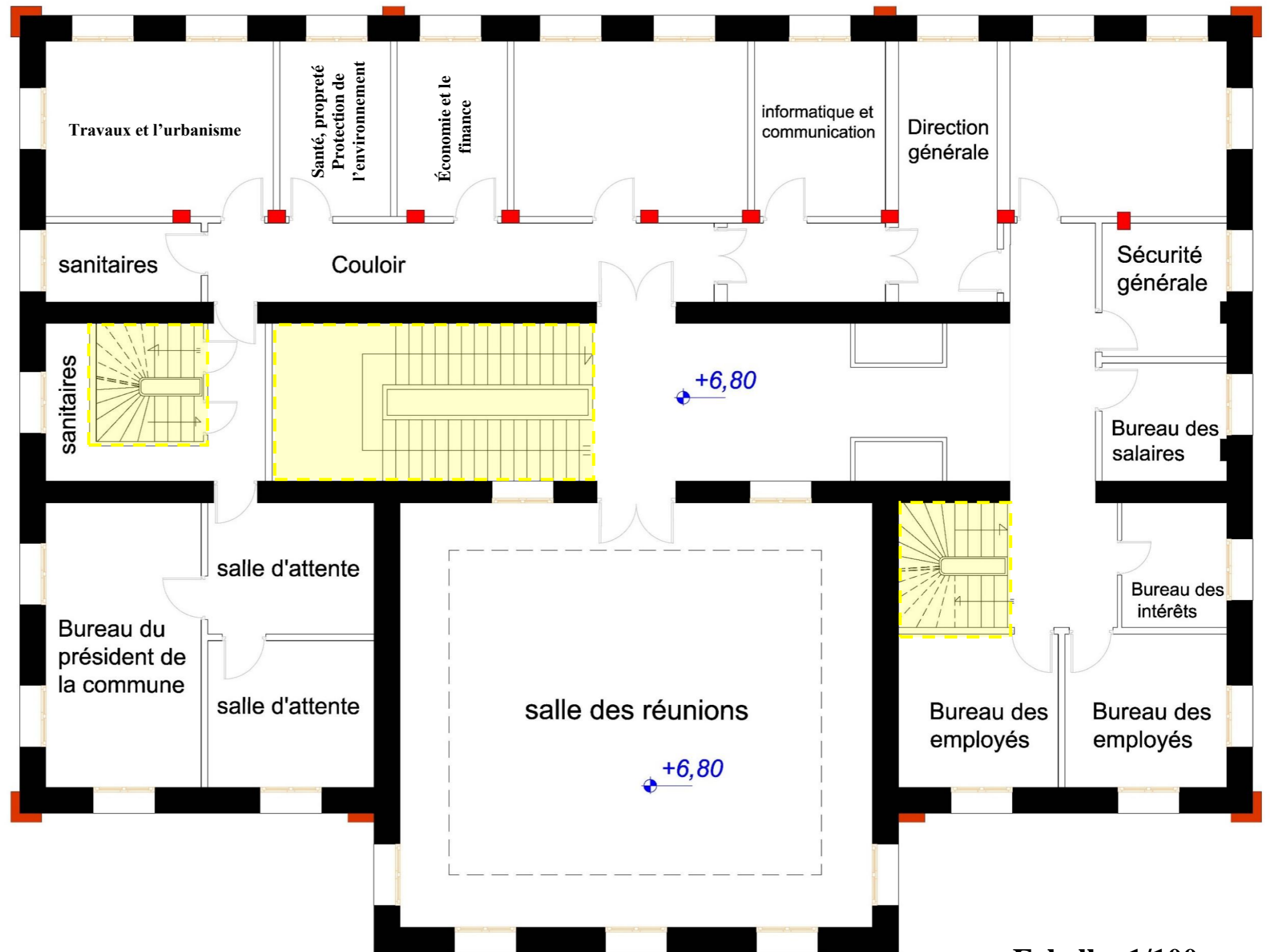
La hauteur de l'étage est de 5m (4+0,5+0,5):

4m: la hauteur entre le sol et le faux-plafond

0,5m: hauteur entre le faux-plafond et le niveau bas de la dalle

0,5m: c'est l'épaisseur de la dalle.

-  Grandes ouvertures
-  Escaliers de liaison entre l'étage et la toiture terrasse
-  Murs porteurs en pierres
-  Poteaux de renforcement intérieurs en béton armé
-  Poteaux de renforcement extérieurs en béton armé



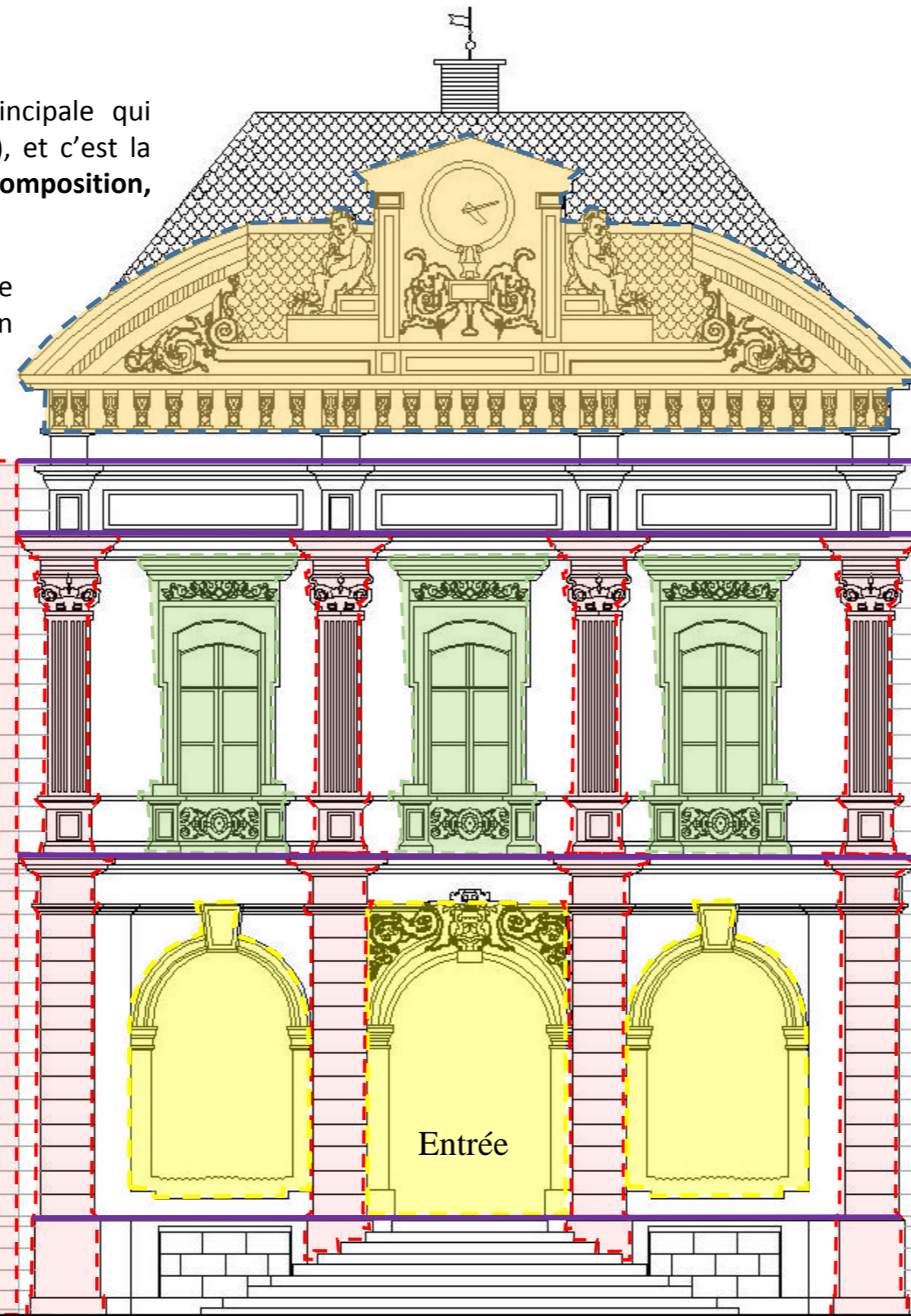
Echelle: 1/100

source: Auteurs

Façade SUD (principale)

La façade SUD, c'est une façade principale qui donne sur le centre d'El Harrach (la placette), et c'est la façade la plus riches et complexe (**composition, décors, formes, sculpture, symétrie ...**).

NB: Tout cela, nous renseigne sur la difficulté de faire une intervention de réhabilitation structurelle sur cette façade.



Charpente en tuile métallique

Lanterneau

Garde corps

1er étage

RDC

Sou bassement

Partie latérale en recule

Partie centrale en avance

Partie latérale en recule

Éléments porteurs verticaux

Ouvertures de la partie centrale

Lanterneaux qui marque la partie centrale et la richesse de tout l'édifice (décors, encorbellements, sculpture, horloge,... (finalité de l'édifice))

Arcades au niveau de l'entrée

Ouvertures dans les cotés latéraux

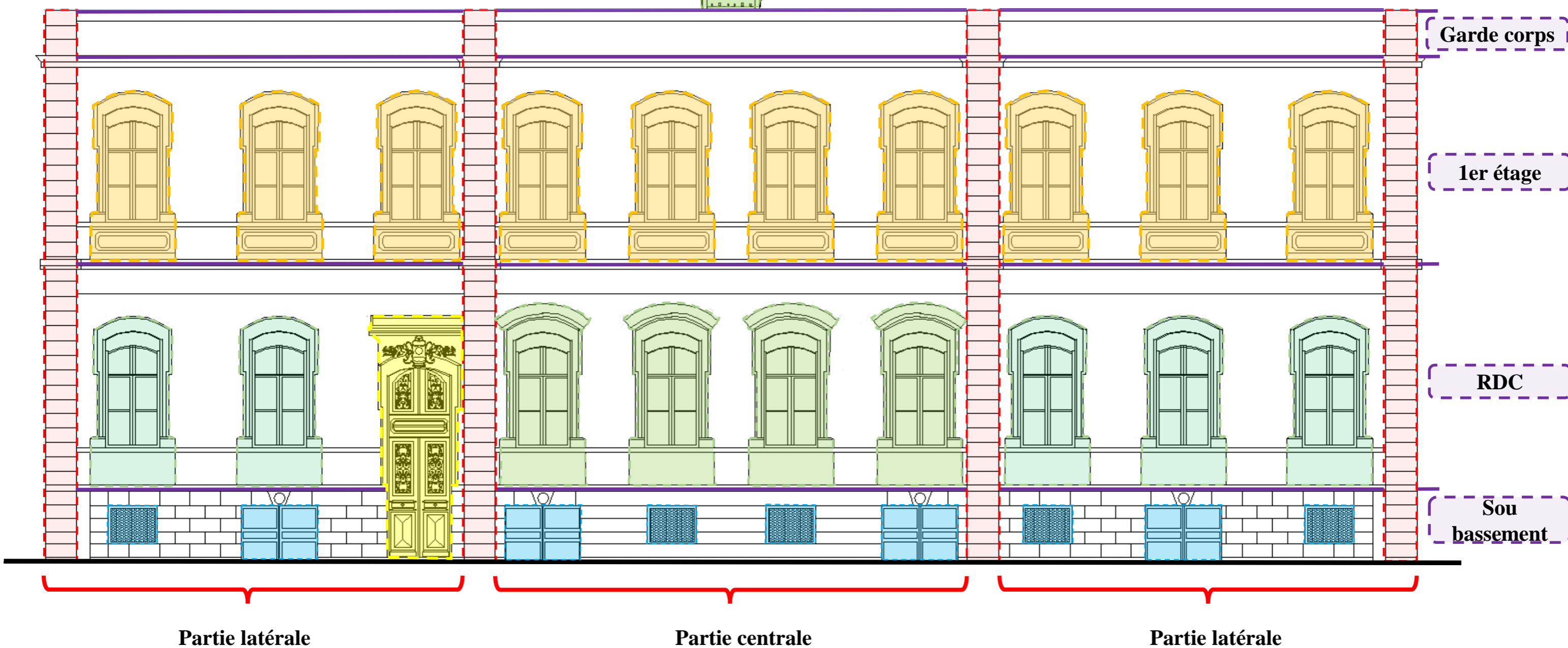
Façade NORD

La façade NORD, c'est une façade secondaire qui donne sur la place 5 juillet, et c'est une façade longue (façade la plus longue de l'édifice, mais elle est bien régulière avec une composition et une richesse moins importante que la façade principale).

Dans cette façade on trouve:

- Entrée secondaire excentrée et bien décorée
- Ouvertures d'accès et d'aération pour le sous sol

NB: d'après la composition de cette façade et la moindre richesse en décors qu'elle présente on déduit que l'intervention structurale sur cette façade n'est pas vraiment difficile



Éléments porteurs verticaux

Ouvertures de la partie centrale (RDC)

Ouvertures tout le long du 1^{er} étage

Porte d'entrée secondaire

Ouvertures dans les cotés latéraux (RDC)

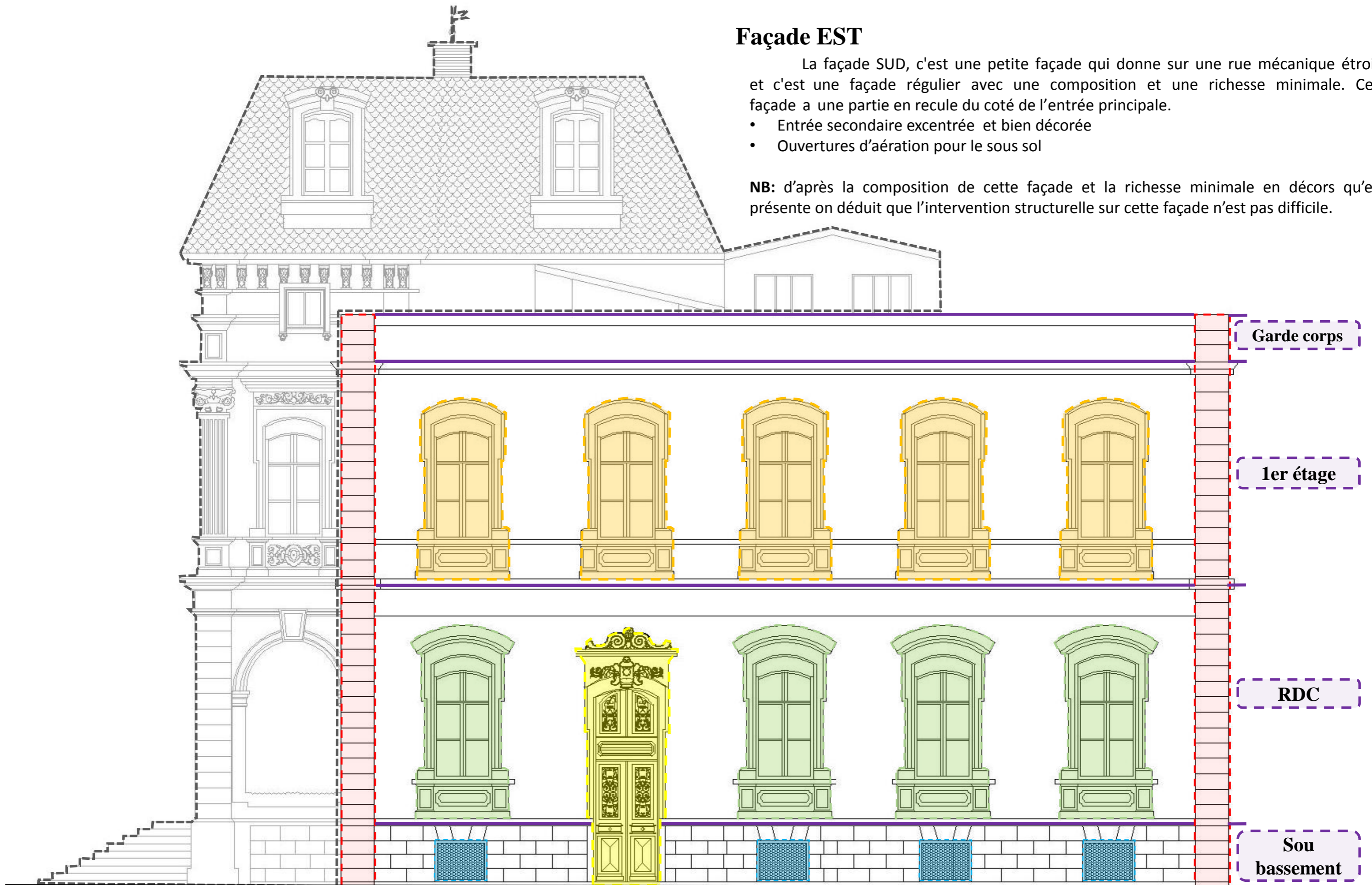
Ouvertures du sous sol

Façade EST

La façade SUD, c'est une petite façade qui donne sur une rue mécanique étroite, et c'est une façade régulier avec une composition et une richesse minimale. Cette façade a une partie en recule du côté de l'entrée principale.

- Entrée secondaire excentrée et bien décorée
- Ouvertures d'aération pour le sous sol

NB: d'après la composition de cette façade et la richesse minimale en décors qu'elle présente on déduit que l'intervention structurale sur cette façade n'est pas difficile.



Éléments porteurs verticaux

Ouvertures au niveau du RDC

Ouvertures du sous sol

Porte d'entrée secondaire

Ouvertures au niveau du 1^{er} étage

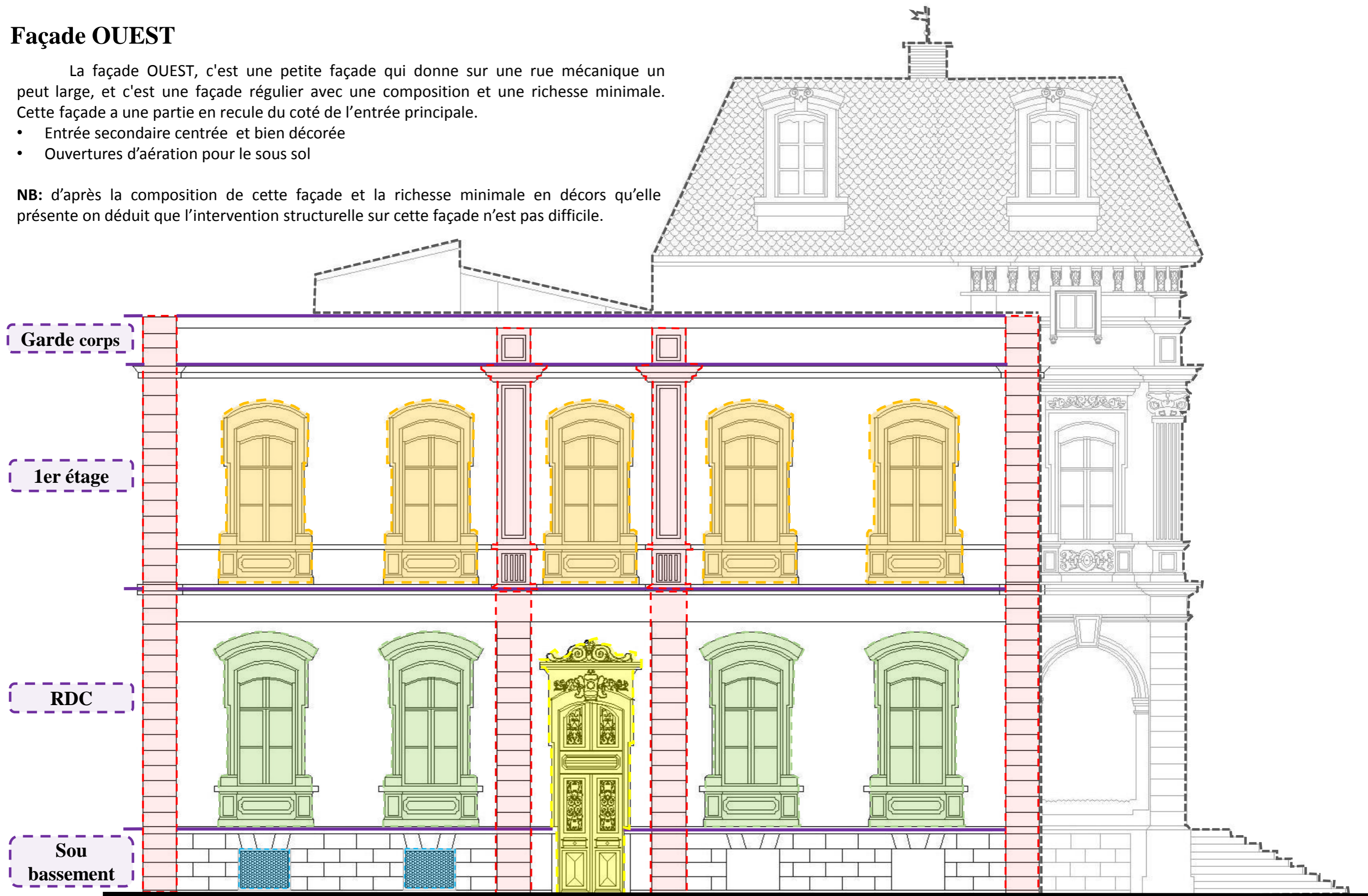
Partie de la façade en recule coté de l'entrée







Façade OUEST

La façade OUEST, c'est une petite façade qui donne sur une rue mécanique un peu large, et c'est une façade régulière avec une composition et une richesse minimale. Cette façade a une partie en recule du côté de l'entrée principale.

- Entrée secondaire centrée et bien décorée
- Ouvertures d'aération pour le sous sol

NB: d'après la composition de cette façade et la richesse minimale en décors qu'elle présente on déduit que l'intervention structurale sur cette façade n'est pas difficile.



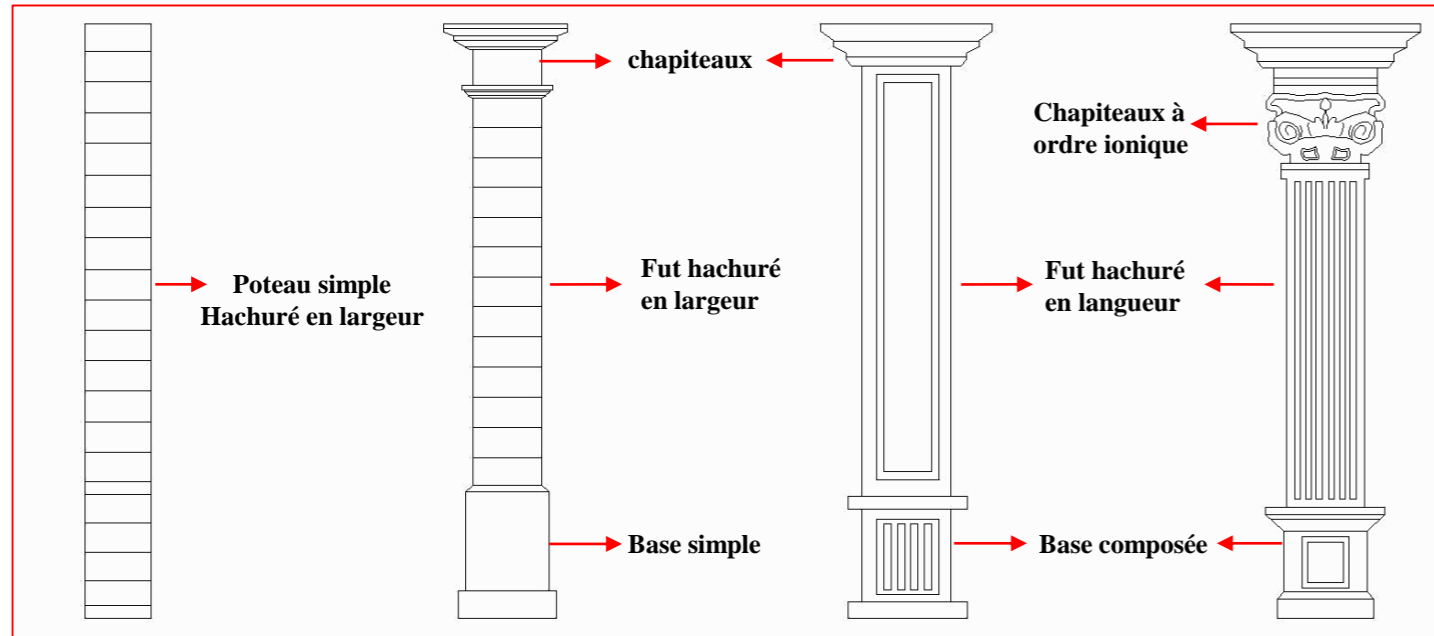
- | | | |
|---|--|--|
|  Éléments porteurs verticaux |  Ouvertures au niveau du RDC |  Ouvertures du sous sol |
|  Porte d'entrée secondaire |  Ouvertures au niveau du 1 ^{er} étage |  Partie de la façade en recule coté de l'entrée |

Détails de certains éléments :

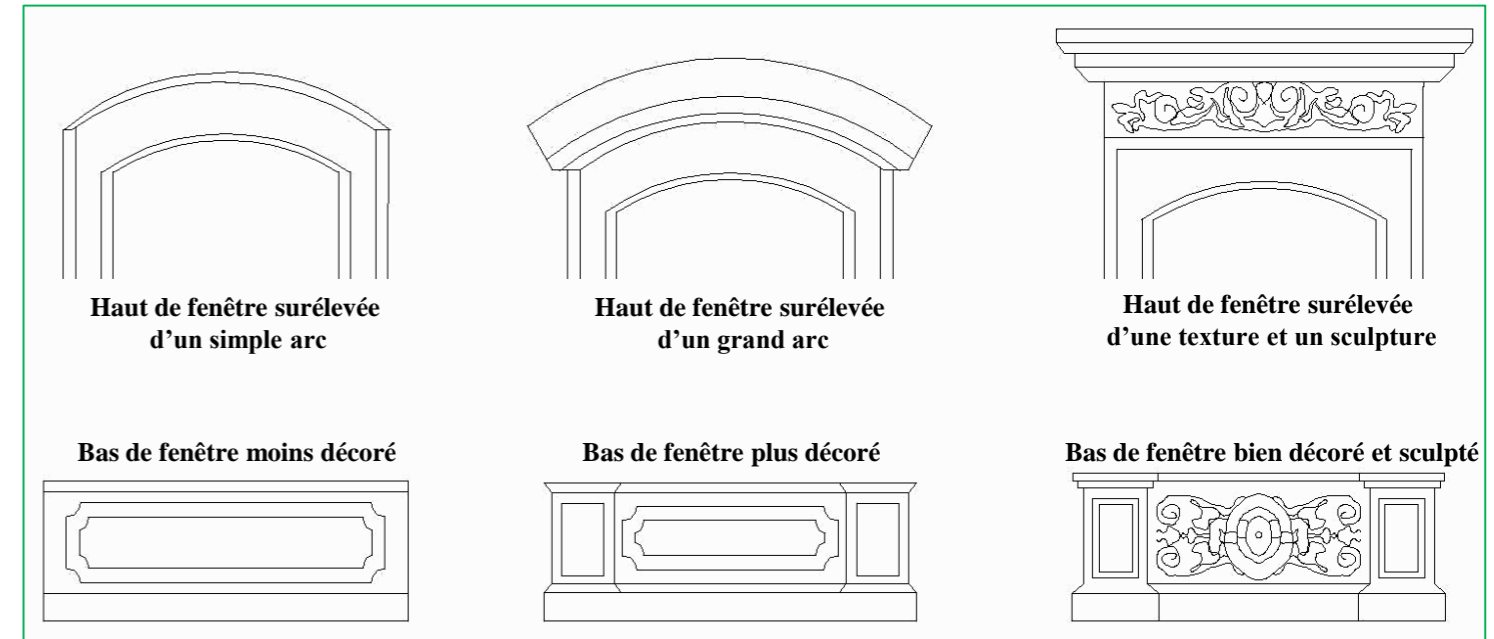
Dans cette planche on va présenter les différents détails qui marquent l'importance de l'édifice et sa richesse.

