

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ÉCOLE POLYTECHNIQUE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

epau



Laboratoire Architecture et Environnement

Mémoire de Master

Option : Architecture et Environnement

Thème

L'art du renforcement du bâtiment ancien en maçonnerie, ce que prévoient la réglementation et les organismes de contrôle

Présenté et soutenu par :

ISSAADI Youcef

Devant le jury composé de :

Président : Mr ATTARI N

Examineur : Mme AZOUI O

Examineur : Mr NAADIA N

Encadreur : SIYOUCEF Youcef

Remerciements

Je remercie DIEUX le tout puissant qui m'a donné le courage et la volonté de mener à bien ce travail.

Ma gratitude va à mes chers parents qui m'ont tant apporté et sans qui je n'aurais pas pu aller au bout de ce travail.

J'adresse aussi mes remerciements les plus sincères à mes encadreurs :

Mr Youcef SIYOUCEF et Mr BENOUNICHE Nazim qui m'ont accompagnés pour ce travail, leurs soutiens et leurs disponibilités, leurs orientations et conseils, m'ont permis de mener à bien mon travail de recherche.

Je remercie aussi ma famille, mes frères Farid, Djamel, et Azzedine et mes sœurs pour leurs soutiens et leurs conseils durant tout mon cursus des études.

Un grand merci à mes chers amis pour leurs aides, et remarques et conseils tout au long de l'élaboration de ce travail.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à mener à bien ce travail.

Y. ISSAADI

Résumé

Les ouvrages en maçonnerie constituent une partie très importante dans l'héritage des constructions traditionnelles en Algérie, représentant un patrimoine à préserver. Vu la dégradation due à la vétusté de ces constructions, et l'impact des différentes sollicitations humaines, climatiques et naturelles, ces ouvrages ont besoin urgent en travaux d'amélioration de vue de leurs comportements vis-à-vis de de ces aléas, de même pour permettre leurs pérennités, il est nécessaire de s'assurer de l'existence d'un niveau minimum requis dans la stabilité structurelle, notamment vis-à-vis des actions accidentelles particulièrement le séisme. Sachant que l'avènement du règlement parasismique Algérien depuis trois décennies a imposé des chaînages dans les constructions en maçonneries alors qu'avant cela, mis à part le bon sens du constructeur rien n'imposait cette disposition structurelle. Des villes entières se sont écroulées à l'instar de la casbah d'Alger il y a trois siècles par manque de cette disposition. Malgré l'existence du règlement parasismiques dont les règles sont respectées pour les nouvelles constructions, malheureusement énormément de construction antérieures à celui-ci sont toujours fonctionnelles et en service dont la majorité sont à usage d'habitations. Comment doit les gérer par rapport à la réglementation ? Doit-on les démolir ? Doit-on les renforcer ? Quelle est la solution sécuritaire en même temps économique à adopter vis-à-vis de ce parc de constructions ?

Un constat réel sur le terrain montre que ces édifices sont toujours debout malgré les aléas cités auparavant, ajoutons à cela l'importance du parc difficile à remplacer dans l'immédiat, par conséquent il est clair que la solution adéquate est la solution de renforcement, dans la mesure du possible et la démolition dans les cas limites. Mais pour cela a ton les moyens nécessaires pour la réalisation notamment l'aspect réglementaire technique. Dans cette optique, ce travail de recherche a été élaboré dans l'objectif de mettre en exergue la problématique de **renforcement de ces constructions et son fondement réglementaire**.

Ce travail de recherche a été entamé par une recherche bibliographique, notamment la récolte des différents documents réglementaires Algériens et étrangers utilisés en Algérie sur cette thématique, afin de les analyser et appréhender leurs recommandations, parallèlement on s'est rapproché des institutions de recherche affiliées au ministère de l'habitat à savoir le CGS et le CNERIB pour comprendre la

gestion officielle de cette problématique. Ceci nous a permis de constater et de comprendre le cruel vide dans la gestion en termes de réglementation technique de ce problème de renforcement de l'ancien bâti dans notre pays.