NB: on s'intéresse à ces éléments car dans une intervention de réhabilitation chaque détails doit être pris en considération afin de préserver l'histoire et la richesse de l'édifice.

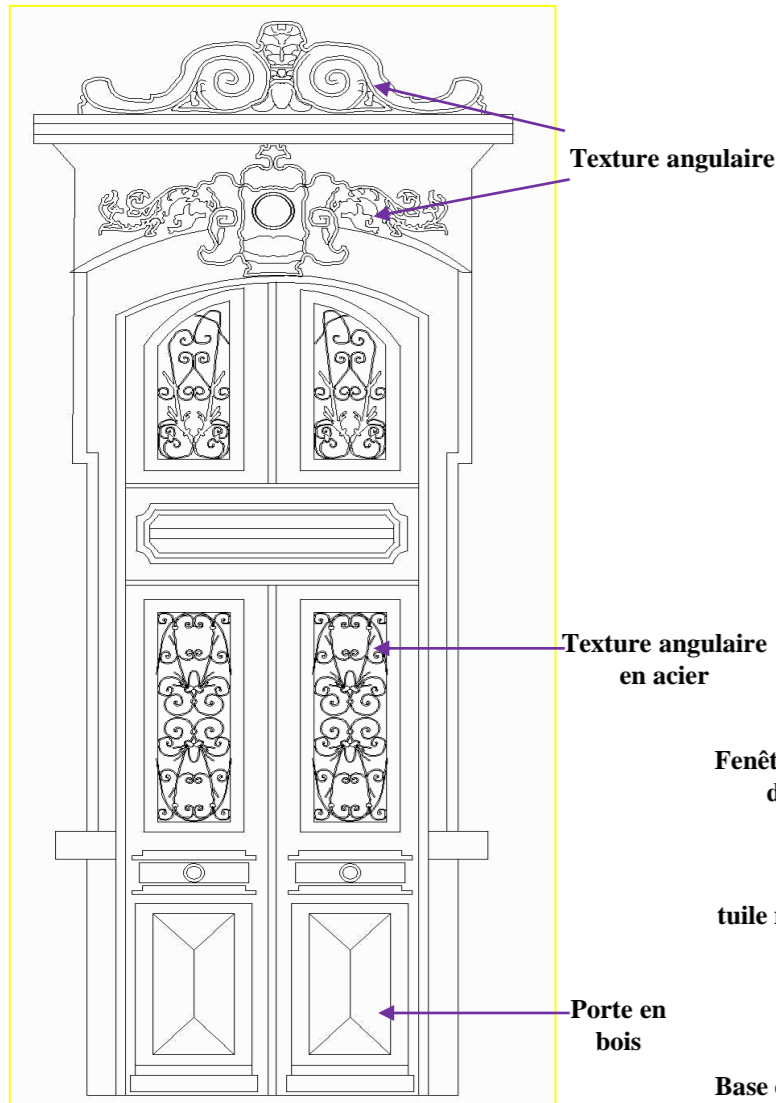
Éléments porteurs verticaux



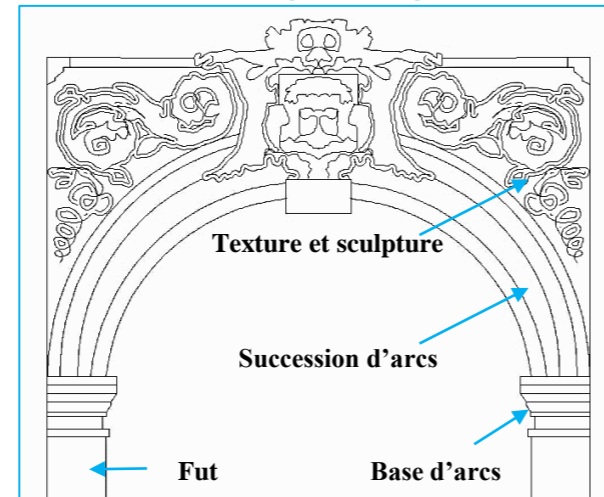
Différent types décoratifs de fenêtres



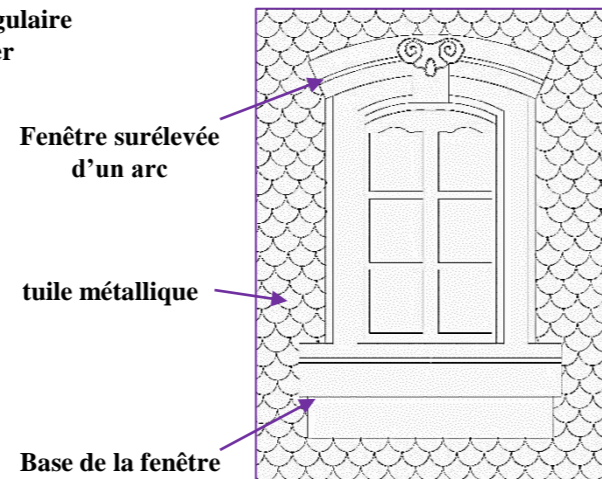
Porte secondaire



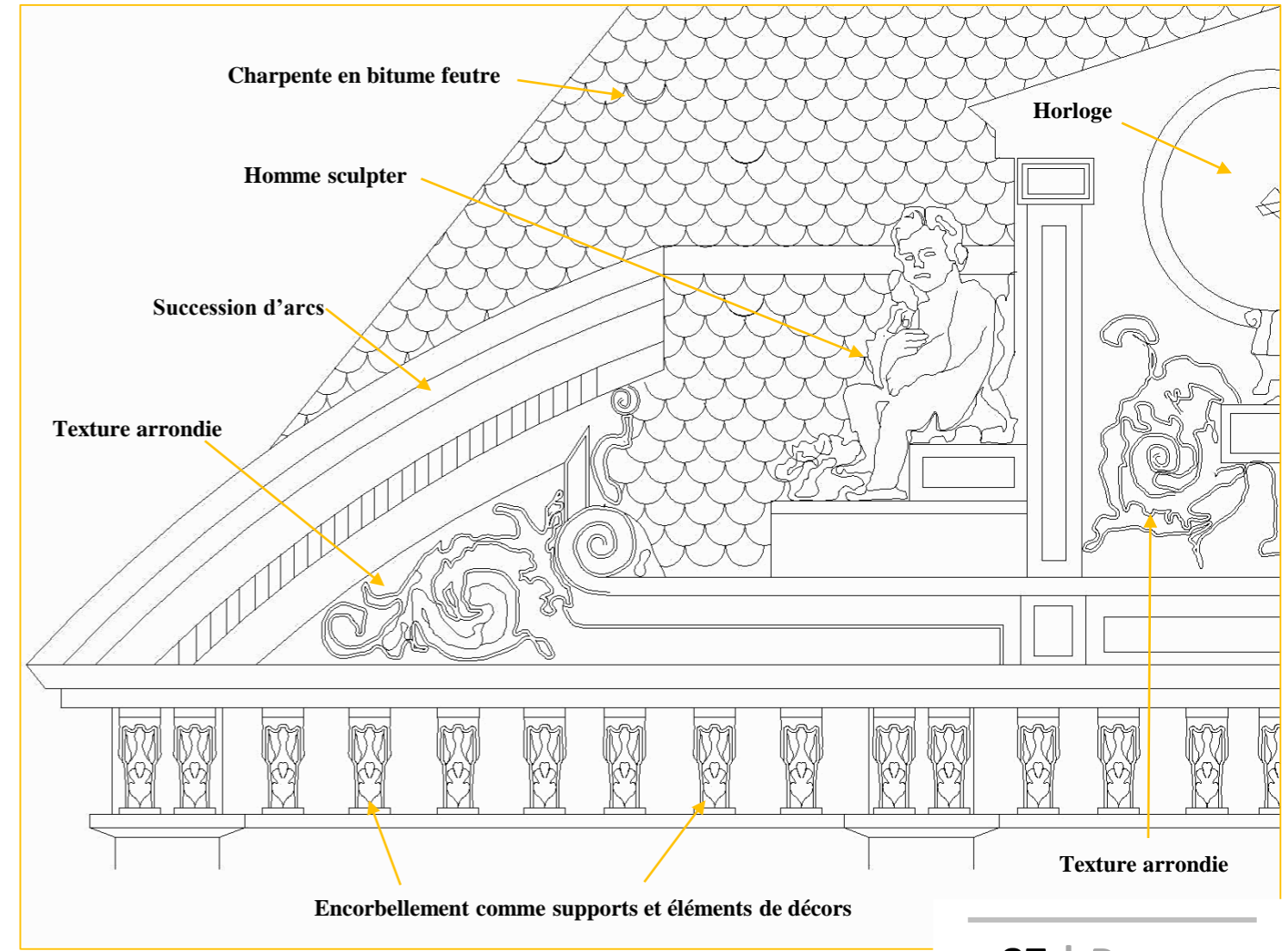
Entrée principale



Ouverture dans la charpente



Le lanterneau



Cette monographie élaborée sur l'édifice, elle nous a démontrée que le siège d'APC d'El Harrach est un édifice très intéressant et qui nécessite de rester avec, et d'observer et essayer de décortiquer la complexité de sa composition et la grande richesse qu'il porte au niveau des éléments qui le compose (constructifs, formes, textures, décors, sculpture,...).

Lors de cette monographie sur l'édifice (plans, façades), on a pu soulever la présence de certains dommages. Ainsi des transformations/changements sur l'édifice vis à vis la réhabilitation faite l'an 2005.

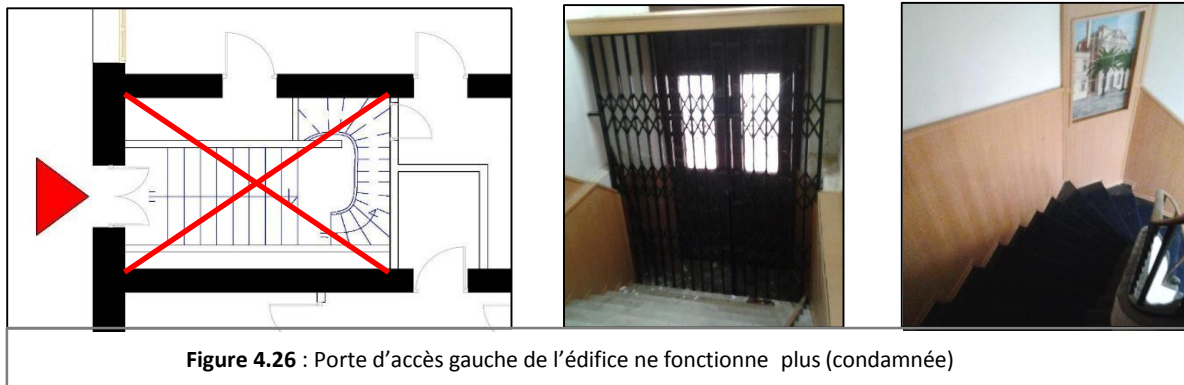
8. Les changements apportés sur le siège d'APC :

La restitution de dossier graphique qu'on a élaboré avec une monographie des plans/façades, tout cela nous a permis de soulever plusieurs changements apportés sur l'édifice. Ces changements concernent le fonctionnement des espaces intérieurs et les caractères physiques de l'enveloppe de l'édifice.

8.1. Les changements apportés concernant le fonctionnement des espaces :

a) Fermeture d'une porte d'accès qui serve la partie présidentielle à l'étage :

Le non fonctionnement de la porte qui relie l'extérieur et la partie présidentielle de l'étage. Cela, a engendré un étouffement au niveau de cet escalier. (Figure 4.26)

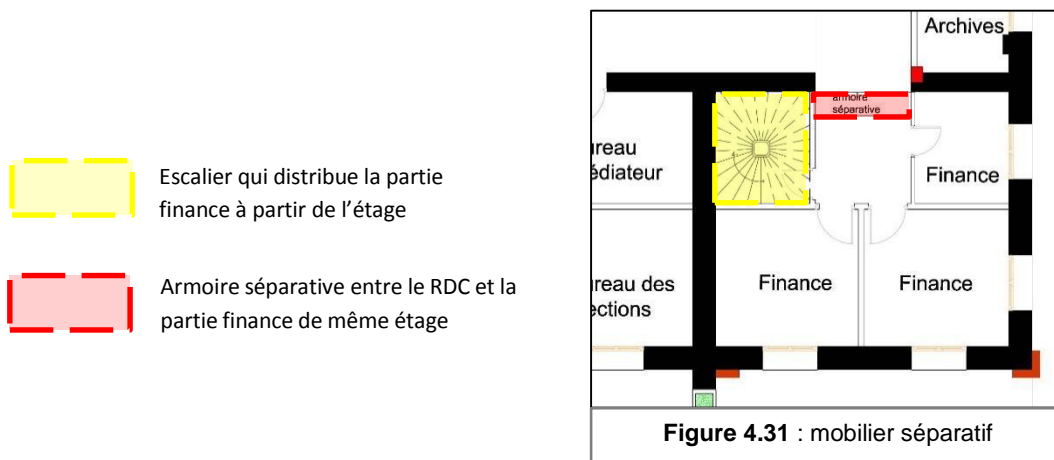


RQ : cet escalier qui ne fonctionne pas, ça reste comme question et un problème à résoudre, car il porte une grande richesse historique et décorative concernant l'édifice d'étude et le centre d'El-Harrach. (Figure 4.27)



d) Fermeture d'accès aux certaines partie du RDC

L'inaccessibilité du RDC à la partie de finance (placement d'une armoire séparative qui empêche l'accès). De cela, l'accès à cette partie du RDC se fait obligatoirement par un escalier à partir du premier étage. (Figure 4.31)

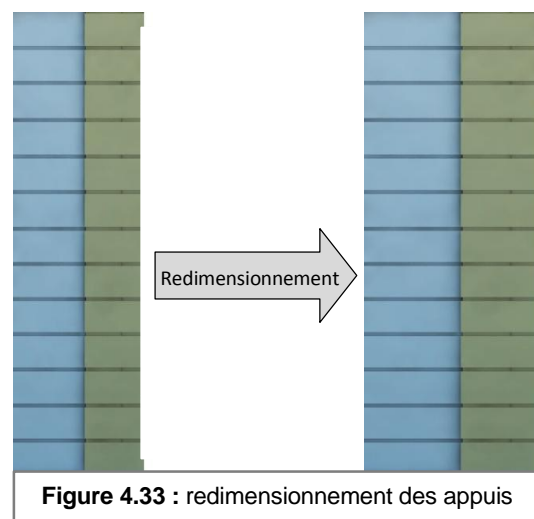
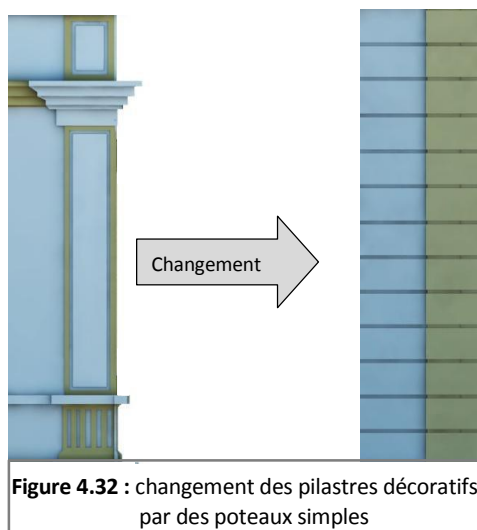


8.2. Les changements apportés concernant l'enveloppe de l'édifice :

a) Les points porteurs verticaux extérieurs

Changement des pilastres décoratifs par des poteaux simples. (Figure 4.32)

Redimensionnement des poteaux (élargissement des poteaux pour une meilleure consolidation). (Figure 4.33)



RQ : A partir de certaines photos anciennes et les traces restantes de l'intervention, on a pu connaître l'emplacement de ces types de changements. (Figure 4.34)

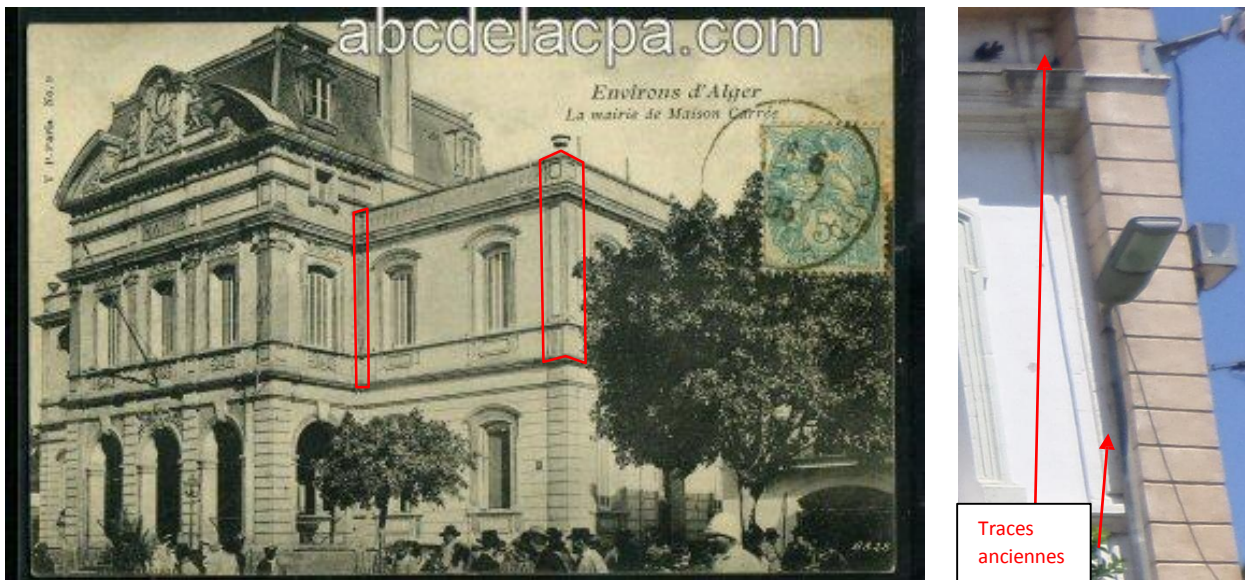


Figure 4.34 : illustrations qui nous a permis de connaître les changements et leurs emplacements

NB : l'élargissement de certains éléments porteurs verticaux touchent un peu la richesse de l'édifice en éléments décoratifs. (Figure 4.35)

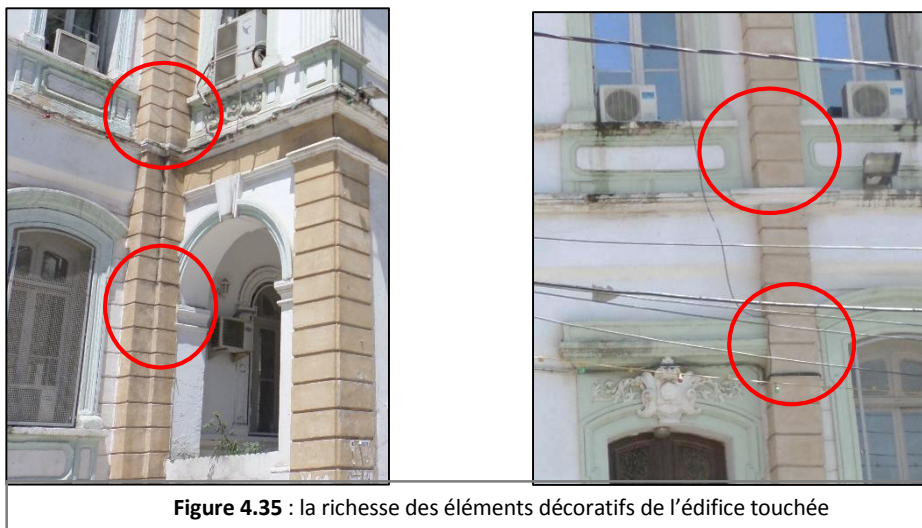


Figure 4.35 : la richesse des éléments décoratifs de l'édifice touchée

b) Les éléments porteurs horizontaux extérieurs

Un rajout de bandes sortantes tout autour de l'édifice, cela dû au chaînage horizontal. (Figure 4.36 & Figure 4.37)

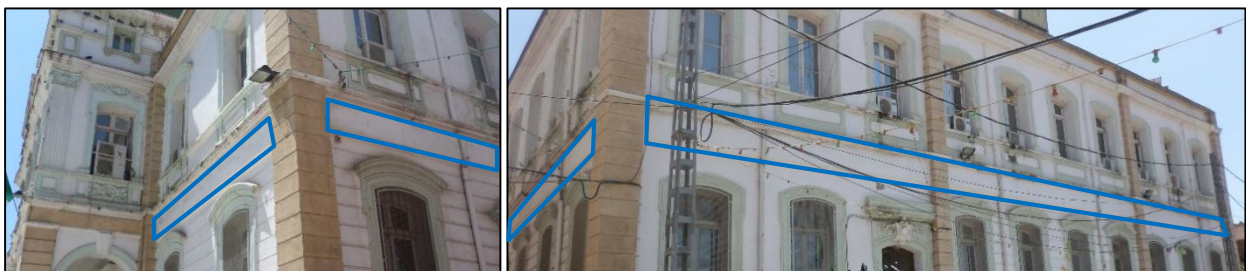


Figure 4.36 : Rajout de bandes sortantes toute autour de la bâtisse (après l'intervention)



Figure 4.37 : photo en 3D pour illustrer le Rajout de bandes horizontales sortantes (après l'intervention)

RQ : D'après les photos anciennes qu'on a, on remarque qu'il existe depuis longtemps cet effet de bandes mais ne pas sortantes. Au contraire, elles étaient en retrait. (Figure 4.38 & Figure 4.39)



Figure 4.38 : Existence de bande en retrait toute autour de la bâtisse (avant l'intervention)



Figure 4.39 : photo en 3D pour illustrer l'existence de bandes horizontales rentrantes (avant l'intervention)

c) Changement du comble (charpente et toit de la terrasse du siège)

Changement du socle de la toiture terrasse après consolidation. (Figure 4.40 & Figure 4.41)



Figure 4.40 : Consolidation de la toiture terrasse

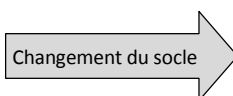


Figure 4.41 : Nouveau socle après consolidation

d) La peinture de l'édifice

Après la réhabilitation approfondie sur l'édifice (structurelle), le siège a été peint d'une autre couleur notamment au niveau des éléments décoratifs. (Figure 4.42 & Figure 4.43)



Figure 4.42 : Couleurs anciennes

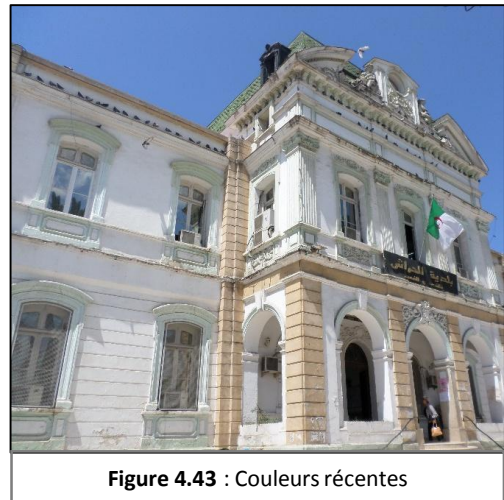
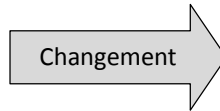


Figure 4.43 : Couleurs récentes

NB : ce changement de couleur va être bien aperçu dans le point suivant (9. La volumétrie 3D)

9. La volumétrie 3D

A l'aide de logiciel SketchUp, on a réussi de faire la volumétrie de l'édifice afin de d'observer et d'analyser tout l'ensemble de l'édifice au même temps, notamment les changements apportés sur le siège lors de l'intervention (les changements citer auparavant). Pour cela, on a modélisé l'édifice dans les deux cas (avant l'intervention et après l'intervention). (Figure 4.44)

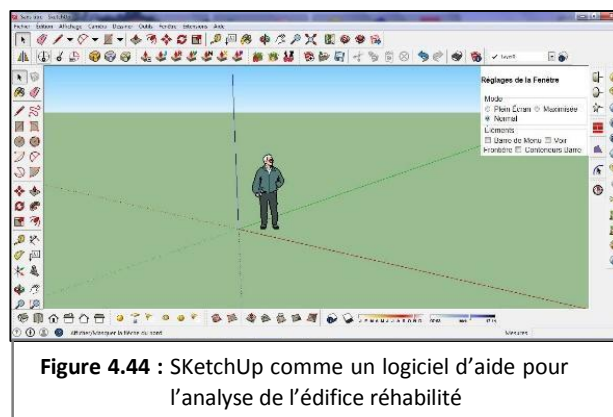


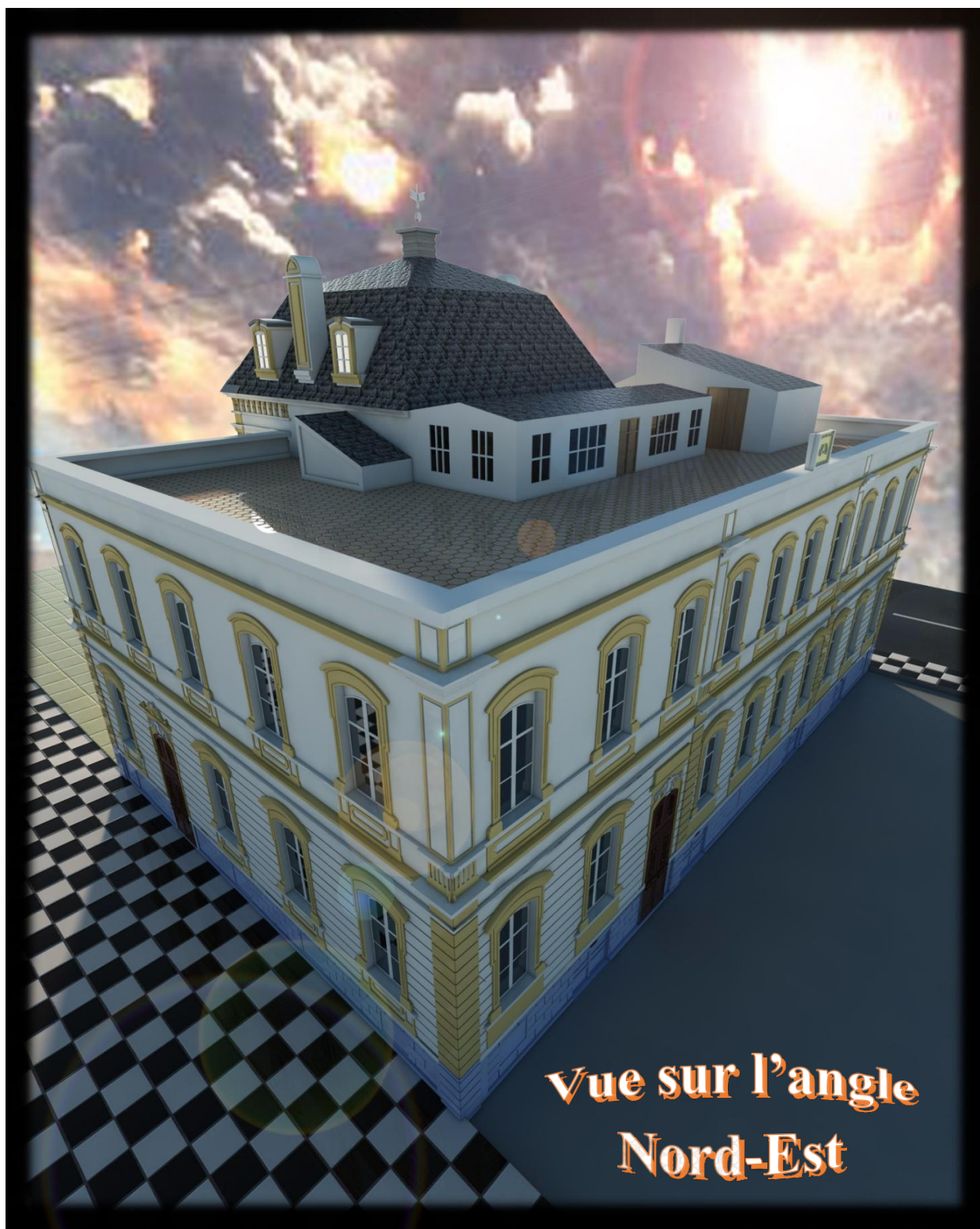
Figure 4.44 : SKetchUp comme un logiciel d'aide pour l'analyse de l'édifice réhabilité

9.1. La volumétrie 3D de l'édifice à l'état initial (avant l'intervention)

D'après les changements observés sur l'édifice à partir de la monographie élaborée et les illustrations existantes sur l'édifice à l'état initial. Tout cela, nous a permis et de modéliser l'édifice à l'état dont il est conçu.



Rendu en 3D du siège d'APC d'El-Harrach à l'état initial (avant l'intervention)



Rendu en 3D du siège d'APC d'El-Harrach à l'état initial (avant l'intervention)

RQ : pour plus d'illustration concernant ça, (voir : **Annexe B**)

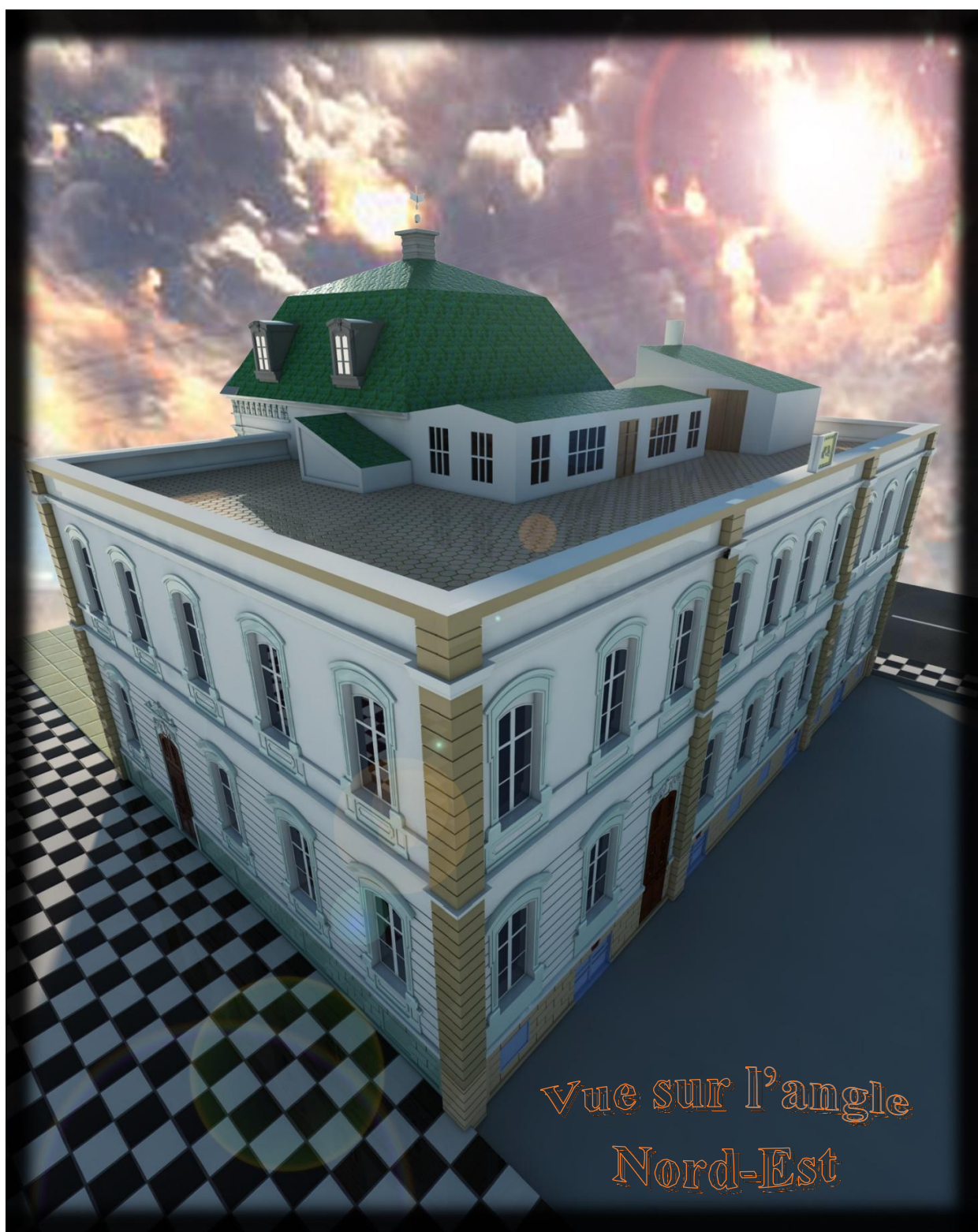
NB : le résultat obtenu par ce logiciel comme c'est illustrer au-dessus, il nous a fait l'attention sur la grande réflexion dont laquelle l'édifice est conçu en 1870 dans la période éclectique (complexité, variété, richesse, ...).

9.2. La volumétrie 3D de l'édifice à l'état actuel (après l'intervention)

Les façades réalisées par Autocad, elles nous a permis de faire la 3D de l'édifice à l'état actuel, comme suit :



Rendu en 3D du siège d'APC d'El-Harrach à l'état actuel (après l'intervention)



Rendu en 3D du siège d'APC d'El-Harrach à l'état actuel (après l'intervention)

RQ : pour plus d'illustration concernant ça, (voir : Annexe C)

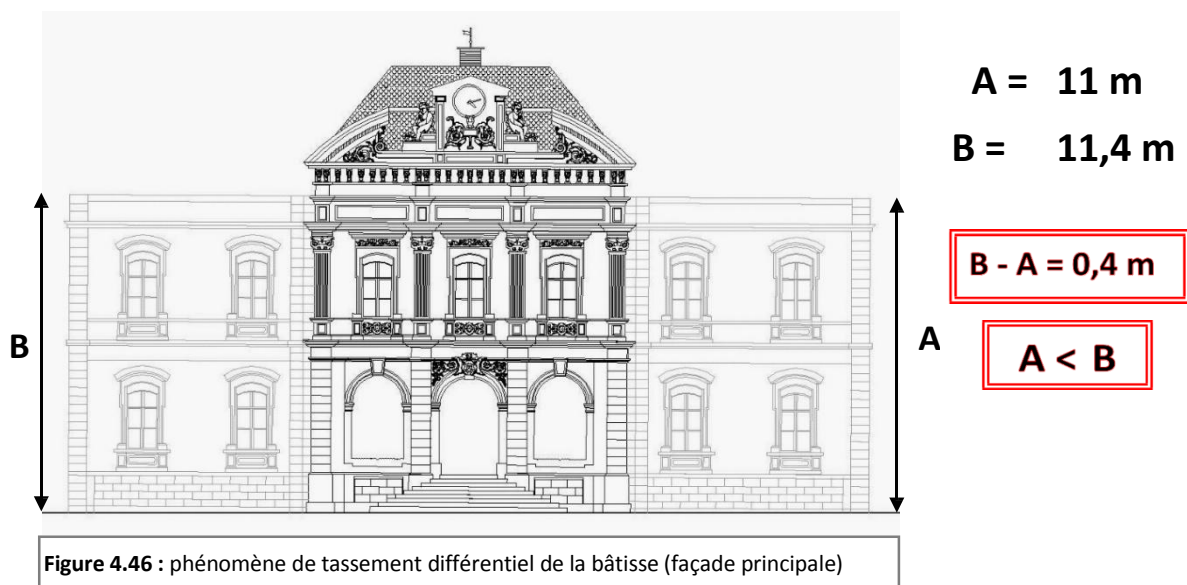
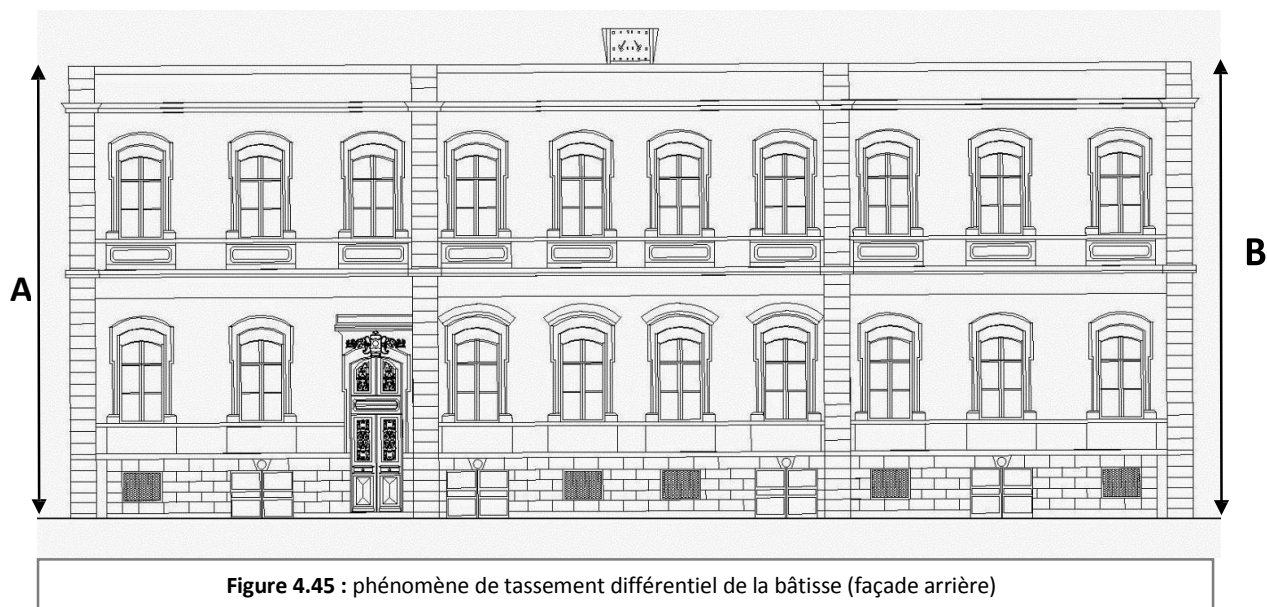
NB : d'après ces figures illustrées, on remarque que l'édifice dans son ensemble est un volume compact et cohérent. Cela nous renvoi de dire que l'intervention faite sur l'édifice bien qu'elle a changée ne pas mal de points sur le siège (éléments porteurs, textures,...), mais elle a gardée quand même l'édifice riche et cohérent dans son ensemble.

10. Les dommages et les pathologies soulevés

Toujours on basant sur le dossier graphique et la monographie élaborés (plans/façades), tout cela nous a permis de soulever certains points qui touchent à l'importance de l'édifice tels que les dommages et les pathologies, comme suit :

a) Le tassement différentiel de la bâtisse :

Ce phénomène de tassement est remarquable visuellement sur le siège (on le remarque avec un simple recul de quelque mètres du siège), c'est un tassement dans le sens longitudinal. Toute en basant sur un relevé métrique nous avons confirmé sur ce phénomène de tassement et sa valeur exacte. (Figure 4.45 & Figure 4.46)



NB : ce phénomène de tassement différentiel, il a créé une inclinaison de la bâtisse d'un angle égale à 1 degré par rapport à la plateforme de sol.

b) La nappe phréatique

Lors des visites sur le site (siège d'APC d'El Harrach), nous avons trouvé des travaux qui se faisaient du côté de la façade Nord-Est afin d'alimenter la grande mosquée d'El-Mohammadia en électricité. Lors du creusement pour passer ces réseaux, les gens qui travaillent là-dessus ont trouvés la présence d'une nappe phréatique à une profondeur de 1,80m. D'ailleurs à cause de ça, les travaux ont été arrêtés. En plus de ça, les habitants du quartier ont dit que le sol de cet endroit est toujours plein d'eaux. Donc tout cela, nous donne l'information du mauvais sol sur lequel notre bâtisse est fondée. (Figure 4.47)

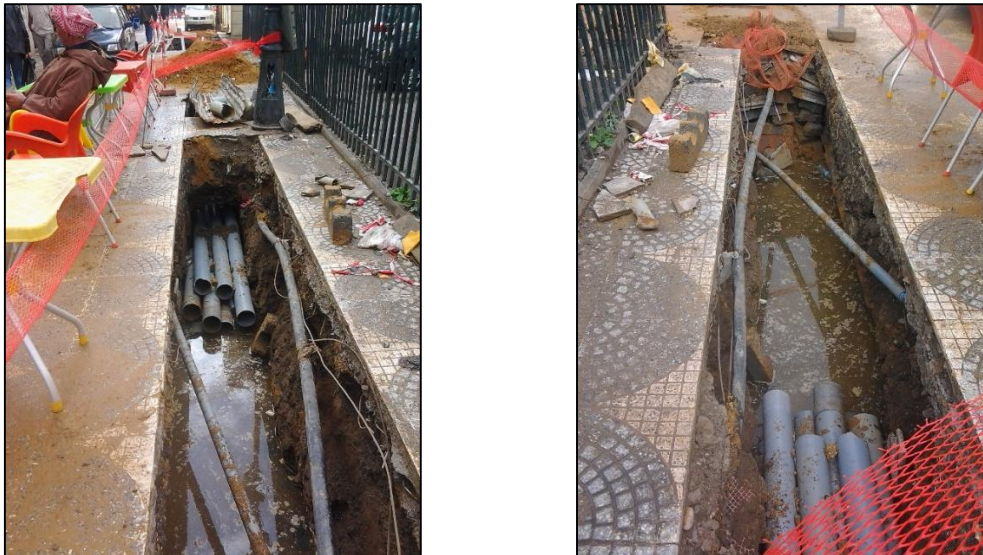


Figure 4.47 : Illustrations sur le phénomène de nappe phréatique et de mauvais sol

c) Les fondations

En plus, cette nappe phréatique qui s'étale sur tout le long de cette façade, touche directement les fondations de notre édifice d'étude. Ainsi, on remarque que ces fondations ne sont pas du-tout dans un bon état, mais plutôt dans un état dégradé. (Figure 4.48)

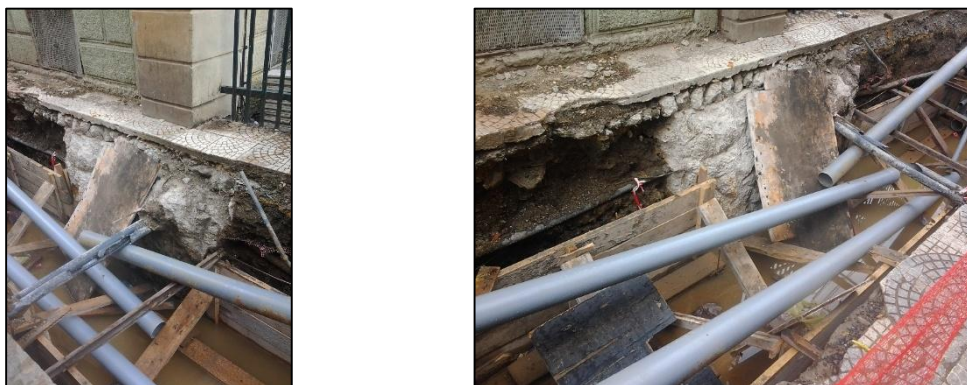


Figure 4.48 : Illustrations sur l'état des fondations de renforcement de l'édifice

NB : tous ces trois problèmes cités en haut (tassement différentiel de la bâtisse, problème de la nappe phréatique et l'état dégradé des fondations), ils sont les problèmes principaux qu'agissent sur la dégradation de l'édifice en terme structurel et formel.

d) Sous-sol :

D'après les employés de la mairie qui travaillent au niveau de sous-sol, on a eu une information que ce dernier à chaque fois qu'il y ait une augmentation dans les précipitations, risque d'être inondé par l'eau. Cela, dû à la différence de niveau entre le parking et le niveau de sous-sol d'une part (Figure 4.49), et d'autre part le nombre insuffisant de regards et leurs états dégradés (Figure 4.50 & Figure 4.51) :

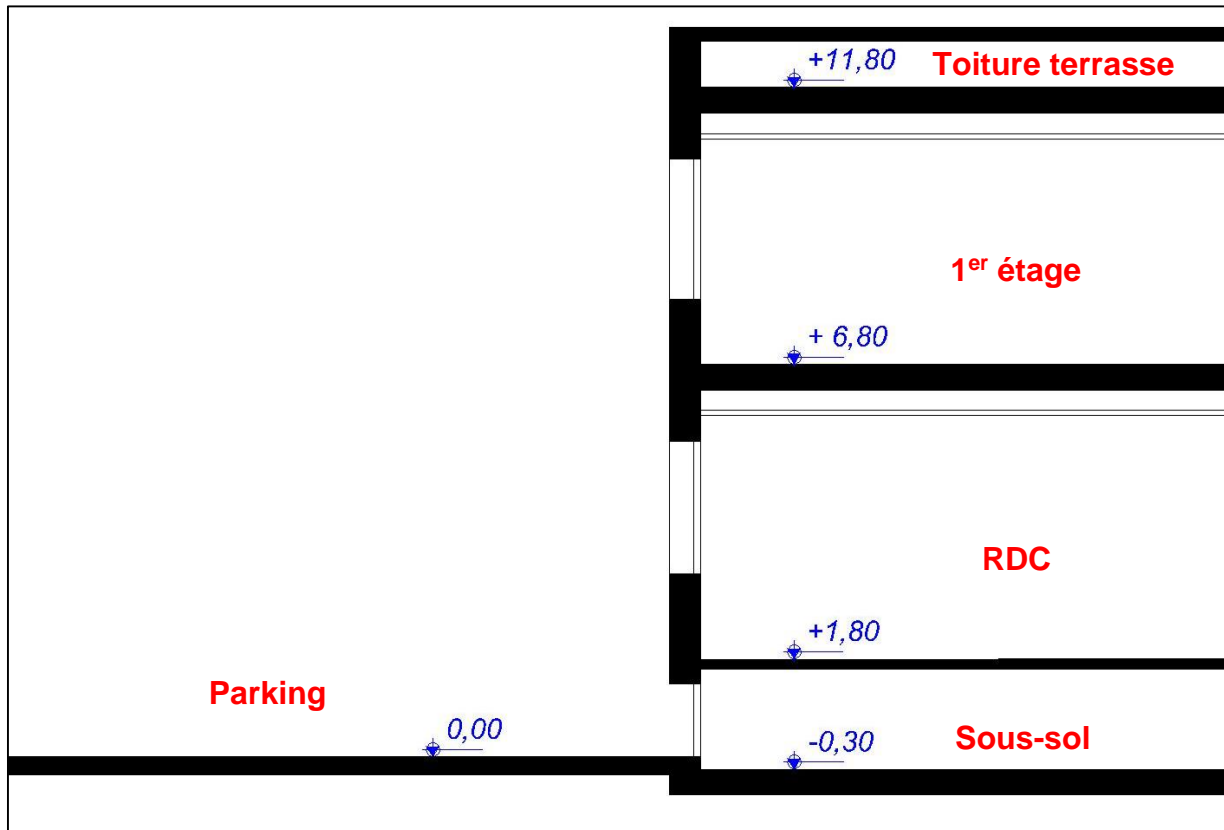


Figure 4.49 : une différence de niveau de 30cm entre la plateforme du parking et celle de sous-sol