Dans cette situation d'insuffisance de références en Algérie, l'objectif était en premier lieu, de faire une analyse de la démarche de renforcement en se basant sur des cas étrangers, ensuite tenter d'établir un guide réglementaire composé de références étrangères qui peuvent être utilisées, et finir par la présentation d'un **modèle à suivre pour une démarche** de renforcement. En second lieu, inciter les responsables à prendre en charge cette problématique par la formation de spécialisés dans le domaine avec un savoir-faire de haut niveau, qui nous permettra de garantir un tant soit peu la pérennité de notre patrimoine architectural.

Mots clés : Bâtiment en maçonnerie, dégradation, renforcement, référence réglementaire, séisme, vieillissement.

Abstract

Masonry buildings are a very important part of traditional constructions' legacy in Algeria. They represent an heritage that should be preserved. Due to the degradation caused by the old age of these constructions and the impact of the different loads, these structures need work to improve their behavior and to restore the structural elements' stability in order to insure their longevity.

For this reason, this research was done with the purpose of highlighting the problem of the reinforcement of these constructions and its regulatory basis. To that end, our work consists in collecting different Algerian and foreign regulatory documents, analyzing and comparing them.

Due to the lack of references in Algeria, the aim was in the first place to analyse the reinforcement approach compared with a foreign example, and then to make a regulatory guide of foreign references that can be used, and finally to propose a model of the reinforcement approach. In the second place, we intended to incite officials to take care of this problem by training specialized executives in the field and by thinking of publishing regulatory guides for the operation.

The works in masonry establish a very important part in the inheritance of the traditional constructions in Algeria, representing a heritage to be protected. Seen the degradation due to the dilapidation of these constructions, and the impact of the various human, climatic and natural requests, these works have urgent need in works of improvement of view of their behavior towards these hazards. Also to allow their sustainabilities, it is necessary to make sure of the existence of a minimum level required in the structural stability, in particular towards the accidental actions (shakes) particularly the earthquake. Knowing that the succession of the Algerian earthquake-resistant regulation for three decades imposed chainings in the constructions in masonries while before it

A real report on the ground shows that these buildings always stand in spite of hazards quoted previously, let us add to it the importance of the park difficult to replace for the moment, consequently it is clear that the adequate solution is the solution of strengthening, as possible and the demolition in borderline cases. But for it has tone the necessary means for the realization in particular the technical statutory aspect. From this

perspective, this research work was developed in the objective to highlight the problem of strengthening of these constructions and its statutory foundation

This research work was begun by a bibliographical search, in particular the harvest of the various Algerian and foreign statutory documents used in Algeria on this theme, to analyze them and arrest their recommendations. At the same time, we got closer to institutions of search affiliated to the ministry of the housing environment to know the CGS and the CNERIB to understand the official management of this problem. This allowed us to notice and to understand the cruel space in the management in terms of technical regulations of this problem of strengthening of the former built in our country.

In this situation of reference insufficiency in Algeria, the objective was first of all, to make an analysis of the approach of strengthening by basing itself on foreign cases. Then to try to establish a statutory guide compound of foreign references, which can be used, and stop by the presentation of a model following for an approach of strengthening. Secondly, incite the persons in charge to take care of this problem by the training of specialized in the domain with a high-level know-how, which will allow us to guarantee the slightest bit the sustainability of our architectural heritage.

Keywords: building in masonry, degradation, strengthening, statutory reference, earthquake, ageing.

1.1 Liste des tableaux

Tableau 1: Tableau des charges de sécurité des maçonnerie (Pietro brenda,1994).....	20
Tableau 2- Les gabarits tolérés dans les zones sismiques	24
Tableau 3- La distance maximale entre les murs.....	25
Tableau 4 : Les règles pratiques d'appareillage	26
Tableau 5 : Dimensions principales de la structure	36
Tableau 6 : Les caractéristiques mécaniques de l'ouvrage.....	40
Tableau 7 : Les étapes de renforcement.....	43
Tableau 8 : Etude comparative entre les deux exemples (Auteur, 2015)	55