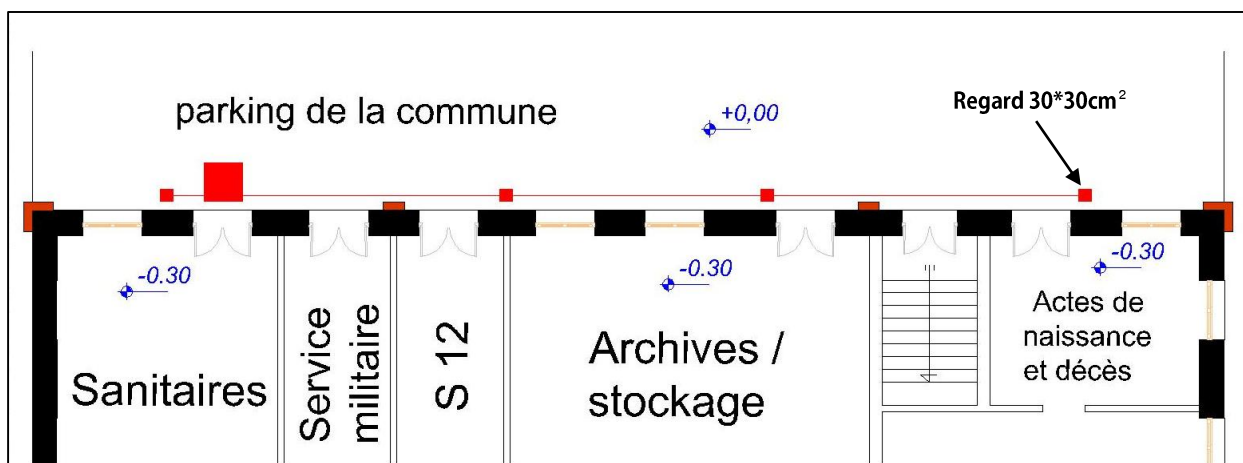


Figure 4.50 : le nombre peu de regards, ainsi leurs dimensionnements réduits



Figure 4.51 : l'absence de l'entretien des regards d'évacuation des eaux

NB : ce phénomène d'inondation dû principalement au non prise en charge de l'écoulement des eaux pluviales.

e) Toiture terrasse :

Défauts d'étanchéités au niveau du socle de la toiture terrasse. (Figure 4.52)



Figure 4.52 : Cassements de revêtement mis en place au niveau de la toiture terrasse

f) Les planchers :

Au niveau des planchers, on trouve certains dommages, et même des problèmes de filtration des eaux. (Figure 4.53 & Figure 4.54)



Figure 4.53 : Dommages au niveau du plancher. Ainsi existence de graves fissures



Figure 4.54 : Problème de filtration des eaux à travers le plancher au niveau de sous-sol.

g) Les escaliers :

Au niveau des escaliers hélicoïdaux, il existe pas mal de dommages et de fissures. (Figures 4.55, 4.56, 4.57)



Figure 4.55 : décollements, fissures graves au-dessous des marches de l'escalier



Figure 4.56 : Fissures graves au niveau de l'encastrement des marches dans les murs porteurs



Figure 4.57 : Inclinaison des marches, due au mal encastrement dans les murs porteurs

h) Le ravalement et les pathologies des façades :

On remarque dans les façades de nombreuses pathologies, et même des fissures. Parmi les problèmes qu'ont causés ces pathologies, on trouve principalement l'eau qui s'écoule au niveau de toutes les façades notamment l'eau qui vient des climatiseurs. (Figures 4.58, 4.59, 4.60)



Figure 4.58 : Fissures au niveau des chapiteaux



Figure 4.59 : dommages dues à l'écoulement des eaux des climatiseurs



Figure 4.60 : autres dégradations dans les façades

i) La charpente :

Au niveau de la charpente, on remarque la dégradation et le détachement du feutre en bitume. (Figures 4.61)

Dégradation des fenêtres en bois au niveau de la charpente, ainsi leurs vitres qui sont totalement cassés. (Figures 4.62)



Figure 4.61 : état dégradé de feutre en bitume



Figure 4.62 : état dégradé des fenêtres

11. Analyse critique des différentes techniques de renforcement/ consolidation utilisées

11.1. Renforcement et chaînage de l'infrastructure

Le siège d'APC d'El-Harrach a été consolidé aux niveaux des fondations par une nouvelle structure en béton armé qui travaille avec l'ancienne structure en pierre.

11.1.1. Renforcement des fondations

Le renforcement des fondations a été fait par des semelles en béton armé de dimension $2*2*2m^3$ (Figure 4.63). Les habitants du quartier, disent que ce renforcement il a été fait au niveau de chacun des points porteurs de l'édifice.



Figure 4.63 : renforcement des fondations par le béton armé

NB : ces fondations ne sont pas en bon état. Mais, ils sont dans un état dégradé.

11.1.2. Chainage horizontal entre les fondations

Tout en basant sur un entretien avec les habitants du quartier qu'ont vécus la période de renforcement de cet édifice, ils ont dit qu'il existe un chaînage horizontal en béton armé entre les différentes fondations. (Figure 4.64)



Figure 4.64 : rendu en 3D sur les fondations et le chaînage entre eux



Figure 4.64 : rendu en 3D sur les fondations et le chaînage entre eux

NB : vue le renforcement des fondations à chacun des points porteurs et le chaînage entre eux, on peut dire que le renforcement au niveau de l'infrastructure est bien tracé. Mais par contre, vue l'état dégradé de ces fondations et leurs profondeurs qui se limitent juste au niveau de la nappe phréatique, on peut dire que ce renforcement ni basé sur une bonne étude, ni sur une bonne exécution (mise en œuvre).

11.2. Renforcement et chainage de la superstructure

11.2.1. Le chainage vertical extérieur

Le siège d'APC d'El-Harrach a été consolidé aux niveaux des points porteurs verticaux avec deux stratégies différentes :

- Renforcer la structure existante par une technique de chemisage en béton armé notamment pour les poteaux du RDC.
- Concevoir une nouvelle structure par l'installation de nouveaux poteaux sur les pilastres décoratifs existants (consolider ces pilastres).

a) Emplacement des chainages

Ces chainages sont mis en place aux niveaux des endroits bien définis et sur toute la hauteur de l'édifice. Tous les points porteurs verticaux importants de l'édifice ont été renforcés, et principalement aux niveaux des angles (Figure 4.65), comme suit :

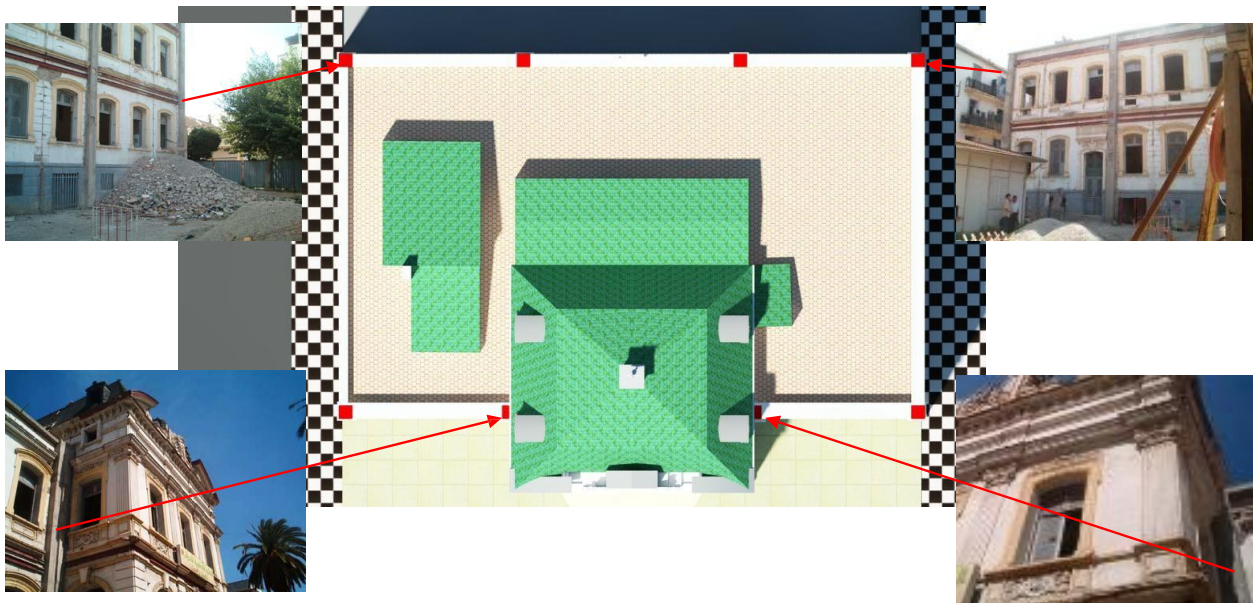


Figure 4.65 : emplacement des chainages verticaux

b) Technique de renforcement des éléments porteurs verticaux

D'après la documentation qu'on a sur les techniques de renforcement des poteaux, on remarque bien que c'est une technique de chemisage en béton armé. (Figure 4.66)



Figure 4.66 : technique de chemisage vertical en béton armé

RQ : Vu que le béton est un matériau très résistant à la compression, donc il supporte bien les charges verticales.

11.2.2. Le chaînage horizontal extérieur

Le siège d'APC d'El-Harrach a été consolidé horizontalement avec une nouvelle structure qui forme un chaînage tout autour de l'édifice. Les chaînages réalisés sont :

- Chaînage horizontal avec deux IPN 200 au niveau du plancher qui sépare le RDC et le 1^{er} étage. Cela est fait tout autour du volume principal de la bâtisse. (Figure 4.67)
- Chaînage horizontal avec un seul IPN 200 au niveau du plancher de la toiture terrasse. Cela est fait tout autour du volume principal de la bâtisse. (Figure 4.67)



Figure 4.67 : technique de chaînage horizontal avec la charpente métallique IPN 200



Chaînage horizontal avec deux IPN 200



Chaînage horizontal avec un seul IPN 200

RQ : L'acier utilisé (IPN 200) est résistant en compression et surtout en traction. (Figure 4.68)



Figure 4.68 : IPN 200 utilisés dans le chainage

- c) Deux chaînages horizontaux avec un seul IPN 200 aux niveaux des deux planchers (1^{er} étage et celui de la toiture terrasse) dans le volume de l'entrée qui sort en décrochement. (Figure 4.69)



Figure 4.69 : chaînage horizontal avec un seul IPN 200 dans la partie qui sort en décrochement

- d) Chainage horizontal en béton armé tout autour de l'acrotère. (Figure 4.70)



Figure 4.70 : chaînage horizontal en béton armé tout autour de l'acrotère

11.2.3. La connexion entre les deux chainages (vertical et horizontal)



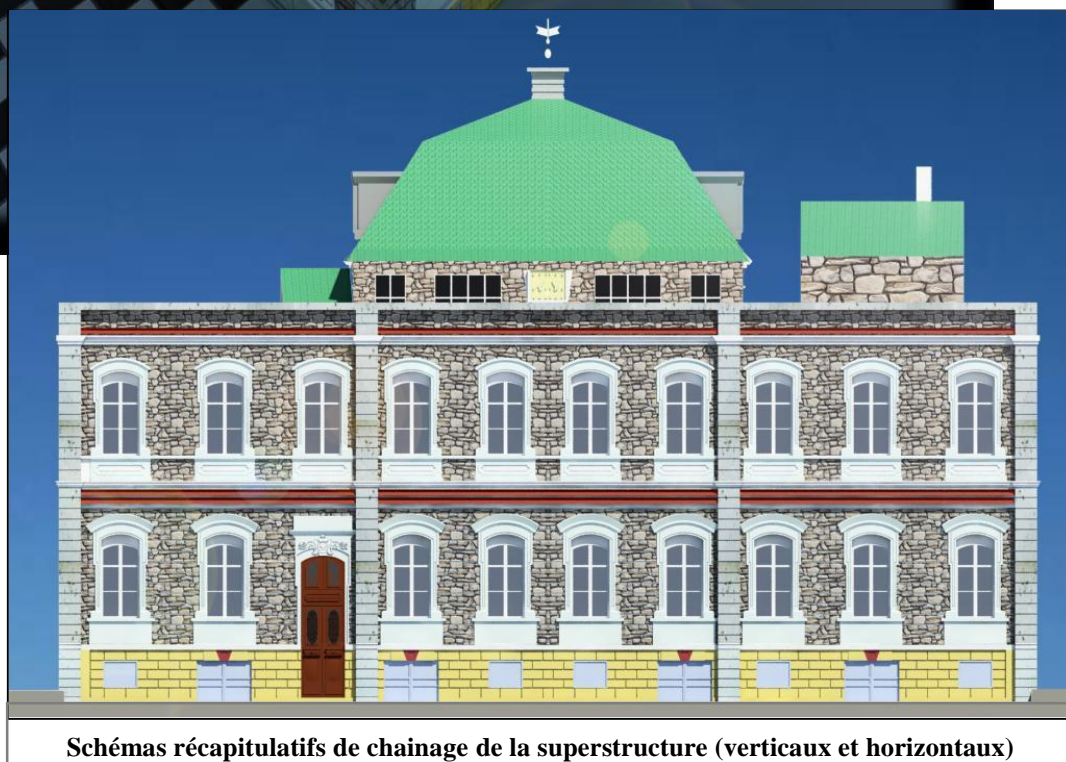
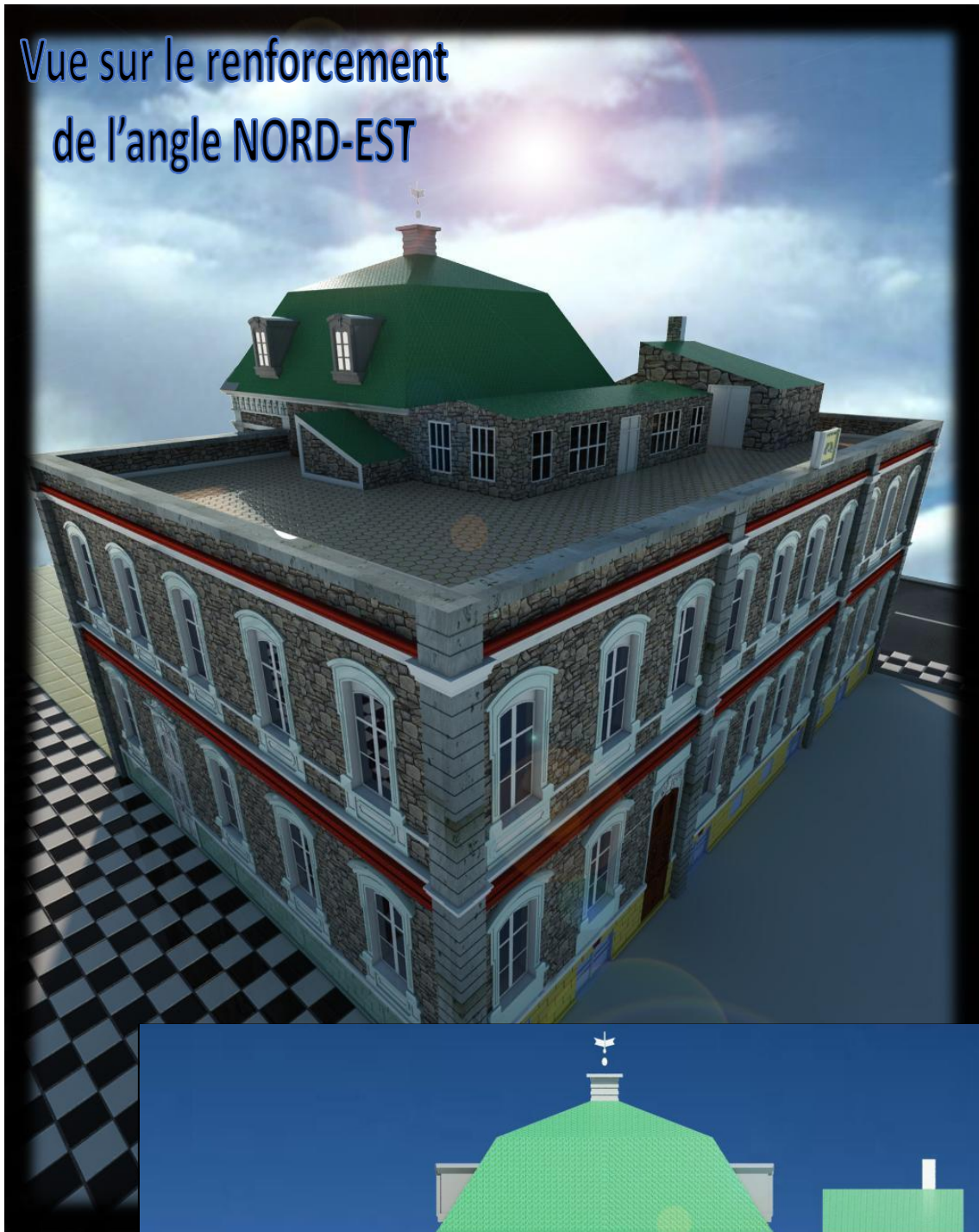
Figure 4.71 : Détail sur la connexion entre les deux chainages IPN 200 et béton armé

11.2.4. Schémas récapitulatifs de chainages de la superstructure (verticaux et horizontaux)



Schémas récapitulatifs de chainage de la superstructure (verticaux et horizontaux)

Vue sur le renforcement de l'angle NORD-EST



Schémas récapitulatifs de chaînage de la superstructure (verticaux et horizontaux)

RQ : pour plus d'illustration concernant ça, (voir : **Annexe D**)

NB : d'après tous ces chainages au niveau de l'infrastructure et de la superstructure et les fortes liaisons entre eux, on peut dire que l'édifice est bien chaîné dans tous les sens.

11.3. renforcement et consolidation des planchers métalliques à voutains

11.3.1. un rajout d'une série de poteaux à l'intérieur

Le rajout de cette série de poteaux 40*30 cm² en béton armé dans le sens longitudinale afin de diminuer la flexion de plancher dans le sens transversale. (Figure 4.72)

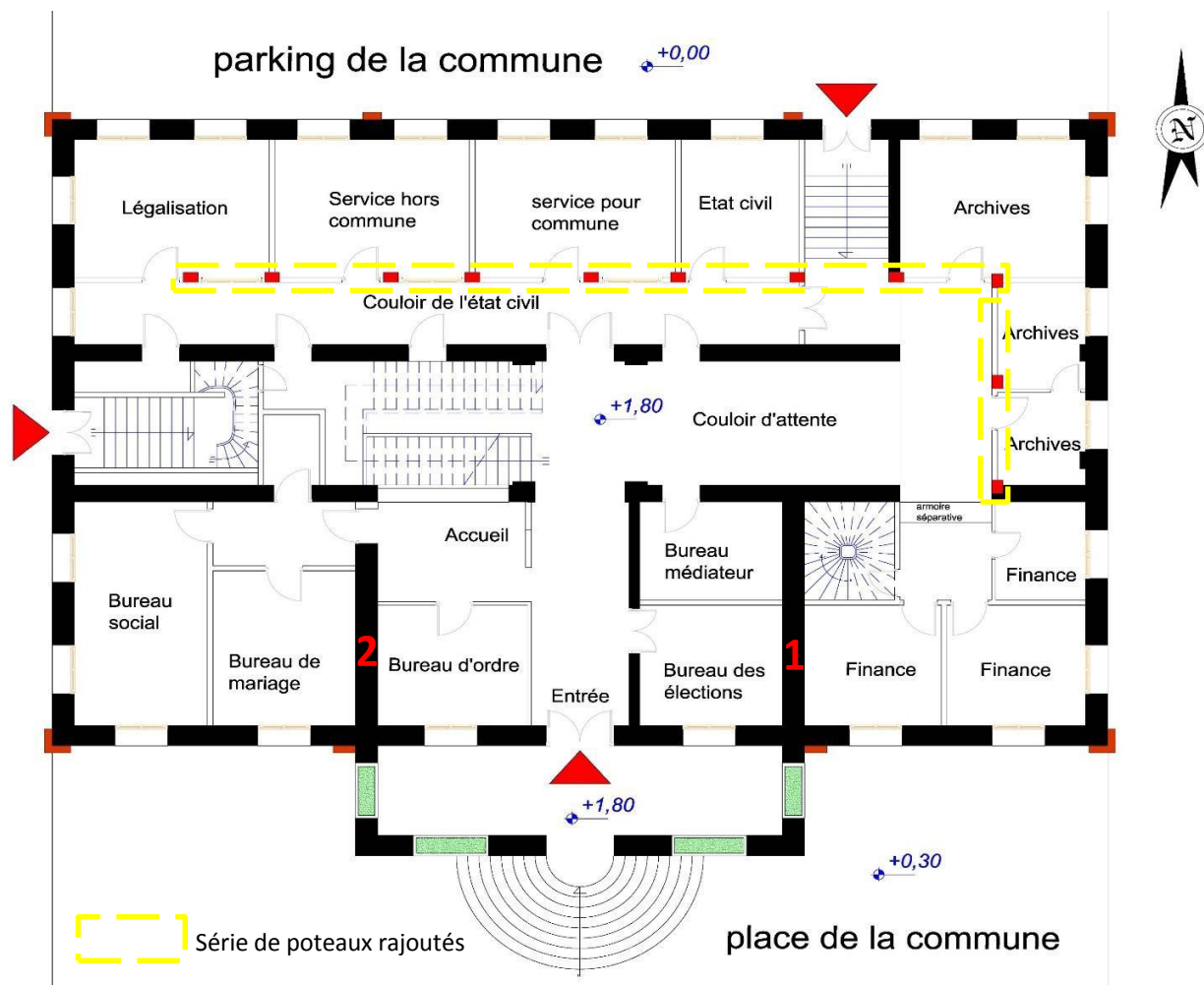


Figure 4.72 : renforcement du plancher par une série de poteaux en béton armé

Cette série de poteaux est rajoutée dans l'endroit où il n'y a pas de murs porteurs transversaux. Par contre, dans la partie de l'entrée où il existe des murs porteurs transversaux (voir dans le plan : **1** et **2**) rien n'a été rajouté comme poteaux de renforcement. De cela, on constate que les murs porteurs jouent un rôle important dans une construction.

11.3.2. le chemisage des poutres dans le sens transversal

Les poutres composites ont été renforcées par un chemisage en béton armé. (Figure 4.73 & Figure 4.74)

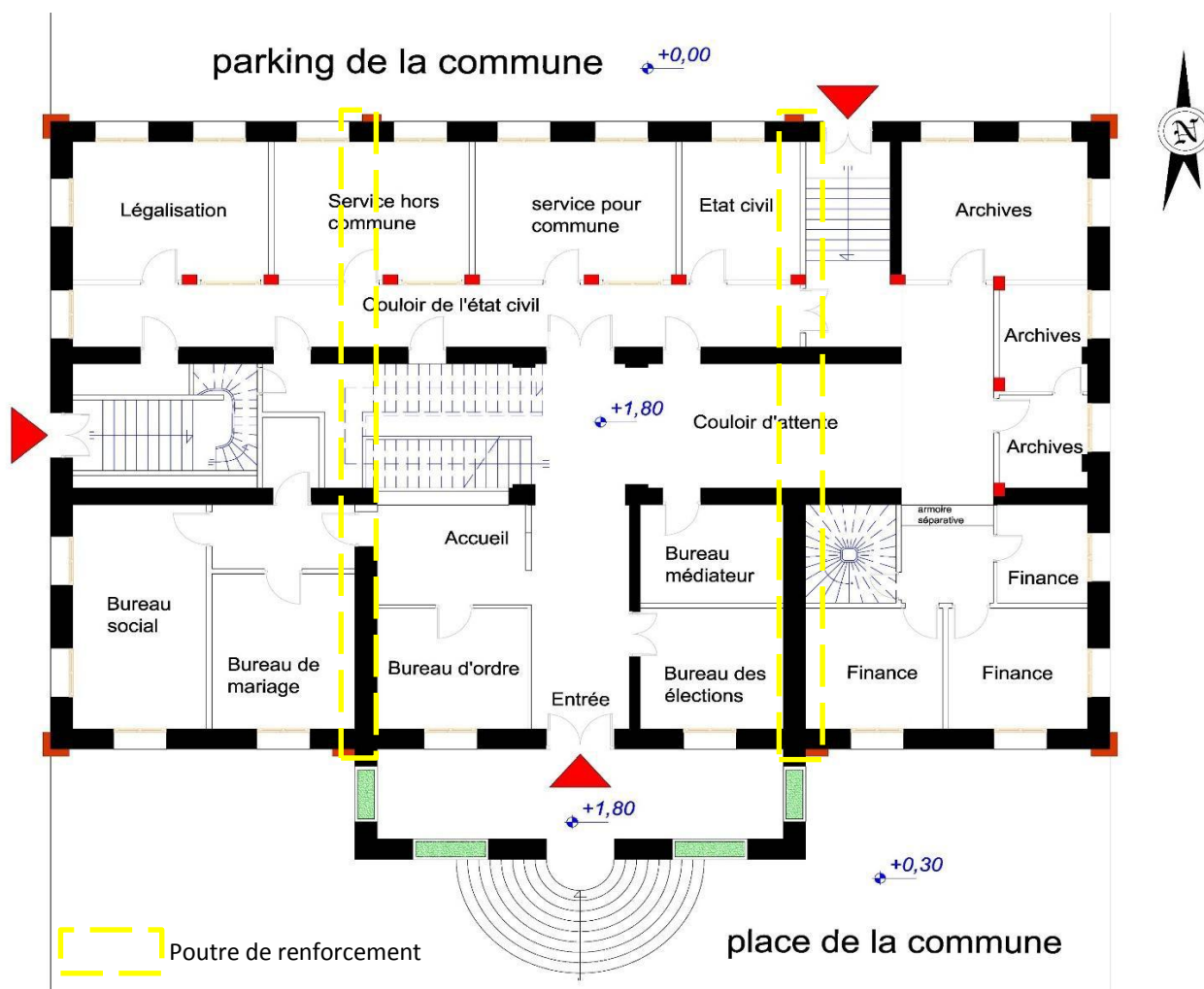


Figure 4.73 : emplacement des poutres de renforcement



Figure 4.74 : poutres de renforcement en béton armé

11.4. Renforcement de plancher de la toiture terrasse

Pour ce plancher de la toiture terrasse, il faut noter premièrement qu'il a subi un grand dommage lors de séisme de 2003 (apparition d'une grande fissure filante et ouverte) (Figure 4.75).

Le renforcement du plancher de la toiture terrasse a été fait par la consolidation de l'existant par un ferrailage en treillis soudés (Figure 4.75 & Figure 4.76) avec une couche de béton et d'un revêtement de carrelage (Figure 4.77).



Figure 4.75 : Fissure filante



Figure 4.76 : Ferrailage en treillis soudés



Figure 4.77 : Carrelage de petits carreaux

11.5. Réhabilitation du comble (la charpente)

La charpente qu'a été couverte en ardoise artificielle, elle a été réhabilitée par un bitume genre d'un feutre en vert. (Figure 4.78)



Figure 4.78 : Charpente en bitume (comme un feutre)

11.6. Renforcement de l'escalier

Le renforcement de ces escaliers, il a été pris en charge dans deux endroits :

- La connexion entre l'escalier et le niveau du plancher. (Figure 4.79)
- Cerner l'escalier par des murs en brique. (Figure 4.80)



Figure 4.79 : La connexion de l'escalier au plancher

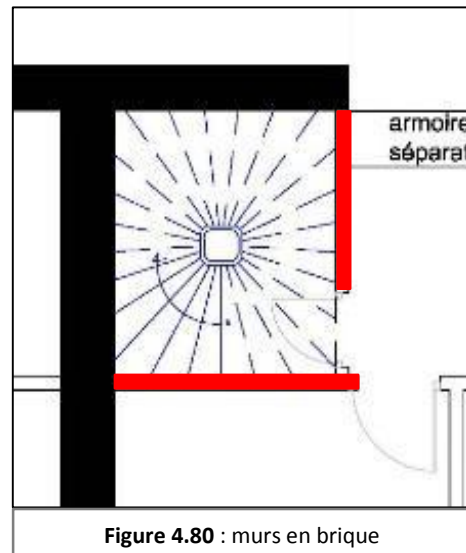


Figure 4.80 : murs en brique

NB : Les murs en brique utilisés ne jouent pas le rôle d'un renforcement pour l'escalier. ce sont des murs d'une séparation simple.

12. Conclusion

Au cours de ce chapitre fait à base des **principes** d'une méthode de travail suivie (méthode Rehabimed), nous avons réussi à décortiquer et analyser différents points et paramètres qui concerne l'édifice en soit même et son environnement immédiat.

Chacun des points traités au cours de ce chapitre ce trouve dans une étape parmi celles qui sont citées par la méthode Rehabimed, et chacun d'eux contient des informations propre en soit et qui apporte d'autres informations concernant un autre point. Généralement c'est le point qui le suit.

D'après cette démarche suivie, on a réussi à démarrer du point zéro jusqu'à ce que nous soulevons plusieurs points qui ont un rapport négatif sur l'édifice : dommages, pathologies et les changements apportés. nous avons réussi à définir les différentes techniques de renforcement et de consolidation utilisées au cours de la réhabilitation établie.

Concernant les dommages soulevés, on peut dire qu'il existe ceux qui sont majeurs et d'autres mineurs. L'apparition de ces dommages après une courte durée de disant sur l'intervention, nous renvoie de dire que l'intervention faite présente de manques. Pour les pathologies existantes, notamment au niveau des façades qui sont dues à l'absence d'entretien pour le siège. Les changements d'intérieurs apportés sur le siège sont dues aux fonctions exercées au niveau de la mairie, mais par contre les changements extérieurs sont dues aux techniques utilisées afin de renforcer le siège et de le consolider.

Les techniques de renforcement utilisées (chainage vertical et horizontal, consolidation des fondations,...) sont en adéquation avec les normes exigées par le **RPA** dans le système de construction en maçonnerie porteuse chaînée.

Enfin, L'évaluation de l'édifice renforcé/consolidé, et les solutions proposées pour ces techniques utilisées et pour les points négatifs soulever (dommages, pathologies et les changements apportés) vont être l'objectif de chapitre suivant.

Chapitre 5 : évaluation/interprétation des résultats obtenus de l'analyse critique du siège d'APC d'El Harrach, et les solutions préconisées.

1. Introduction

Après avoir effectué une analyse critique et détaillée concernant l'édifice d'étude et des techniques utilisées dans la réhabilitation qu'il a subi (chapitre 4). Tout en exploitant les résultats obtenus dans le chapitre précédent et en répondant à l'effet sismique qui est l'un des paramètres pris en charge dans Rehabimed, on va faire appel dans ce présent chapitre à la méthode AFPS qui va nous permettre d'évaluer notre édifice renforcé face aux risques sismiques.

A partir de cette évaluation, nous allons recommander concernant les techniques de renforcement/consolidation utilisées, et nous proposerons d'autres solutions afin de réduire le degré de vulnérabilité sismique de l'édifice.

Ensuite, on va proposer des solutions concernant les différents points négatifs soulevés au cours de chapitre précédent (dommages, pathologies et les changements apportés). Mis à part que ces solutions vont résoudre les problèmes posés, elles sont aussi des solutions qui vont garantir la durabilité de l'édifice et de chacun des points à réhabiliter.

2. AFPS comme méthode d'évaluation de l'édifice réhabilité face aux risques sismiques

Tout en se basant sur la méthode AFPS qui se présente comme une grille, on va évaluer notre édifice d'étude face aux risques sismiques. Cette évaluation se fait à travers différents paramètres qui composent l'édifice (éléments constructifs, dispositifs parasismiques,...).

Tout d'abord, nous allons définir les paramètres qui subissent un risque sur la vulnérabilité de notre bâtiment. Après, on va assembler les différents degrés de vulnérabilité de chaque paramètre afin d'avoir la vulnérabilité totale de l'édifice.

EVALUATION QUALITATIVE DE LA PRESOMPTION DE VULNERABILITE

Propriétaire du bâtiment : siège de la commune d'El-Harrach

Dénomination et adresse du bâtiment : siège de la commune d'El-Harrach, Alger.

Année de construction : 1870

Date de diagnostic : 06/11/2015

Auteur de diagnostic : TAIB Yazid

	1 Pente générale du terrain > 40 % 5		2 Proximité d'un changement de pente D < 2H du bâtiment 15		Observations				
B Environnement du bâtiment	1 Bâtiments accolés : joint = 0 ou rempli d'un matériau 25		2 Joints entre blocs adjacents < 2 cm 25		0				
C Type de structure	1 Murs en maçonnerie de blocs 15	2 Murs en béton non armé 10	3 Murs en béton armé 5	4 Ossature poteaux-poutres sans remplissage 20	5 Ossature poteaux-poutres avec remplissage 25	6 Système mixte murs en maçonnerie et ossature 20	7 Panneaux de façade BA préfabriqués porteurs 10	8 Ossature BA préfabriquée porteuse 50	20
D Forme en plan	1 Irrégulière 5		2 Elancement en plan L/l > 4 5		3 Parties saillantes ou rentrantes 5		5		

E Forme en élévation	1 Etages en encorbellement > 2 m 15	2 Retrait en façade >40 % 20	3 Planchers d'un même étage situés à des hauteurs différentes 10	4 Présence d'un plancher lourd ou d'une toiture lourde 10	5 Absence de diaphragme horizontal en toiture 20	0	
F Contreventement	1 Variation verticale croissante des rigidités 0 à 100 (voir formule 1)		2 Dissymétrie : torsion faible : 5 accusée : 50	3 Absence de contreventement dans le sens des x ou y 100	4 Densité de voiles de contreventement sens x ou y 0 à 100 (voir formule 2)	0+5+0	
G Zones ou éléments critiques	1 Descente de charge en baie 25	2 Présence de poteaux courts ou partiellement bridés participant au contreventement 50	3 Présence de poteaux élancés 10	4 Percements inserts dans les poteaux e>d/3 25	5 Percements inserts dans les poutres e>d/3 10	6 Percements inserts dans les nœuds e>d/3 50	0
	7 Présence d'un angle de façade affaibli 15	8 Axes poteaux et poutres non concourants e>c/2 10	9 Diaphragmes horizontaux avec grandes ouvertures s>10 %S 10	10 Absence de chaînages encadrant les murs de contreventement en MAC verticaux : 25 horizontaux : 75		0	
H Divers	1 Etat de conservation du gros œuvre médiocre : 10 mauvais : 25		2 Risque de chute d'éléments non structuraux 5	3 Façade BA préfabriquée non porteuse 10		25	
Total des pénalités C6+D3+F2+H1 = 20+5+5+25 = 55							

- **Formule 1** $K = 50 (\mu^{1/3} - 1)$ avec $\mu = \Sigma I \text{ supérieur} / \Sigma I \text{ inférieur}$

$\mu = \Sigma I \text{ sup} / \Sigma I \text{ inf}$
Pénalité : $K = 50 (\mu^{1/3} - 1)$

$\Sigma I_{xx} \text{ étage} = 84.97\text{m}^4$

$\Sigma I_{yy} \text{ étage} = 186.78\text{m}^4$

$\Sigma I_{xx} \text{ RDC} = 108,51\text{m}^4$

$\Sigma I_{yy} \text{ RDC} = 239,15\text{m}^4$

μ_{x1}	0,78
μ_{y1}	0,781041
k_{xx1}	-3,974
k_{yy1}	-3,954

Les valeurs trouvées dans ce cas (k_{xx1} & k_{yy1}), sont inférieurs à Zéro. Donc on prend :

$K = 0,00 \text{ m}^4$

- **Formule 2** $K = 25 (1000 \lambda - 5)^2 / 4$ avec $\lambda = \Sigma I / S H$

$\lambda_x = \Sigma I_y / S H \text{ (m)}$
Pénalité : $K_x = 25 (1000 \lambda_x - 5)^2 / 4$
$K_x = 0$ pour $\lambda_x \geq 5 / 1000$

λ_{xxRDC}	0,0426
λ_{yyRDC}	0,0193

$S \text{ RDC} = S \text{ étage} = 509,16 \text{ m}^2$

$H \text{ bâtiment} = 11 \text{ m}$

Puisque les valeurs de λ_{xxRDC} et λ_{yyRDC} sont supérieures à **5/1000**. Donc on prend :

$$K = 0,00 \text{ m}^4$$

- Dissymétrie « torsion » :

$$X_g = \sum A_i \cdot X_i / \sum A_i = 14,10\text{m}$$

$$Y_g = \sum A_i \cdot Y_i / \sum A_i = 11,78\text{m}$$

$$X_t = \sum I_v \cdot X_s / \sum I_v = 15,65\text{m}$$

$$Y_t = \sum I_h \cdot X_s / \sum I_h = 11,76\text{m}$$

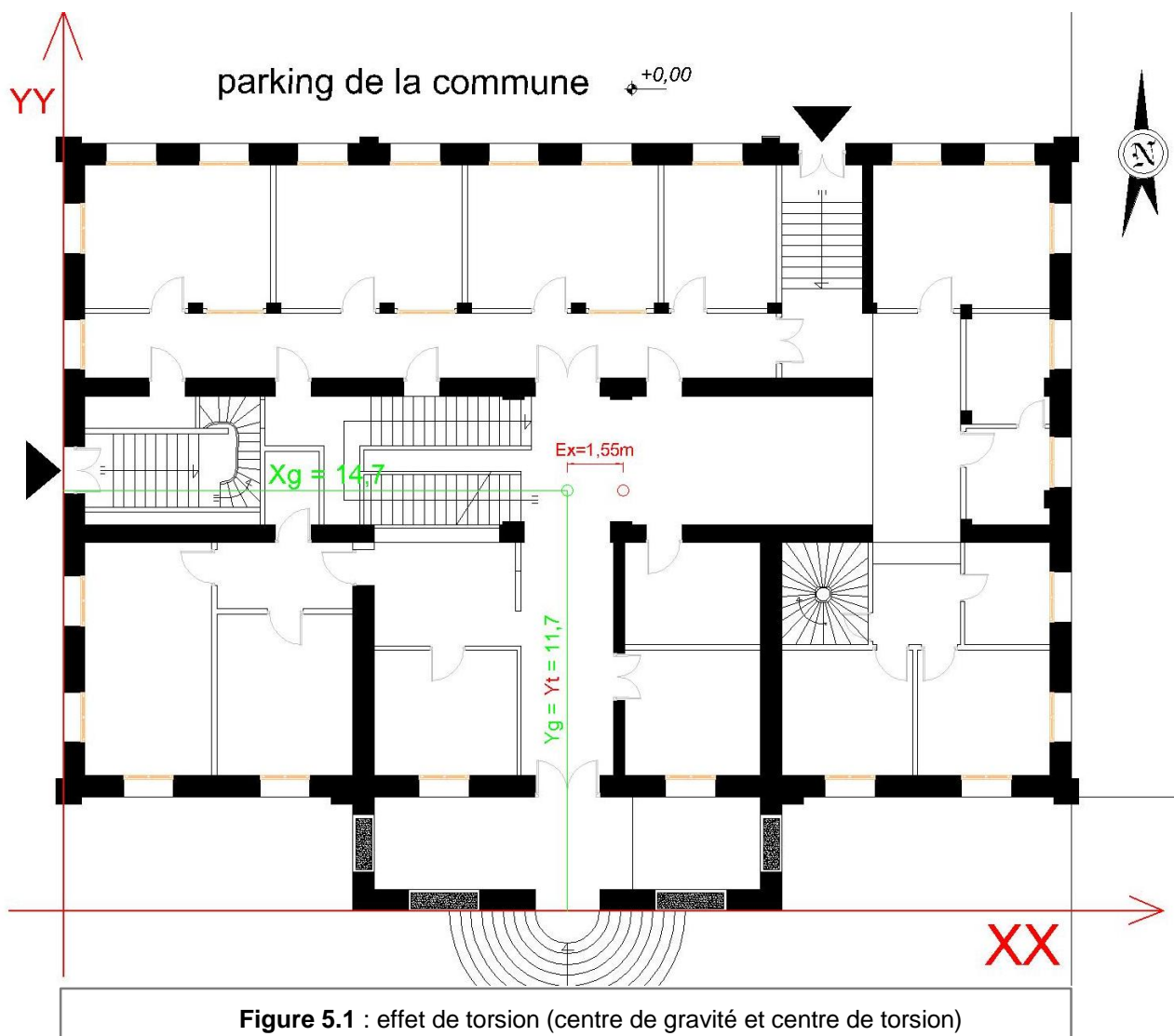
$$E_x = X_g - X_t = 1,34\text{m}$$

$$E_x = 1,34 < 0,15 \cdot L = 0,15 \cdot 28,2 = 4,23\text{m}$$

$$E_y = Y_g - Y_t = 0,02\text{m}$$

$$E_y = 0,02 < 0,12 \cdot I = 0,12 \cdot 21,45 = 2,57\text{m}$$

Puisque les deux conditions sont vérifiées. Donc, selon le règlement parasismique algérien **RPA**, l'édifice ne présente pas l'effet de l'excentricité. Mais par contre, une légère torsion est toujours existante. (Figure 5.1)



D'après cette évaluation, on a trouvé que **K=55** ($50 < K < 100$). Donc, on va classer notre édifice d'étude dans un risque de **présomption à forte vulnérabilité**.

Les paramètres qu'ont participés à ce degré de vulnérabilité sont :

	Paramètres			pénalités
C Type de structure	6 Système mixte murs en maçonnerie et ossature			20
D Forme en plan	3 Parties saillantes ou rentrantes			5
F Contreventement	1 Variation verticale croissante des rigidités	2 Dissymétrie : torsion	4 Densité de voiles de contreventement	0 + 5 + 0 = 5
H Divers	1 Etat de conservation du gros œuvre			25

NB : d'après la méthode AFPS, Lorsque le total des pénalités dépasse 50, il y a lieu de procéder à une analyse sismique du bâtiment, par toutes méthodes scientifiquement établies et validées par l'expérience (CETE & brgm, 2008). Qui veut dire : quand le degré de vulnérabilité dépasse les 50 ($K > 50$), une autre **étude génie civil** est exigée, surtout avec le système de renforcement utilisé. Cet étude va être très approfondie et avec des logiciels beaucoup plus complexes.

3. Recommandations sur les techniques utilisées dans le renforcement/consolidation du siège d'APC d'El Harrach.

Tant qu'architecte et d'après les résultats obtenus par l'évaluation effectuée, je ne peux pas résoudre la totalité des problèmes de vulnérabilité. Mais par contre, on peut réduire cette vulnérabilité par des interventions sur certains paramètres qui ont augmentés ce facteur de vulnérabilité.

1.1. Concernant le paramètre C6 « système mixte murs en maçonnerie et ossature »

D'après l'analyse de toutes les techniques de renforcements utilisées (voir tous les chainages horizontaux et verticaux expliquer et décortiquer dans le chapitre précédent), nous pouvons dire que l'édifice est très bien chaîné dans l'infrastructure et dans la superstructure, ainsi horizontalement et verticalement. Donc, de ce côté, on peut dire que l'édifice est bien renforcé en terme de sismicité. Par contre, l'intervention sur un édifice ancien en maçonnerie par une ossature de différents matériaux (béton armé, charpente métallique) selon AFPS, cela augmente la vulnérabilité de l'édifice face aux risques sismiques.

Tant que ces techniques de chainages horizontaux et verticaux mises en place, on ne peut pas les détruire ou les enlever. Donc, de ce côté, nous ne pouvons pas réduire la vulnérabilité de l'édifice.

	Paramètres	pénalités
C Type de structure	6 Système mixte murs en maçonnerie et ossature	20

Donc d'après tout cela, On aurait dû intervenir dès le début d'une autre manière, par le précontraint qu'est la meilleure solution pour ces édifices anciens en maçonnerie tout en gardant l'ensemble des chaînages horizontaux et verticaux afin d'assurer une bonne résistance face aux risques sismiques, ainsi de minimiser la pluralité des systèmes de structures utilisés.

NB : l'utilisation de la précontrainte va nous permettre aussi de préserver et de conserver l'aspect patrimonial concernant les façades de l'édifice (richesse architecturale : décorations, textures, pilastres,...), parce que cette technique elle s'opère à l'intérieur des murs porteurs.

RQ : pour que cette opération réussisse, elle consiste de disposer des moyens matériels et humains qualifiés.

1.2. Concernant le paramètre D3 « Parties saillantes ou rentrantes »

Ce paramètre a une relation directe avec la conception de l'édifice. Donc, on ne peut pas intervenir sur ce paramètre afin minimiser ça pinalité.

De ce fait, le risque de vulnérabilité ne peut pas être réduit (il reste tel qu'il est) :

	Paramètres	pénalités
D Forme en plan	3 Parties saillantes ou rentrantes	5

1.3. Concernant les paramètres F1, F2 et F4

Les deux paramètres F1 et F4 selon l'évaluation de l'AFPS sont nuls. Par contre dans le paramètre F2, on a trouvé une légère torsion à cause de la dissymétrie dans la disposition des murs porteurs de contreventements.

La réglementation parasismique des constructions en pierre, exige d'avoir une disposition symétrique des murs porteurs (Figure 5.2) :

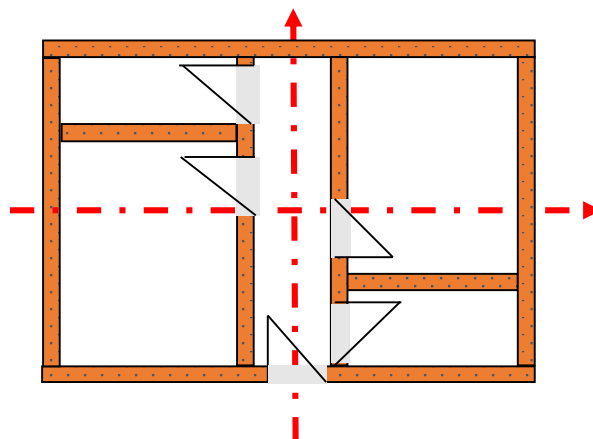


Figure 5.2 : MURS PORTEURS SYMETRIQUES

Source : Azzouz bouguerba-séisme Al Hoceima du 24/02/2004

D'après cela, la technique qu'on va proposer, c'est de rajouter deux murs porteurs en maçonnerie de pierre afin d'avoir plus ou moins une symétrie parfaite dans la disposition des murs de contreventements. (Figure 5.3 & Figure 5.4)

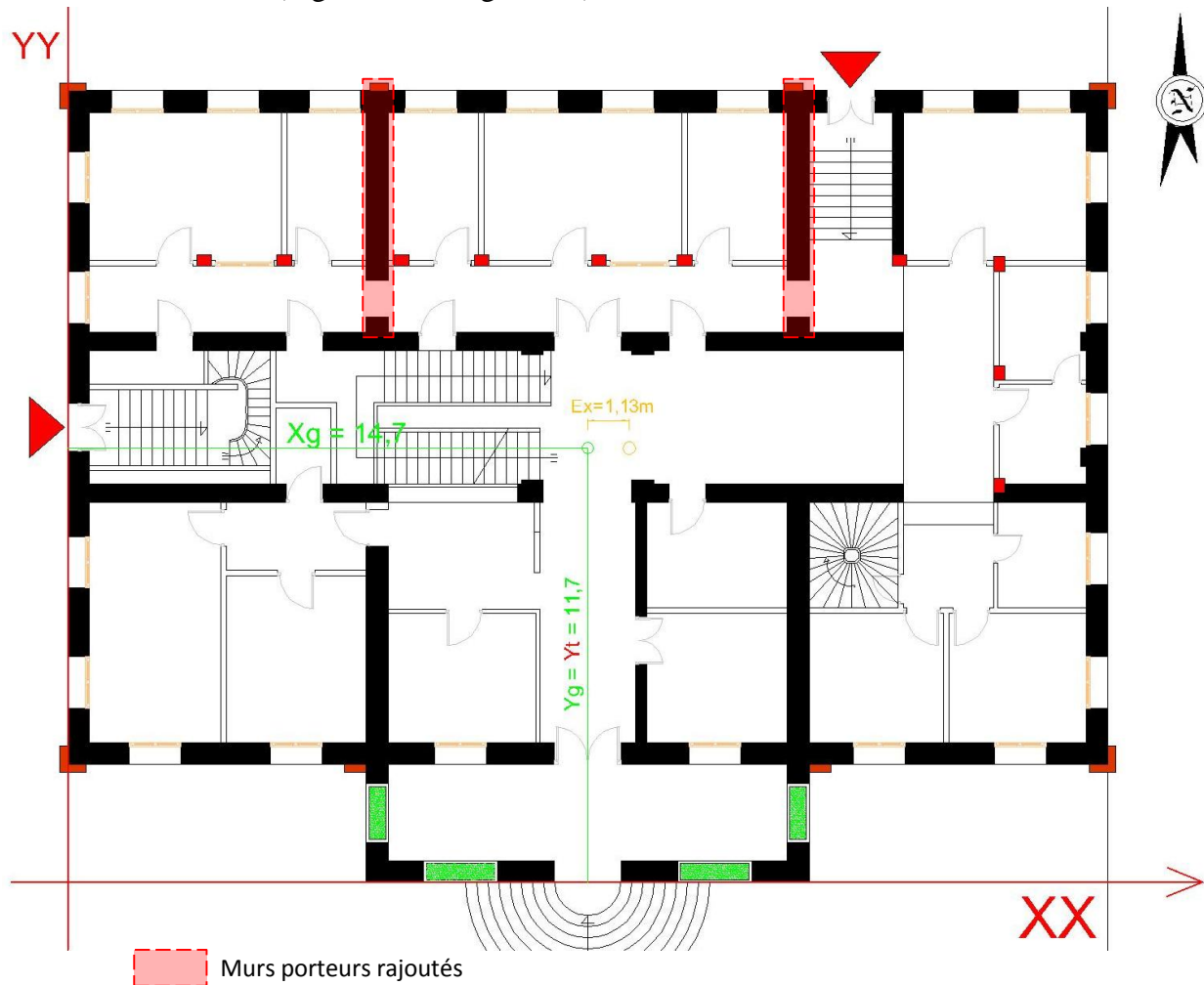


Figure 5.3 : rajout de murs porteurs

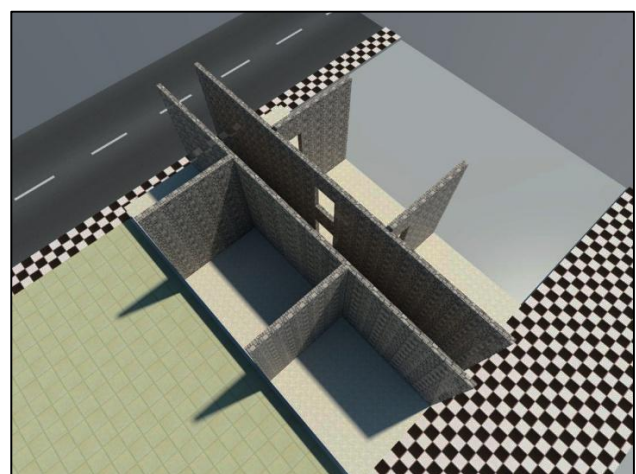
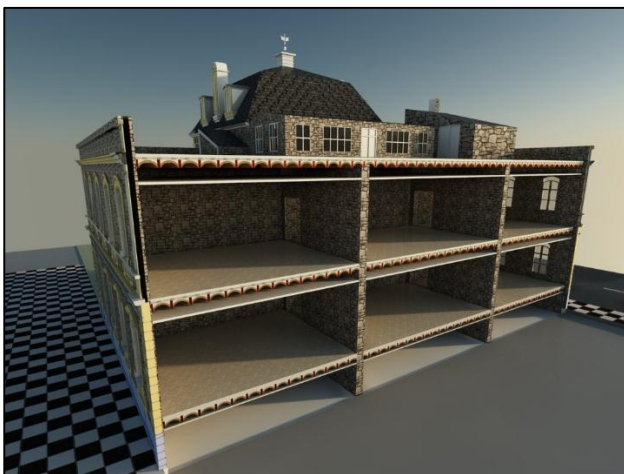


Figure 5.4 : 3D sur les murs porteurs en maçonneries proposés (symétrie)

Cette technique de rajout de voiles en maçonnerie de pierre, va nous permettre de rigidifier l'édifice et réduire le déplacement qu'est la cause de tous les endommagements causés lors d'un séisme.

La construction de ces murs porteurs et de contreventement demande une certaine réflexion dans la manière de les concevoir et de leurs mises en œuvre. Cela va être suivant la réglementation parasismique des constructions en pierre :

- Pose en quinconce (Figure 5.5)
- Remplissage INTER-PIERRE (Figure 5.6)
- Des murs à épaisseur de 50 cm au maximum
- Eviter les pierres rondes
- Procéder à un clavetage tous les 0.80 m au maximum dans le sens vertical et de 1.20 m dans le sens horizontal (Figure 5.8).
- Assurer la liaison entre les murs existants et les nouveaux par des fers plats en T (Figure 5.9).

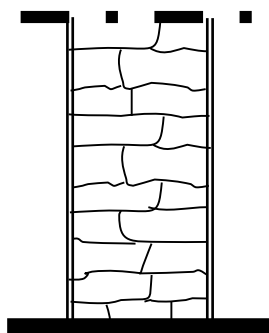


Figure 5.5 : POSE EN QUINCONCE

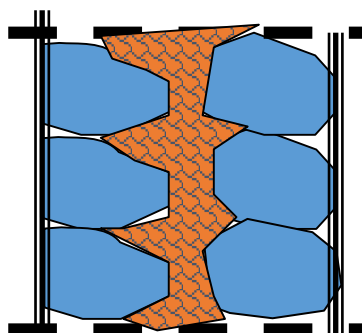


Figure 5.6 : REMPLISSAGE INTER-PIERRES

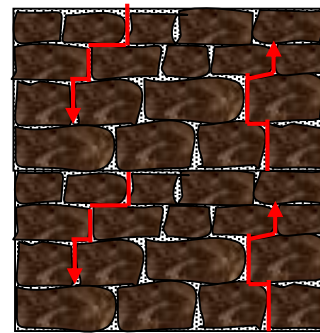


Figure 5.7 : Le cheminement du joint montant ou descendant doit arriver sur une pierre

Source : Azzouz bouguerba-séisme Al Hoceima du 24/02/2004

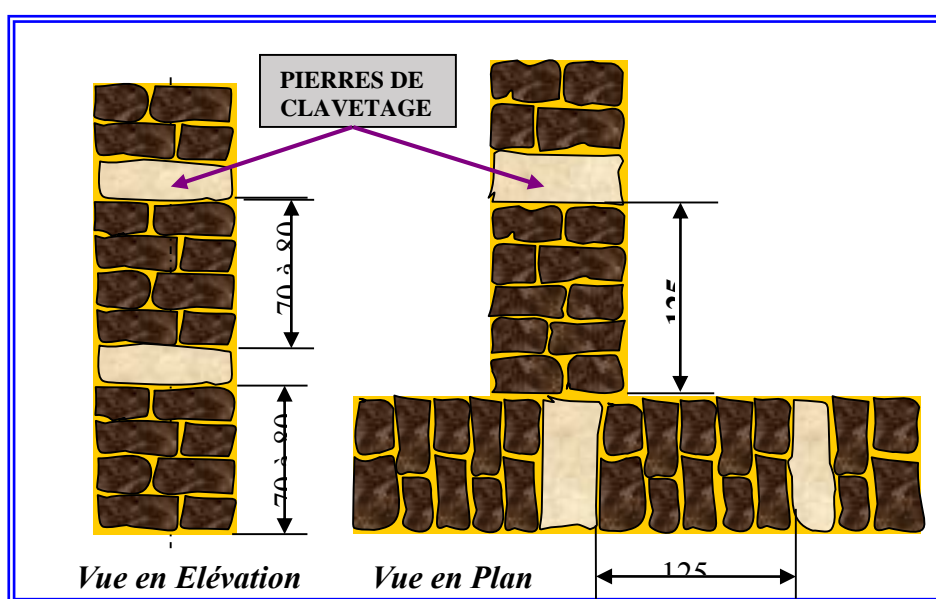


Figure 5.8 : Pierres de clavetages

Source : Ibid.



Figure 5.9 : Fers plats en T

Source : (ACHAB SAMIA EP CHERNAI, Juin 2012)

Cette technique va nous permettre :

- L'augmentation de voiles comme éléments de contreventement.
- Une proximité de distance entre le centre de torsion et le centre de gravité.
- D'augmenter l'inertie I_{xx} afin d'avoir un meilleur comportement de contreventement dans ce sens.

Malgré les avantages données par cette technique, une légère torsion est toujours existante, de ce fait :

	Paramètres			pénalités
F Contreventement	1 Variation verticale croissante des rigidités	2 Dissymétrie : torsion	4 Densité de voiles de contreventement	K = 5

1.4. Concernant le paramètre H1 « l'état de conservation du gros œuvre »

Vue les dommages et les problèmes cités dans le chapitre 4, on trouve ceux qui touchent à l'état de conservation du gros œuvres : l'état dégradé des fondations et le problème de la nappe phréatique.

a) La nappe phréatique

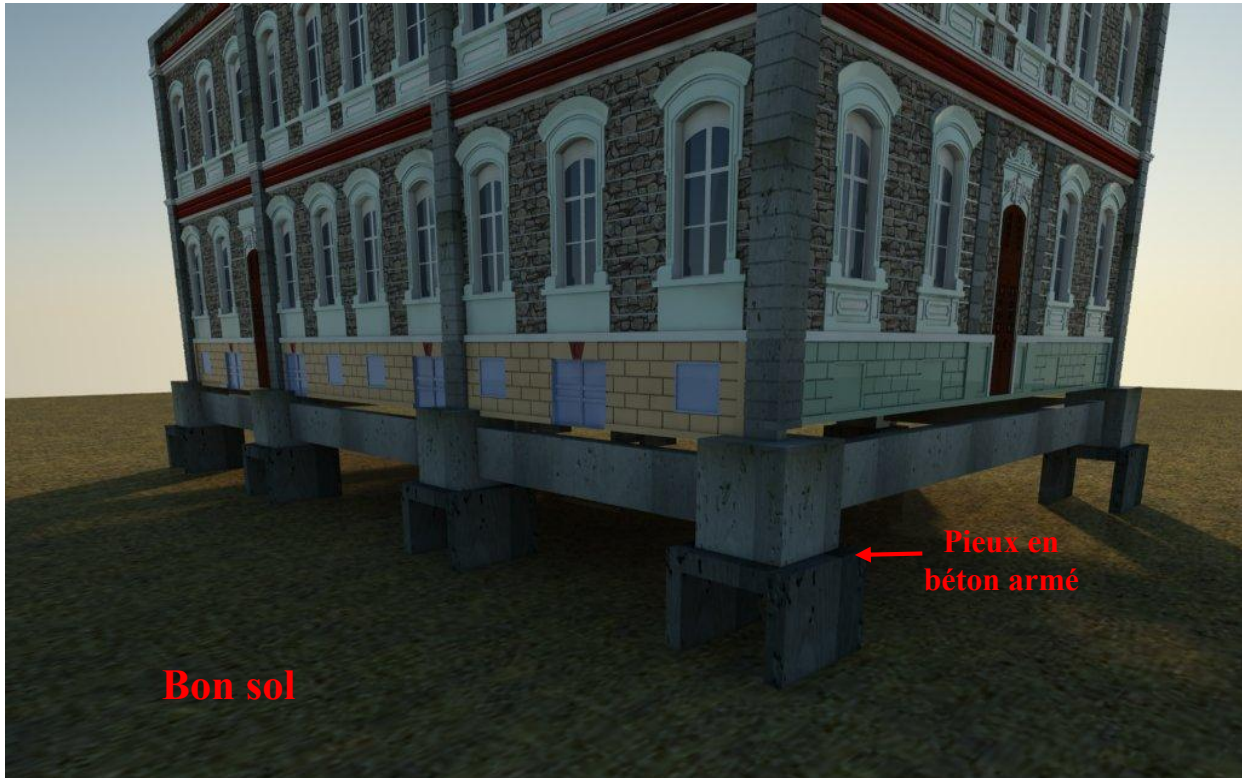
Afin de faire face à ce problème de la nappe phréatique existante durant toute l'année, on propose l'installation d'une station de pompage des eaux de cette nappe phréatique qui travaille durant toute l'année.

b) Les fondations

Le renforcement des fondations, il a été fait par la création de nouvelles semelles en béton armé, et qui sont aussi considérées comme un renforcement des fondations existantes, ces semelles de renforcement en béton armé sont de dimensions (2*2*2m³). Mais le problème c'est que le fond de ces semelles n'arrivent pas au bon sol, par contre elles se flottent juste au niveau de la nappe phréatique. Donc, cela engendre une très grande vulnérabilité de l'édifice face aux risques sismiques.

De ce fait on peut intervenir sur ces fondations afin de minimiser les pénalités et réduire le facteur de vulnérabilité K :

On propose une **consolidation plus profonde** et bien examinée jusqu'à l'arriver au bon sol, pour cela on opte pour la technique des **pieux en béton armé**. (figure 5.10)



Figures 5.10 : Consolidation des fondations par pieux en béton armée

A partir de ces solutions proposées pour la nappe phréatique et les fondations qui flottent sur cette dernière, nous pouvons assurer la stabilité de l'édifice et la conservation de ces gros œuvres. Tout cela, nous permettra de réduire les pénalités de 25 jusqu'au 5 (approximativement).

	Paramètres	pénalités
H Divers	1 Bonne état de conservation du gros œuvre	5

NB : d'après cette évaluation à travers une fiche technique et l'étude de chacun des points qui participent aux problèmes de vulnérabilité, nous avons arrivé à proposer des solutions qui vont nous permettre de minimiser les pénalités de certains paramètres qui font réduire au maximum le facteur de vulnérabilité K (d'une présomption de **forte vulnérabilité** $K = 55$ à une présomption de **moyenne vulnérabilité** $K = 35$).

Le tableau suivant montre le degré de vulnérabilité après les techniques proposées :

	Paramètres			pénalités
C Type de structure	6 Système mixte murs en maçonnerie et ossature			20
D Forme en plan	3 Parties saillantes ou rentrantes			5
F Contreventement	1 Variation verticale croissante des rigidités	2 Dissymétrie : torsion	4 Densité de voiles de contreventement	5
H Divers	1 Etat de conservation du gros œuvre			5
Total des pénalités $C6+D3+F2+H1 = 20+5+5+5 = 35$				

4. Proposition de solutions pour les changements, dommages et les pathologies soulevés

Vue les différents problèmes cités auparavant, dans ce présent point nous proposerons des solutions avec des techniques et des matériaux perdurant pour chacun des problèmes soulevés :

4.1. Fonctionnalité des espaces

- Ouverture de la porte d'entrée de la façade Ouest qui serve la partie présidentielle de l'étage (Figure 5.11)
- Revoir la fonctionnalité de la porte d'accès de la façade EST et enlevé le petit bureau qui appartient à la partie finance (Figure 5.12)
- Assurer la circulation entre la partie de finance et autres parties par la suppression des éléments de séparations (armoire de séparation) (Figure 5.12).



Figure 5.11 : ouverture de cette porte condamnée

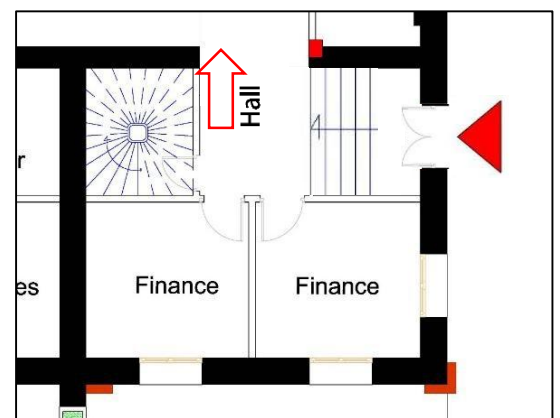
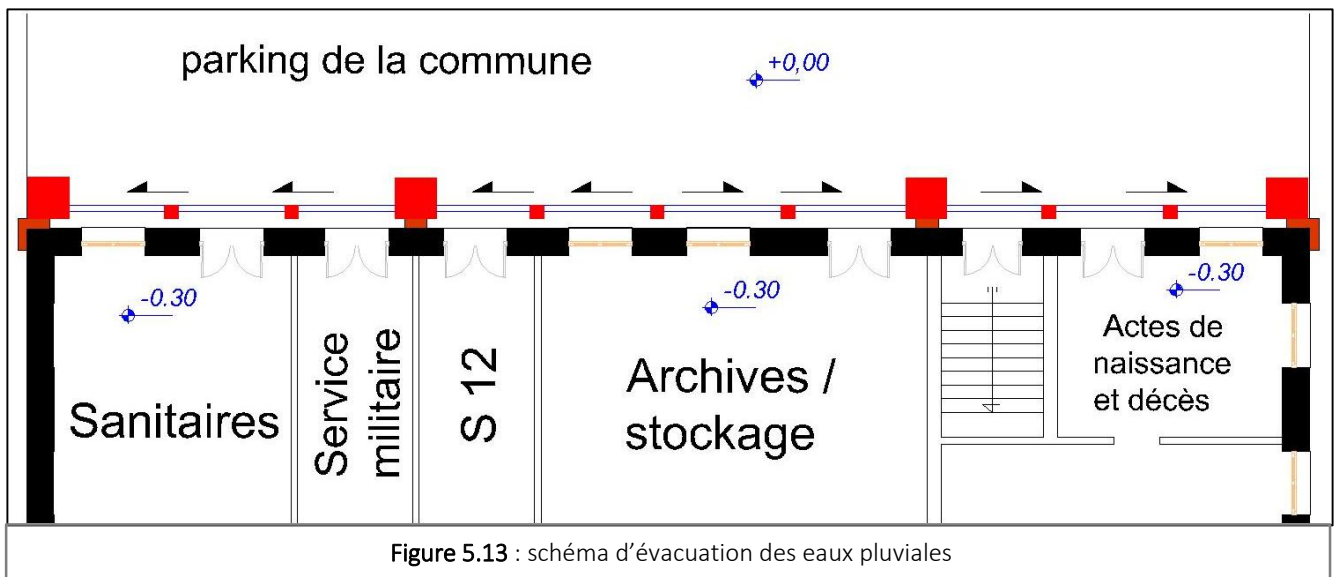


Figure 5.12 : assurer la fonction attribuée à cette entrée

4.2. Risque d'inondation au niveau de sous-sol

- Nettoyer les regards qu'existent au niveau de la façade arrière et proposition d'autres regards avec une grande capacité de réception des eaux de pluies (Figure 5.13).

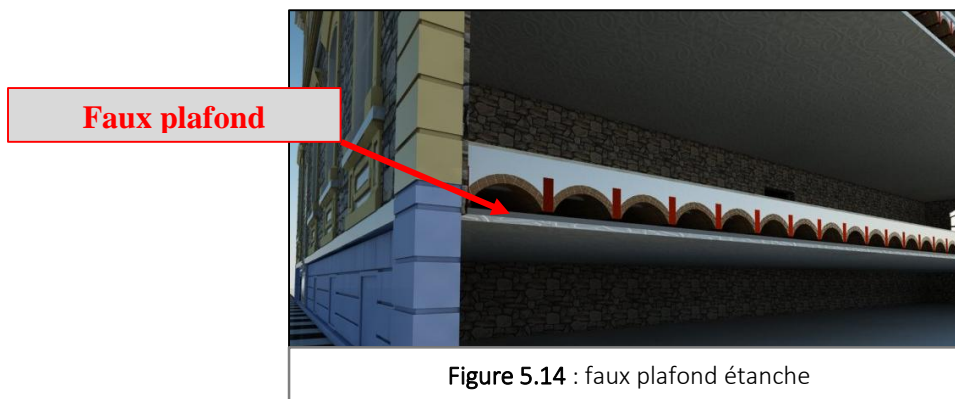
- Aménagement des cas niveaux afin d'évacuer les eaux et de ne pas permettre le ruissèlement de ces eaux au sous-sol (Figure 5.13).



- aménagement des cas niveaux
- direction d'écoulement des eaux
- Aménagement de nouveaux regards 90*90cm²

4.3. Faux plafond au niveau du sous-sol

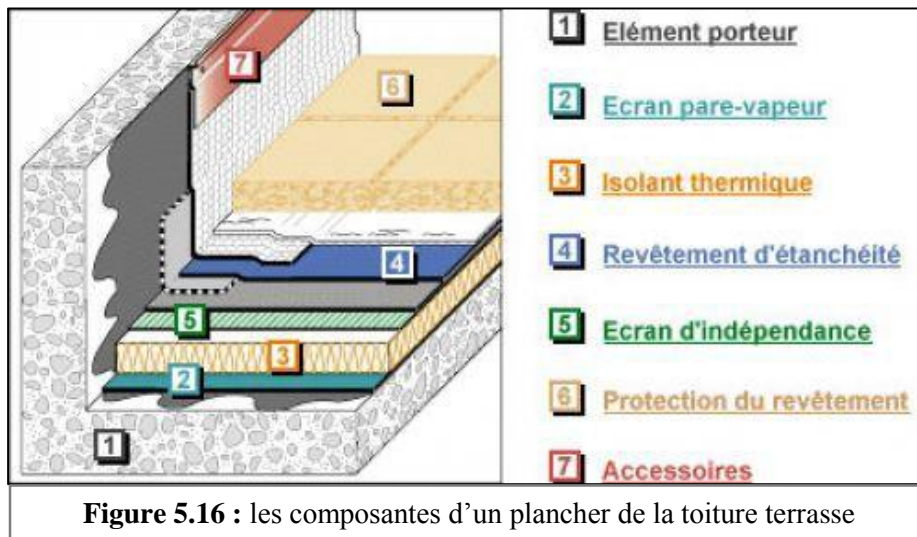
- Proposition d'un faux plafond étanche et bien traité, attaché au plancher à voutain du sous-sol (Figure 5.14 & Figure 5.15).



4.4. Le plancher de la toiture terrasse

Régler les défauts d'étanchéité au niveau du socle de la toiture terrasse par les étapes suivantes :

- Elimination de la végétation ayant poussé le revêtement de la toiture terrasse ;
- Démolir toutes les parties cassées de revêtements ;
- Poser le complexe d'étanchéité et l'isolation thermique et phonique ;
- Poser une Chappe de béton ;
- Poser à nouveau un même revêtement (carrelage) dans les parties détruites au niveau de cette toiture terrasse.



4.5. L'escalier

- Renforcement de l'escalier par :
 - un rajout d'un grand appui au centre de l'escalier. Cet appui sera construit en béton armé couvert en bois afin d'intégrer notre intervention dans le milieu des matériaux utilisés (le bois). (Figure 5.17).
 - un rajout de deux murs porteurs en pierre afin de bien consolider et stabiliser l'escalier. (Figure 5.17).
 - réparation des fissures apparaissent au niveau de l'escalier par fixation de grillage.



-  Renforcement central (béton armé)
-  Renforcement latéral (murs porteurs)



Figure 5.17 : techniques de renforcement de

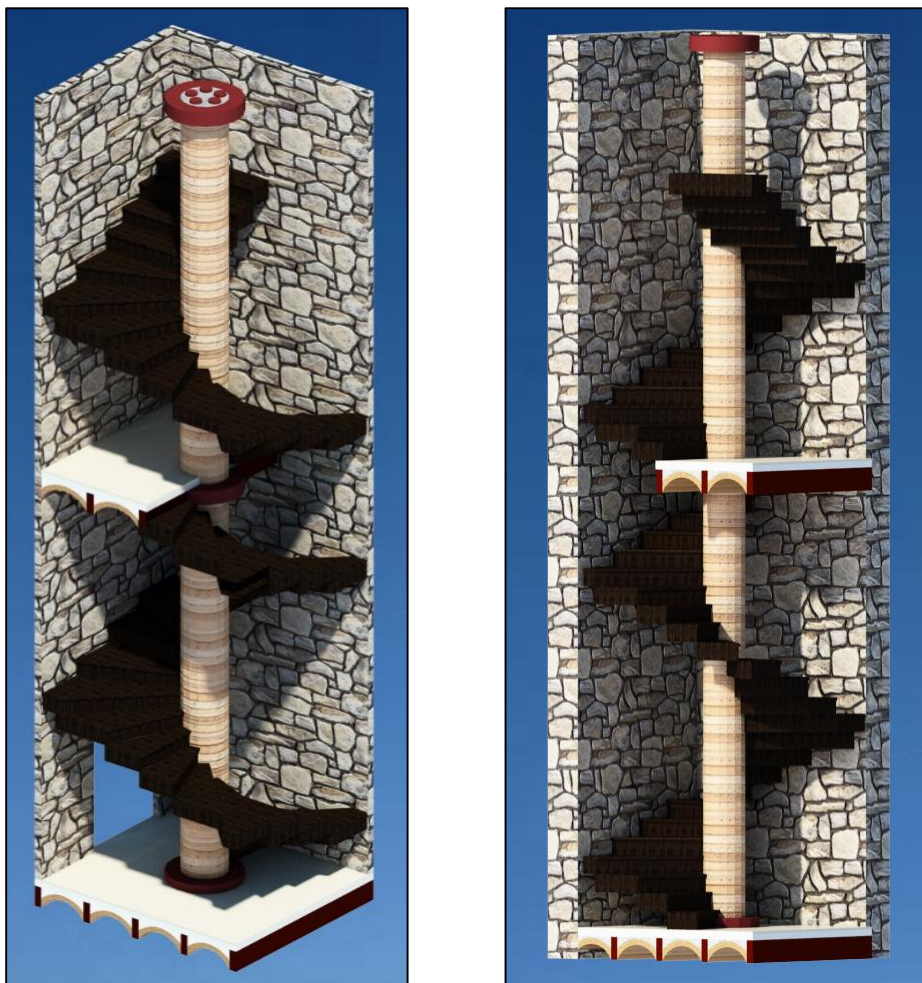


Figure 5.18 : renforcement de l'escalier

4.6. La charpente

- Remplacement de feutre en bitume par une ardoise artificielle (le même matériau qu'existe avant l'intervention) (Figure 5.19).
- La mise en œuvre de cette ardoise artificielle demande une certaine qualification (Figure 5.20).
- Mise en place de nouvelles fenêtres en bois bien traitées (Figure 5.19).



Figure 5.19 : charpente en ardoise artificielle et fenêtres en bois



Figure 5.20 : différentes techniques de la mise en œuvre de l'ardoise artificielle

4.7. Reprendre la richesse décorative de l'édifice

Après avoir fait un renforcement du siège d'APC d'El-Harrach verticalement et horizontalement avec le béton armé et la charpente métallique, on propose de reprendre les richesses décoratives existantes sur les façades de l'édifice :

- Reprendre le crépissage au niveau des points porteurs verticaux (les pilastres décoratifs). (Figure 5.21)
- Reprendre les différentes corniches existantes avant l'intervention. (Figure 5.22)

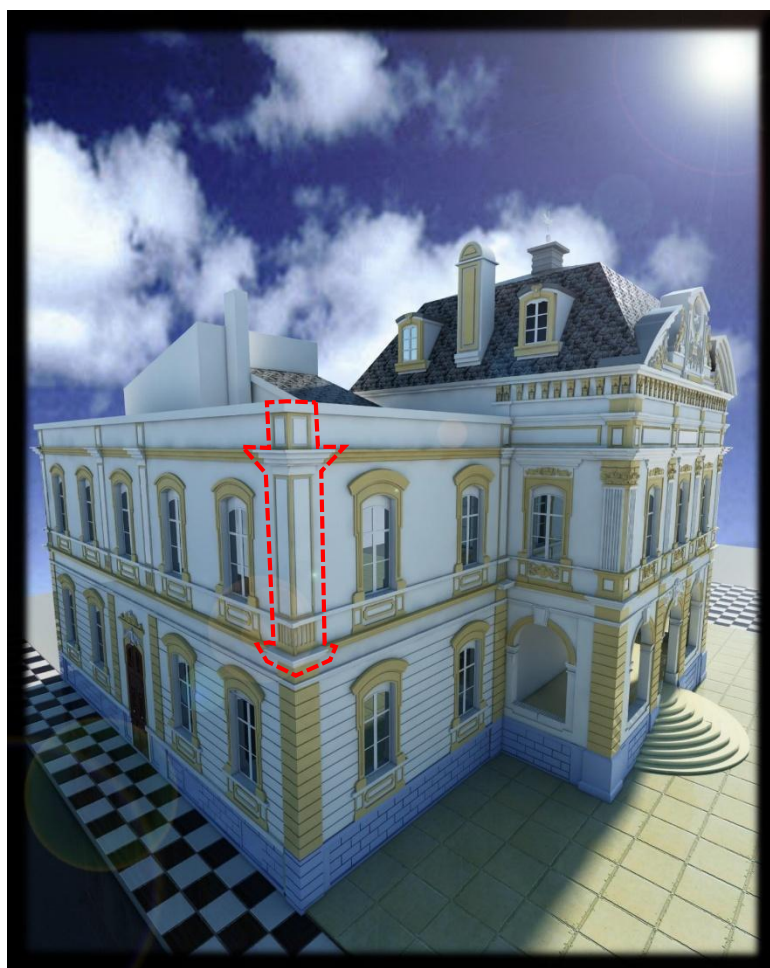


Figure 5.21 : reprendre la richesse des pilastres décoratifs



Figure 5.22 : reprendre la richesse de toutes les corniches décoratives

4.8. Régler les ravalements et les pathologies des façades

Pour les pathologies observées dans les façades il faut les régler d'une technique pratique et durable. Avant d'entamé cela, il faut tout d'abord régler les problèmes qui ont causés ces pathologies, parmi les solutions proposées on cite :

- Proposition des tuyaux de descentes des eaux pluviales en zinc qui vont remplacer les anciennes descentes dégradées, car le zinc est un matériau durable et de grande résistance à la corrosion. (Figure 5.23).
- Collecter les eaux qui viennent des climatiseurs vers les tuyaux de descentes des eaux pluviales (Figure 5.24), ou bien on propose une climatisation centrale afin d'enlever les climatiseurs.

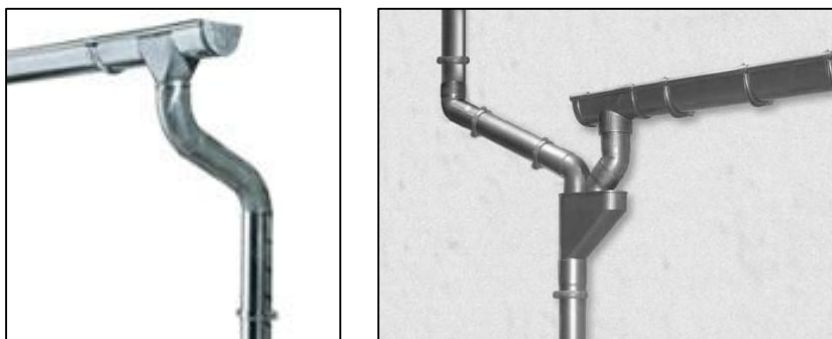


Figure 5.23 : tuyaux en zinc de descentes des eaux pluviales

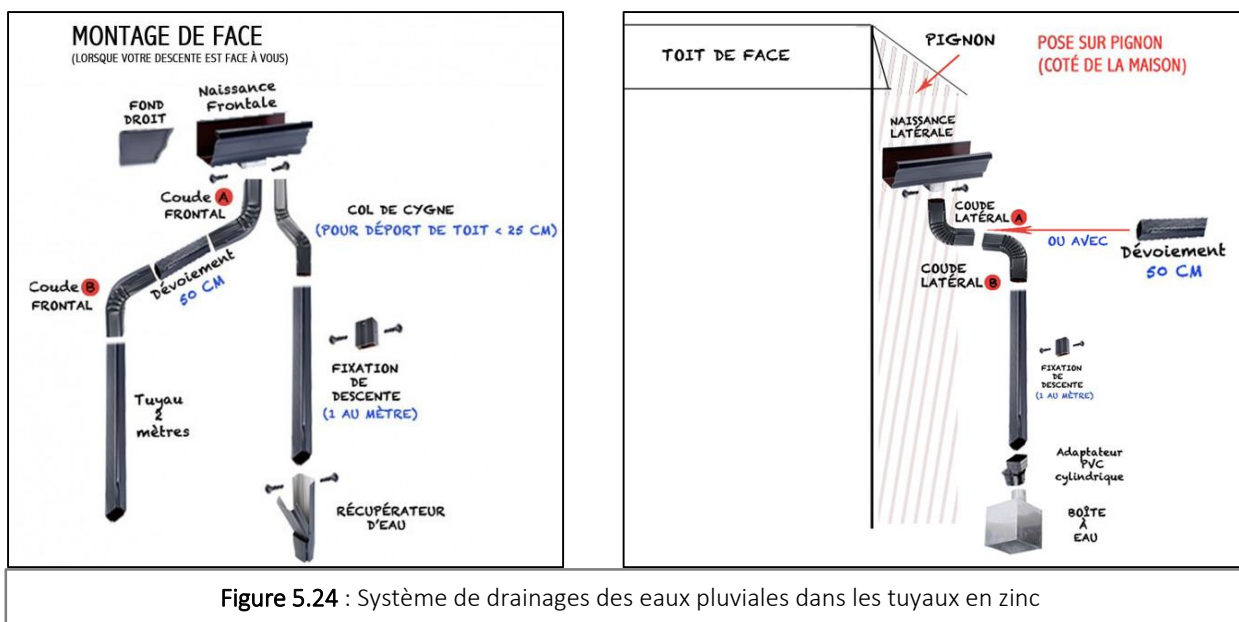


Figure 5.24 : Système de drainages des eaux pluviales dans les tuyaux en zinc

Une fois ces problèmes résolus, on passe à une opération qui permet de réparer le ravalement des façades :

- Dans les façades de l'APC d'El-Harrach, on trouve un problème de cloquage, décollement par plaques ou crevasse. Donc, il est nécessaire de procéder au décapage, dépoussiérage par brossage (en nylon ou chiendent), à l'humidification du parement au moins une demi-heure avant l'application du nouvel enduit de même nature que le mortier de jointure utilisé. (Figure 5.25) (ACHAB SAMIA EP CHERNAI. Juin 2012)

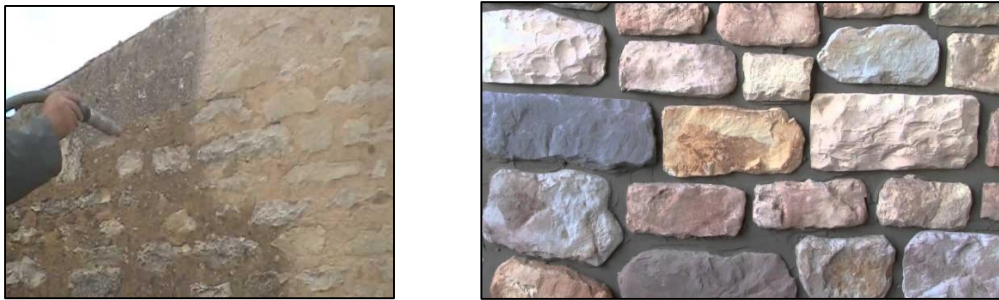


Figure 5.25 : Procéder de décapage et dépoussiérage avant l'application du nouvel enduit

4.9. L'entretien

- Toutes les pathologies qu'existent au niveau de l'édifice notamment dans ses façades sont dues à l'absence d'entretien. Donc, il faut prévoir un bon entretien d'après l'importance de l'édifice. Pour cela, on propose un entretien qui n'est pas correctif, mais préventif qui permet de conserver l'édifice avant tout endommagement (comme s'est expliqué dans Rehabimed).
- Cet entretien selon Rehabimed est la dernière opération programmée dans un processus de réhabilitation. Tout cela, nous permet de dire que cet entretien est la dernière étape qu'on recommande et on propose comme solution.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, et après avoir soulevé les différentes techniques de renforcement et de consolidation ainsi que les différents problèmes (changements, dommages) dans le chapitre précédent, nous avons réussi à évaluer l'édifice renforcé et consolidé, et de faire des recommandations et de proposer des solutions concernant les différents problèmes, afin d'avoir un édifice plus renforcé et plus consolidé avec des matériaux perdurant selon les normes recommandées dans une zone sismique.

A l'aide de la méthode d'évaluation sismique AFPS, nous avons pu soulever le manque que présente la réhabilitation de l'an 2005 et de proposer d'autres solutions. Ce manque se focalise en deux niveaux :

1. Utilisation de différents matériaux sur des murs porteurs en maçonnerie afin d'avoir un chaînage horizontal et vertical, ceci augmente la vulnérabilité de l'édifice selon l'AFPS.
2. Consolidation au niveau de l'infrastructure concernant les fondations qui flottent sur le mauvais sol et sur la nappe phréatique. Afin de faire face à ce problème et de réduire le degré de vulnérabilité, nous avons proposé des fondations plus profondes jusqu'au bon sol, celles des pieux en béton armé.

NB : D'après ces deux points, on peut dire que le bureau d'étude (BET) qui est intervenu a bien chaîné l'édifice, renforcé l'infrastructure et la superstructure conformément aux normes exigées par le **RPA**, mais à base d'une étude qui n'est pas la conséquence d'un bon diagnostic car la présomption de degré de vulnérabilité est élevé.

Les recommandations de renforcement et de consolidation qu'on a proposées, nous ont permis de réduire le degré de vulnérabilité et de passer d'une présomption de **forte vulnérabilité K = 55** à une présomption de **moyenne vulnérabilité K = 35**.

Dans ce chapitre nous avons proposé des solutions concernant plusieurs points :

- Des solutions pour redonner à chaque espace son fonctionnement prévu lors de la conception (une entrée pour avoir un accès, un hall pour la liaison et la circulation).
- Des solutions d'aménagement et de renforcement qui permettent de diminuer le risque et de garantir la durabilité de l'édifice (aménagements des regards d'évacuation des eaux de pluies, renforcement de l'escalier par des éléments porteurs, faux plafond pour le sous-sol, charpente en ardoise artificielle,...)
- Reprendre les richesses décorative de l'édifice au niveau des façades (pilastres décoratif, corniches,...etc.)
- Un entretien préventif avant tout endommagement.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale et perspectives

Dans cette recherche présentée, nous avons pu élaborer différents points qui concernent les objectifs visés et l'intérêt de notre cadre de recherche tout en affirmant les hypothèses supposées avec certaines recommandations et solutions préconisées.

Tout en mettant en avant le bâti ancien à valeurs patrimonial qui est devenu un débat mondial de nos jours et son cadre vétusté et dégradé d'une part, et d'autre part les différentes techniques utilisées pour une intervention de réhabilitation afin de faire face à ce fameux patrimoine bâti qui court le risque d'être perdu. Nous avons suivi toute une démarche et une méthodologie qui nous ont permis de démarrer avec un état d'art (la partie théorique) et une étude pratique sur un édifice à valeur patrimoniale (siège d'APC d'El-Harrach) afin que nous arrivions à la confirmation des hypothèses supposées (avec recommandations) et une proposition de solutions concernant les différents problèmes soulevés.

De ce fait, et après avoir écrit le chapitre introductif où nous avons formulé et défini notre sujet de recherche. Nous avons commencé par la première partie concernant la recherche théorique. Dans cette partie nous avons défini les différents concepts utilisés dans une intervention sur le bâti ancien afin d'éviter toute confusion entre eux et de dire que dans notre recherche il s'agit d'une réhabilitation. Ensuite, nous avons choisi et détaillé les méthodes concernant la réhabilitation et l'évaluation sismique afin de fonder notre étude sur un fond de connaissance et un bon diagnostic. Enfin, nous avons bien axé sur les différentes techniques utilisées dans une intervention de réhabilitation car notre objectif principal est d'analyser et évaluer notre édifice d'étude et les techniques utilisées dans sa réhabilitation en termes de durabilité et de sismicité.

Dans la deuxième partie concernant l'étude pratique, nous nous sommes basés sur les principes de Rehabimed ainsi que l'évaluation sismique de la méthode AFPS. Il est bien de mentionner que dans cette partie à l'aide des techniques de collecte de données ainsi que l'aide des méthodes de bases (Rehabimed et AFPS), nous avons pu commencer par un nombre d'informations assez minime jusqu'à ce que nous arrivions à une proposition de solutions concernant les problèmes soulevés. De ce fait cette partie se divise en deux chapitres :

- Dans le quatrième chapitre qui est le premier de cette partie, nous avons commencé par une présentation du cadre général de l'édifice d'étude et des risques qui l'entourent dans son environnement immédiat. Après, nous sommes passés à une étape où on a décortiqué tout l'édifice pour voir le système structurel et constructif. Un relevé détaillé des différents plans et différentes façades de l'édifice. Nous avons pu par la suite soulever les différents changements apportés ainsi que les dommages et les pathologies observés.
- Dans le cinquième chapitre (le deuxième de cette partie), et après avoir découvert tout le système structurel et constructif, ainsi qu'énumérer les différentes techniques de renforcement et de consolidation utilisées, nous avons pu à l'aide de la méthode AFPS évaluer l'édifice face aux risques sismiques dont le résultat obtenu, l'édifice est soumis à une forte vulnérabilité sismique. Après avoir réservé des recommandations concernant les éléments qui ont participé

à cette vulnérabilité élevée, nous avons pu la **réduire à une vulnérabilité moyenne**. Ainsi dans ce même chapitre nous avons proposé des solutions qui vont permettre la durabilité de l'édifice, cela vu les techniques et les matériaux perdurant proposés à chacun des problèmes.

D'après tout cela, nous pouvons argumenter sur les hypothèses supposées comme suit :

- **Hypothèse 1 confirmée** : cela, vu la dégradation des différentes parties réhabilitées, voir l'état des matériaux dégradés (charpente avec feutre en bitume, les fenêtres avec le mauvais bois,...). Mais aussi, les techniques utilisées qui ne sont pas durable et les fondations qui flottent sur la nappe phréatique.
- **Hypothèse 2 confirmée avec réserves** : l'édifice d'étude a très bien été chaîné au niveau de l'infrastructure et de la superstructure ainsi avec une bonne connexion entre les deux chainages (conformément aux normes du **RPA**). Mais vu l'état de renforcement au niveau des fondations, cela risque un tassement de l'enveloppe de ce bâtiment en cas de séisme. Donc, cela nous renvoie à dire que l'intervention établie ne garantit ni l'aspect formel et ni l'aspect structurel. Donc, effectivement les techniques de consolidation utilisées ne répondent pas aux normes de réhabilitation en zone sismique.
- **Hypothèse 3 confirmée** : vu la confirmation des deux premières hypothèses, l'édifice nécessite donc une autre intervention avec des techniques plus approfondies. Et cela, été l'objectif de notre cinquième chapitre où on a fait des recommandations et où on a proposé des solutions pour régler la majorité des problèmes soulevés.

NB : Enfin, toutes ces solutions proposées vont nous permettre d'avoir un édifice patrimonial dont il préservera sa richesse architecturale, sa durabilité et la résistance face aux risques sismiques.

Perspectives de la recherche :

Après avoir fait ce modeste travail de recherche, il est de notre devoir, de donner une orientation qui nous a parue qu'elle peut être une ouverture à une piste de recherche :

La méthode AFPS de l'évaluation sismique qu'on a utilisée dans notre édifice d'étude ne donne pas des résultats plus précis, comme celle-ci n'aborde pas les détails d'une intervention (matériaux utilisés, la jonction entre les matériaux,...) notamment en ce qui concerne les édifices anciens en maçonnerie. De cela, je trouve qu'il est très intéressant de trouver un moyen ou un outil qui va nous permettre tant que architecte de faire une évaluation numérique plus précise concernant les différentes techniques et les matériaux utilisés dans un renforcement de réhabilitation des édifices anciens en maçonnerie afin d'arriver à décider d'établir une autre opération d'intervention ou pas.

Bibliographie/Webographie

Bibliographie

1. OUVRAGES :

- **ACHAB S**, Elaboration d'un guide technique pour la réhabilitation du patrimoine (habitat) à l'époque Othomane. TIZI-OUZOU,2012.
- **ANAH**, Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat (Paris), Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point, Edition du Moniteur, Paris, 1989, 167p.
- **AZZAG Ewa & AROUA Najet**, Contribution à l'étude de la vulnérabilité urbaine au risque d'inondation dans un contexte de changement climatique, Cas de la Vallée de Oued El Harrach à Alger, 2009, 20p.
- **BERNHARD Furrer**, Document de base Sécurité sismique des monuments historiques, COMMISSION FÉDÉRALE DES MONUMENTS HISTORIQUES, Berne, 6 septembre 2001.
- **BOUKHENOUF A**, caractérisation des mortiers archéologiques, le cas des sites historiques de Djemila et de la citadelle d'Alger. Boumerdes,2006.
- **CASANOVA Xavier (dir)**, Méthode RehabiMed. Architecture traditionnelle méditerranéenne. Tome 2 : Réhabilitation Bâtiments, RehabiMed, Barcelone, Espagne, 2007, 399 p.
- **CETE & brgm**, Comparaison de méthodes qualitatives d'évaluation de la vulnérabilité des constructions aux séismes, Plan séisme - action 2.4.7. Guide des méthodes de diagnostics de la résistance des bâtiments aux séismes, 2008, 164p.
- **EPAU / EPM**, Méthode de réhabilitation d'un centre historique, Diagnostique du quartier BenM'hidi-Alger.Les Alternatives urbaies, 2013, 228p.
- **LAURENT Antoine**. Aspects théoriques de la restauration du patrimoine, M2ID, Rapport de recherche bibliographique, Mars 2005.
- **SOUKANE S & DAHLI M**, La Réhabilitation du patrimoine colonial 19ème 20ème dans le contexte du développement durable, Université de Tizi-Ouzou, Département d'architecture, Algérie.

2. MEMOIRES :

- **ACHAB SAMIA EP CHERNAI.** Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (Habitat) de la période ottomane, Mémoire de Magister, faculté du génie de la construction, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Juin 2012, 158p.
- **AIT HAMOUDA Ibrahim.** LA CONSERVATION DU PATRIMOINE BATI EN ALGERIE, CAS DE LA REHABILITATION D'IMMEUBLES, URBAINS DU BATI ANCIEN A ORAN, Mémoire magister, Faculté d'Architecture et de Génie-civil Département d'Architecture, Année universitaire 2012-2013, 190p.
- **YOUCEF TANI Khadidja.** Les monuments historiques de Tlemcen Essai d'analyse : cas de la mosquée SIDI BELAHCEN, Mémoire de Magister, faculté de technologie département d'architecture, Année universitaire 2012-2013, 200p.

3. Charte et documents officiels

- Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme PDAU, 2015.
- Charte internationale sur la conservation et la restauration des monuments et des sites (Charte de Venise), Venise 25-31 mai 1964.
- Loi n°94-35 du 24 Février 1994 relative au Code de la Protection du Patrimoine Archéologique, Historique et des Arts Traditionnels, JORT n°17 du 1er mars 1994.
- Règlement Parasismique Algérien « RPA », Centre nationale de recherche appliquée en génie-parasismique, 2003, 101P.
- Service communication du siège d'APC d'El-Harrach, documentation et support photographique d'El-Harrach, 2015.

4. Séminaires et cours

- **ATTARI N,** risque, réhabilitation et réduction de la vulnérabilité du bâti, Juin 2015, 96P.
- **KANOUN,** histoire de l'architecture, 1^{er} année CPI EPAU, 2011.
- **MASSOUDANE M,** Cours méthodologie de la recherche, 2^{ème} année seconde cycle EPAU, Alger, 2014.
- **MEZOUARI,** technique d'expression écrite et orale TEEO, 3^{ème} année seconde cycle EPAU, 2015.

5. Dictionnaires

- **ALAIN Rey**, Le CD-ROM du GRAND ROBERT, dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française, deuxième édition.
- **MERLIN Pierre & CHOAY Françoise** (dir), Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, coll. « Quadrige », 2e éd, Puf, Paris, 2009, 761p.
- Petit Larousse illustré, Dictionnaire encyclopédique pour tous, Librairie Larousse, Paris, France, 1983.

Webographie

- Agence Qualité Construction, Renforcer le bâti existant en zone sismique, 2011, (www.qualiteconstruction.com)
- Histoire d'El-Harrach, (Internet. [http://.Histoire _ APC-EL-HARRACH.htm](http://.Histoire_APC-EL-HARRACH.htm))
- METech Patrimonium, Bruxelles, (www.mtech-pat.com)
- Photos anciennes d'Alger, maison carrée El-Harrach (www.abcdelacpa.com)
- Risque sismique (www.irsn.org)
- Situation de la commune d'El-Harrach (www.Google.earthe.com)

Table des figures

Table de figures

Chapitre introductif

Figure 1 : Maison carrée (mairie / place de la mairie), Photos prises vers 1917.	12
---	----

Chapitre 2

Figure 2.1 : grille d'évaluation de la vulnérabilité sismique, méthode FEMA.	24
Figure 2.2 : les dommages causés par les différentes échelles de vulnérabilité.	25
Figure 2.3 : Organigramme du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.....	28
Figure 2.4 : Organigramme de l'étape 1 (Preliminaires) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.	30
Figure 2.5 : Organigramme de l'étape 2 (Études pluridisciplinaires) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.	31
Figure 2.6 : Organigramme de l'étape 3 (Diagnostic) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.	33
Figure 2.7 : Organigramme de l'étape 4 (Réflexion et cadre de décisions) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.	34
Figure 2.8 : Organigramme de l'étape 5 (Projet) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.	36
Figure 2.9 : Organigramme de l'étape 6 (Réhabilitation) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.	37
Figure 2.10 : Organigramme de l'étape 7 (Entretien) du processus de réhabilitation d'un patrimoine bâti ancien.	39

Chapitre 3

Figure 3.1 : règles de construction à respectées dans les différentes zones sismiques.	43
Figure 3.2 : catégorie des bâtiments.	43
Figure 3.3 : Fondation en pierre ordinaire d'un bâtiment sur cave.....	45
Figure 3.4 : Fondation en pierre ordinaire d'un bâtiment sans cave.....	45
Figure 3.5 : Fondation exceptionnelle en pierre sur un bon sol.	45
Figure 3.6 : Fondation exceptionnelle en gradin sur un bon sol en Pente.	45
Figure 3.7 : fondation en voûte renversée.....	45
Figure 3.8 : Fondation sur pieux en bois.	46
Figure 3.9 : CIS MTECH comme coulis de consolidation.	46
Figure 3.10 : Consolidation de la fondation en sous-œuvre par maçonnerie.	47
Figure 3.11 : Reprises-en sous œuvre d'une semelle en béton armé.	47
Figure 3.12 : renforcement d'une fondation avec surépaisseur de la semelle.	48

Figure 3.13 : renforcement d'une fondation sans augmentation de la surface de la semelle.	48
Figure 3.14 : consolidation de la fondation par poutres transversales.	49
Figure 3.15 : Consolidation des fondations par micro-pieux.	49
Figure 3.16 : PCCH et chaînage de la maçonnerie portante.	49
Figure 3.17 : Consolidation des fondations par pieux en béton armée.	50
Figure 3.18 : fondations solidarisiées par ajout de longrines.	50
Figure 3.19 : différents types fibres de renforcements.	51
Figure 3.20 : renforcement des poteaux par fibre de carbone au niveau des nœuds.	51
Figure 3.21 : renforcement des poteaux par des lamelles métalliques	52
Figure 3.22 : renforcement des poteaux par chemisage en BA	52
Figure 3.23 : renforcement des poutres par collage de plaques.	53
Figure 3.24 : renforcement des poutres par chemisage	53
Figure 3.25 : les phénomènes de ruptures dans les murs en maçonnerie de pierre	54
Figure 3.26 : Cimentation d'un mur en pierre par coulée	55
Figure 3.27 : Consolidation d'un mur en pierre par parois armées.	56
Figure 3.28 : Disposition d'un treillis métallique sur une face d'un mur avant gunitage.	56
Figure 3.29 : Consolidation par murs de contreventement.	56
Figure 3.30 : Consolidation par murs de contreventement.	56
Figure 3.31 : Principes généraux de chaînage proposés par MTECH Patrimonium	57
Figure 3.32 : détails de l'ancrage APL	58
Figure 3.33 : détails de l'ancrage ARL	58
Figure 2.34 : Phases de placement des ancrages de chaînage horizontaux et verticaux	58
Figure 3.34 : exemple de chaînage d'un édifice	59
Figure 3.35 : Fixation d'une armature sur la zone fissurée d'un mur en pierre	61
Figure 3.36 : Détails de l'ancrage AAT	62
Figure 3.37 : Réparation de fissures avec ancrages	62
Figure 3.38 : composition d'un plancher en bois	63
Figure 3.39 : composition d'un plancher en bois	63
Figure 3.40 : Renforcement d'une solive sur toute sa longueur	63
Figure 3.41 : Système CARPO de raidissement de planchers en bois	64
Figure 3.42 : Ancrage de liaison entre mur de maçonnerie et table de compression du plancher en l'absence de poutre de rive	64
Figure 3.43 : Exemple de liaisons entre poutres en bois et murs extérieurs en l'absence de poutre de rive	65
Figure 3.44 : Composition type d'un plancher métallique	66
Figure 3.45 : Plancher métallique avec hourdis en auget	66
Figure 3.46 : Plancher métallique avec hourdis plein	66

Figure 3.47 : Plancher métallique avec voûains en brique pleine	66
Figure 3.48 : Plancher métallique avec hourdis en terre cuite	66
Figure 3.49 : Renforcement d'un plancher métallique par recouplement d'une travure par une poutre métallique	67
Figure 3.50 : réparation des liaisons à travers des profilés métalliques.....	67
Figure 3.51 : Couverture en tuiles plates dégradée (Tuiles manquantes, prolifération mousses, algues et lichens).....	68
Figures 3.52 : Liaison au sommet entre fermes de toiture et maçonnerie	68
Figure 3.53 : Liaison du support des fermes de toiture avec maçonnerie en l'absence de poutre de rive	69
Figure 3.54 : renforcement du système d'arcature	69
Figure 3.55 : système de réglage périodique du tirant	69
Figure 3.56 : système de réglage périodique du tirant, en haut dans le mur	69
Figure 3.57 : renforcement des arcs par des tirants (avec chaînage périphérique)	70

Chapitre 4

Figure 4.1 : Maison carrée (mairie / place de la mairie), Photos prises vers 1917	73
Figure 4.2 : situation de la mairie d'El-Harrach.....	73
Figure 4.3 : délimitation du siège de la mairie d'El-Harrach.....	74
Figure 4.4 : classification des zones sismique en Algérie	75
Figure 4.5 : Carte de la sismicité enregistrée en Algérie depuis 1973	75
Figure 4.6 : Oued El-Harrach et le centre d'El-Harrach	76
Figure 4.7 : inondations dans les zones planes dans le centre d'El-Harrach	76
Figure 4.8 : murs en maçonnerie de pierre au niveau de l'étage	78
Figure 4.9 : murs en maçonnerie de pierre au niveau de l'acrotère de la terrasse.....	78
Figure 4.10 : structure principale de la bâtisse, murs porteurs en pierre	78
Figure 4.11 : points porteurs décoratifs et esthétique de l'édifice d'étude	79
Figure 4.12 : points porteurs décoratifs et esthétique de l'édifice d'étude	79
Figure 4.13 : plancher métallique à voûtain maçonné et une poutre composée repose directement sur le mur en pierre	80
Figure 4.14 : image sur la brique creuse utilisée au niveau des planchers	80
Figure 4.15 : l'ensemble des planchers utilisés sont de type métallique à voûtain maçonné en brique creuse	80
Figure 4.16 : vue sur l'escalier hélicoïdale en bois avec l'importance de la hauteur sous plafond	81
Figure 4.17 : vue sur l'escalier balancé en bois.....	81

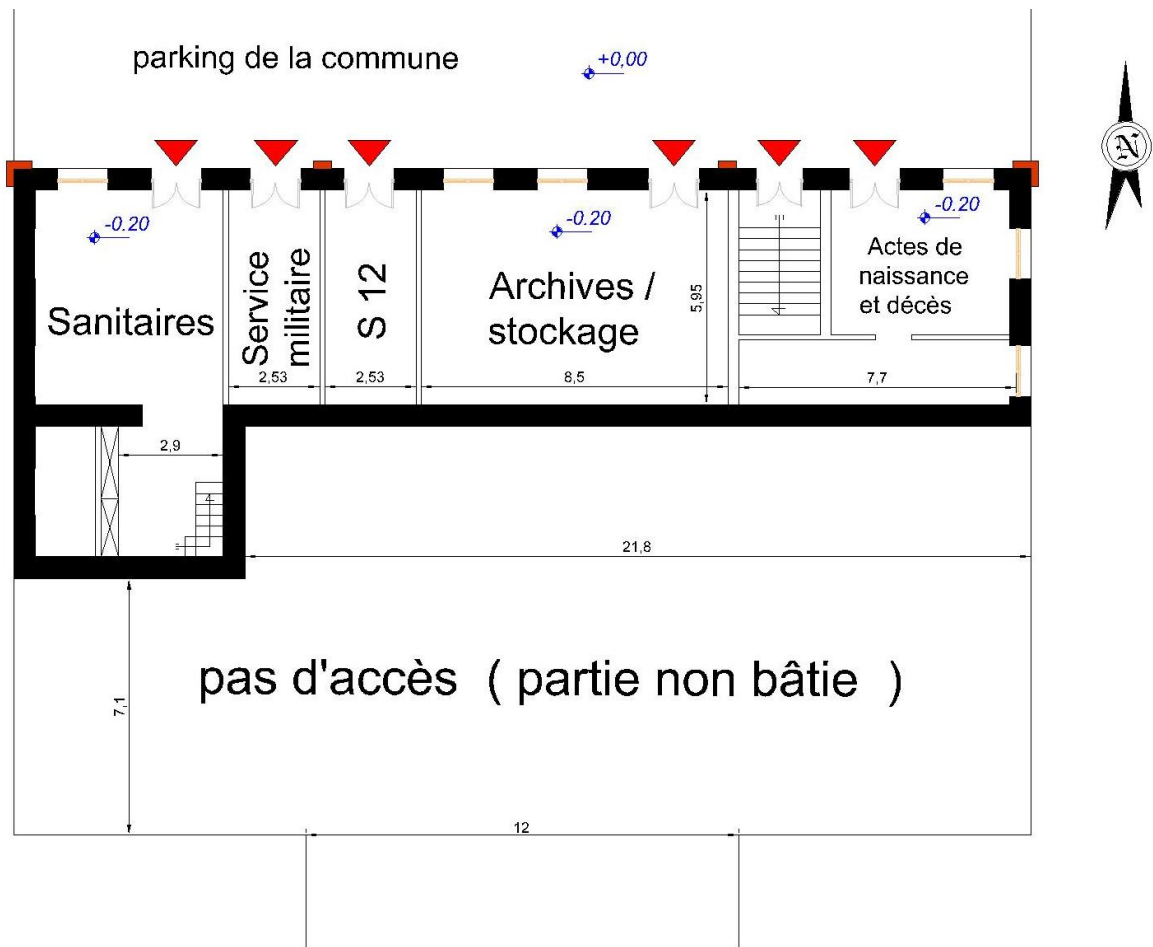
Figure 4.18 : Vue sur le sommet de la coupole	81
Figure 4.19 : La coupole en plâtre comme couverture pour la salle des réunions	81
Figure 4.20 : Couverture en ardoise artificielle	82
Figure 4.21 : Ossature, Rondins en bois	82
Figure 4.22 : Schémas récapitulatifs de l'ensemble de systèmes structurel et constructif de l'édifice	82
Figure 4.23 : Le décamètre comme un outil d'aide pour restituer les plans de l'édifice	83
Figure 4.24 : Autocad comme un logiciel d'aide pour restituer le dossier graphique	83
Figure 4.25 : Violet le Duc architecte restaurateur et Théoricien de l'architecture	84
Figure 4.26 : Porte d'accès gauche de l'édifice ne fonctionne plus (condamnée)	85
Figure 4.27 : richesse historique et décorative au niveau de l'escalier	85
Figure 4.28 : portes d'intérieurs fermée et condamnées	86
Figure 4.29 : Avant transformation de la porte en fenêtre	86
Figure 4.30 : Après transformation de la porte en fenêtre	86
Figure 4.31 : mobilier séparatif	87
Figure 4.32 : changement des pilastres décoratifs par des poteaux simples	87
Figure 4.33 : redimensionnement des appuis	87
Figure 4.34 : illustrations qui nous a permis de connaître les changements et leurs emplacements	88
Figure 4.35 : la richesse des éléments décoratifs de l'édifice touchée	88
Figure 4.36 : Rajout de bandes sortantes toute autour de la bâtisse (après l'intervention)	88
Figure 4.37 : photo en 3D pour illustrer le Rajout de bandes horizontales sortantes (après l'intervention)	89
Figure 4.38 : Existence de bande en retrait toute autour de la bâtisse (avant l'intervention)	89
Figure 4.39 : photo en 3D pour illustrer l'existence de bandes horizontales rentrantes (avant l'intervention)	89
Figure 4.40 : Consolidation de la toiture terrasse	89
Figure 4.41 : Nouveau socle après consolidation.....	89
Figure 4.42 : Couleurs anciennes	90
Figure 4.43 : Couleurs récentes	90
Figure 4.44 : SKetchUp comme un logiciel d'aide pour l'analyse de l'édifice réhabilité	90
Figure 4.45 : phénomène de tassement différentiel de la bâtisse (façade arrière).....	95
Figure 4.46 : phénomène de tassement différentiel de la bâtisse (façade principale).....	95
Figure 4.47 : Illustrations sur le phénomène de liquéfaction et le mauvais sol	96
Figure 4.48 : Illustrations sur l'état des fondations de renforcement de l'édifice	96
Figure 4.49 : une différence de niveau de 30cm entre la plateforme du parking et celui de sous-sol.....	97
Figure 4.50 : le nombre peut de regards, ainsi leurs dimensionnements réduits.....	97
Figure 4.51 : l'absence de l'entretien de ces regards d'évacuation des eaux.....	98

Figure 4.52 : Cassements des carrelages mis en place au niveau de la toiture terrasse	98
Figure 4.53 : Dommages au niveau du plancher. Ainsi existence de graves fissures	98
Figure 4.54 : Problème de filtration des eaux à travers le plancher au niveau de sous-sol.....	98
Figure 4.55 : Cassement fissures graves au-dessous des marches de l'escalier	99
Figure 4.56 : Fissures graves au niveau de l'encastrement des marches dans les murs porteurs	99
Figure 4.57 : Inclinaison de la marche due au mal encastrement dans les murs porteurs	99
Figure 4.58 : Fissures au niveau des façades au niveau de chapiteau	100
Figure 4.59 : cassements dus à l'écoulement des eaux des climatiseurs	100
Figure 4.60 : autres dégradations dans les façades	100
Figure 4.61 : état dégradé de feutre en bitume	100
Figure 4.62 : état dégradé des fenêtres	101
Figure 4.63 : renforcement des fondations par le béton armé.....	101
Figure 4.64 : rendu en 3D sur les fondations et le chaînage entre eux	102
Figure 4.65 : emplacement des chaînages verticaux	103
Figure 4.66 : technique de chemisage verticale en béton armé	104
Figure 4.67 : technique de chemisage horizontale avec la charpente métallique IPN 200.....	104
Figure 4.68 : IPN 200 utilisés dans le chaînage horizontale	105
Figure 4.69 : chemisage horizontale avec un seul IPN 200 dans la partie qui sort en décrochement	105
Figure 4.70 : chemisage horizontale en béton armé tout autour de l'acrotère	105
Figure 4.71 : Détail sur la connexion entre les deux chaînages IPN 200 et béton armé	106
Figure 4.72 : renforcement du plancher par une série de poteaux en béton armé.....	108
Figure 4.73 : emplacement des poutres de renforcement.....	109
Figure 4.74 : poutres de renforcement en béton armé	109
Figure 4.75 : Fissure filante.....	110
Figure 4.76 : Ferrailage en treillis soudés	110
Figure 4.77 : Carrelage de petits carreaux.....	110
Figure 4.78 : Charpente en bitume (comme un feutre).....	110
Figure 4.79 : La connexion de l'escalier au plancher	111
Figure 4.80 : murs de stabilités de l'escalier	111

Chapitre 5 :

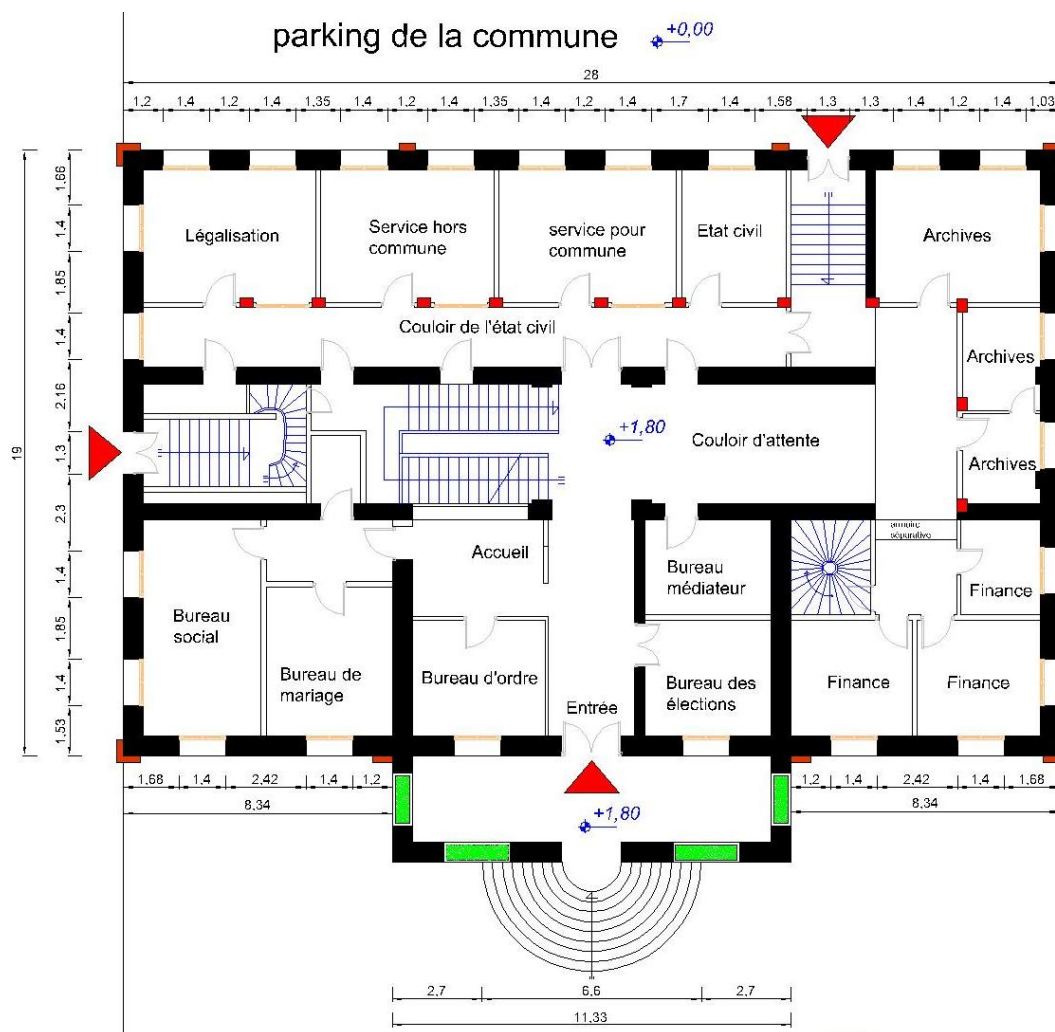
Figure 5.1 : effet de torsion (centre de gravité et centre de torsion)	115
Figure 5.2 : MURS PORTEURS SYMETRIQUES.....	117
Figure 5.3 : rajout de murs porteurs	118
Figure 5.4 : 3D sur les murs porteurs en maçonnerie proposés (symétrie)	118
Figure 5.5 : POSE EN QUINCONCE.....	119
Figure 5.6 : REMPLISSAGE INTER-PIERRES	119
Figure 5.7 : Le cheminement du joint montant ou descendant doit arriver sur une pierre	119
Figure 5.8 : Pierres de clavetages.....	119
Figure 5.9 : Fers plats en T	120
Figures 5.10 : Consolidation des fondations par pieux en béton armée	121
Figure 5.11 : ouverture de cette porte condamnée	122
Figure 5.12 : assurer la fonction attribuée de cette entrée	122
Figure 5.13 : schéma d'évacuation des eaux pluviales	123
Figure 5.14 : faux plafond étanche	123
Figure 5.15 : exemples de faux plafonds utilisés dans les sous-sols	123
Figure 5.16 : les composantes d'un plancher de la toiture terrasse	124
Figure 5.17 : techniques de renforcement de l'escalier	125
Figure 5.18 : renforcement de l'escalier	125
Figure 5.19 : charpente en ardoise artificielle et fenêtres en bois	126
Figure 5.20 : différentes techniques de la mise en œuvre de l'ardoise artificielle	126
Figure 5.21 : reprendre la richesse des pilastres décoratifs	127
Figure 5.22 : reprendre la richesse de toutes les corniches décoratives	127
Figure 5.23 : tuyaux en zinc de descentes des eaux pluviales	128
Figure 5.24 : Système de drainages des eaux pluviales dans les tuyaux en zinc	128
Figure 5.25 : Procéder de décapage et dépoussiérage avant l'application du nouvel	129
Tableau 2.1 : tableau d'évaluation de la vulnérabilité sismique, méthode AFPS	26

Annexes

Annexe A : dossier graphique du siège de la mairie d'El-Harrach

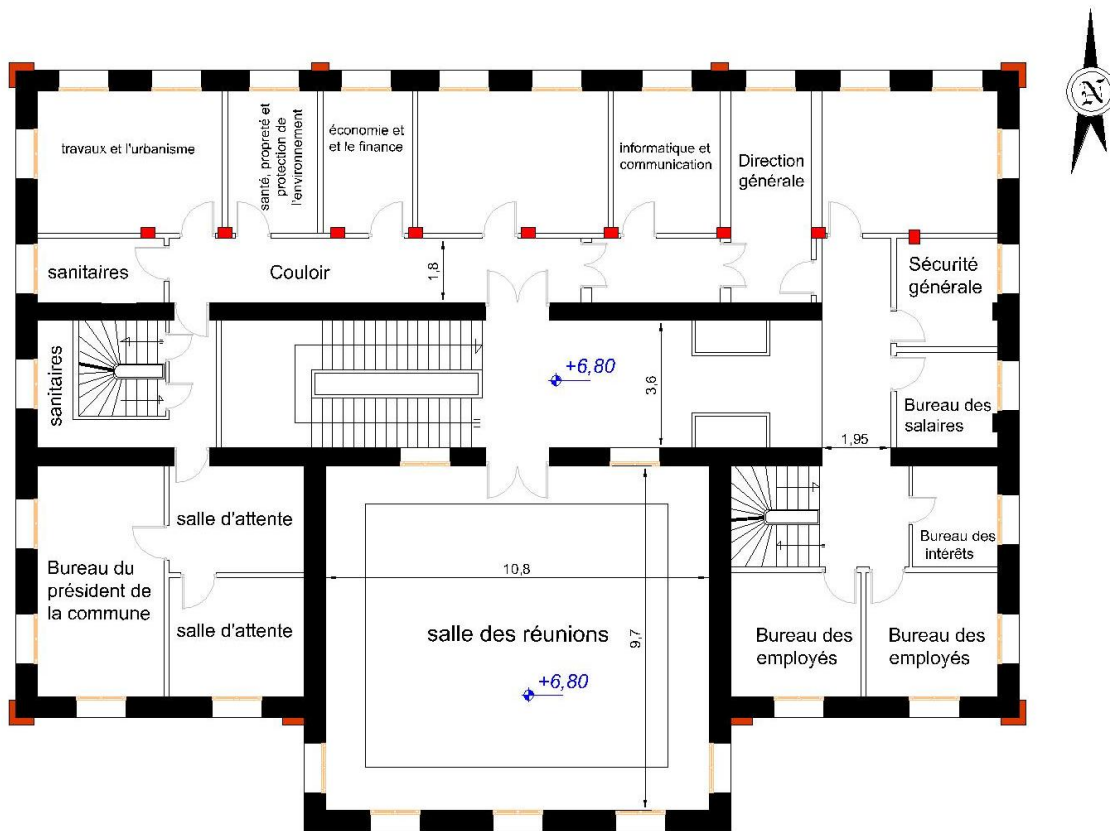
Plan de sous-sol

Echelle : 1/200

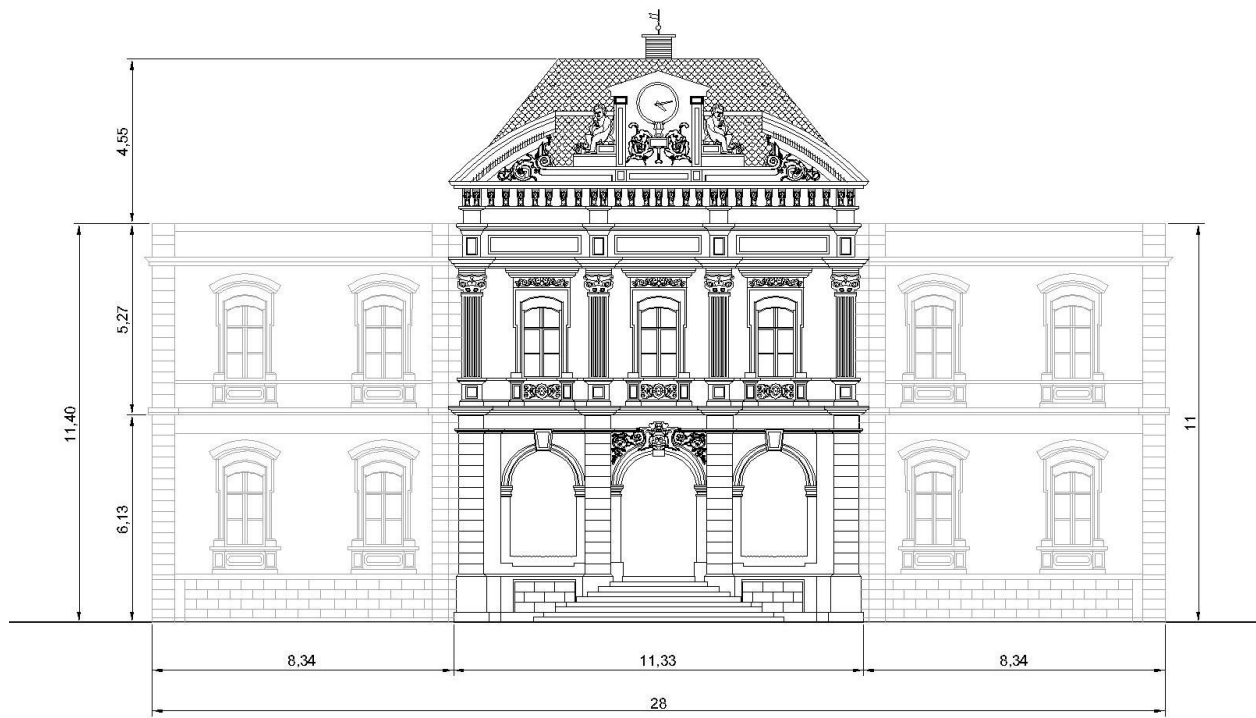


Plan RDC

Echelle : 1/200

Plan du 1^{er} étage

Echelle : 1/200



Façade SUD (principale)

Echelle : 1/200



Façade EST

Echelle : 1/200



Façade OUEST

Echelle : 1/200



Façade NORD (arrière)

Echelle : 1/200

Annexe B : la volumétrie 3D de la mairie d'El-Harrach à l'état initial (avant l'intervention)



Annexe C : la volumétrie 3D de la mairie d'El-Harrach à l'état actuel (après l'intervention)



Annexe D : Schémas récapitulatifs de chaînages de la superstructure (verticaux et horizontaux)