1.2 Liste des figures

Figure 2: Construction en pierre de taille	Figure 1 : Maçonnerie en pierre de taille	15
Figure 3: Liaison entre les éléments de mur (Pietro Brenda, 1994)		16
Figure 4 : Mur en pierraille (Pietro Brenda, 1994).....		16
Figure 5 : Exemple de mur en pierraille		16
Figure 6 : Maçonnerie à sec (Pietro Brenda,1994).....		17
Figure 7 : Mur en maçonnerie à sec, village ancien, AZZEFOUN (ALLILIS ; 2013).....		17
Figure 8 : Maçonnerie de remplissage (Pietro Brenda, 1994)		18
Figure 9 : Fondation en maçonnerie de remplissage		18
Figure 10 : La brique pleine crue		19
Figure 11: Schémas récapitulatif de la phase du pré-diagnostic (IDIR Lydia, 2010).....		22
Figure 12: Stratégie de renforcement		23
Figure 13: - disposition des chainages en plan.....		26
Figure 14 Profil courant de joints de parements et exemples d'appareillage courant		27
Figure 15 : Réalisation des chainages verticaux		27
Figure 16 : Chainage vertical	Figure 17 : Chainage horizontal.....	28
Figure 18 dispositions constructives des ouvertures		28
Figure 19 : Vue de la façade principale du bâtiment		36
Figure 20 : Plan de masse		37
Figure 21 : Plan du REZ de chaussée.....		37
Figure 22 : Plan du premier étage		38
Figure 23 : Plan du deuxième étage		38
Figure 24 : schéma de descente des charges des murs		41
Figure 25 : Algorithme pour déterminer le facteur de conformité du bâti.....		42
Figure 26 : Facteur de conformité obtenu		43
Figure 27: Modélisation de l'ouvrage et charges dues aux planchers		44
Figure 28 : Etat de contrainte tangentielle dans le mur avant et après renforcement		44
Figure 29 : Illustration d'un mur à renforcer		45
Figure 30- schéma illustre la démarche de renforcement (Auteur, 2015).....		46
Figure 31- Situation du musée du BARDO		47
Figure 32- le Bardo, le pavillon de la favorite (HAMEG 2010).....		48
Figure 33- le Bardo, le diwan (HAMEG 2010)		49
Figure 34- Plan du musée (HAMEG.A ; 2010).....		50
Figure 35- Façade du musée (HAMEG.A ; 2010).....		51
Figure 36- dépôt de l'étanchéité (HAMEG.A ; 2010)		51
Figure 37- étaieement de la galerie (HAMEG.A ; 2010)		52
Figure 38- réalisation du système de confortement des fondations		53
Figure 39- confortement du mur de chambre de la favorite (HAMEG.A ; 2010)		53
Figure 40- réparation des fissures d'angles des murs (HAMEG.A ; 2010)		53
Figure 41- Schéma illustre la démarche de renforcement du musée (Auteur ; 2015)		54
Figure 42- Schéma illustre le modèle de la démarche de renforcement.....		56

1.3 Table des matières

REMERCIEMENTS	2
1.1 LISTE DES TABLEAUX	7
1.2 LISTE DES FIGURES	8
1.3 TABLE DES MATIÈRES	9
INTRODUCTION GENERALE :	2
1.4 PROBLEMATIQUE	3
1.5 HYPOTHESES	5
1.6 OBJECTIFS	5
1.7 METHODOLOGIE DE RECHERCHE	6
1.8 STRUCTURE DU MEMOIRE	6
1. DEFINITION DES CONCEPTS	10
1.1 PROJET DE RESTAURATION	10
1.2 L'ART DE RENFORCEMENT :	13
1.3 LA MAÇONNERIE	14
1.3.1 TYPE DES MAÇONNERIES :	15
1.3.1.1 MAÇONNERIE EN PIERRE DE TAILLE :	15
1.3.1.2 MAÇONNERIE EN PIERRAILLE :	16
1.3.1.3 MAÇONNERIE A SEC :	17
1.3.1.4 MAÇONNERIE DE REMPLISSAGE :	17
1.3.1.5 MAÇONNERIE DE BRIQUE PLEINE CRUE :	18
1.3.1.6 MAÇONNERIE DE BRIQUE PLEINE CUITE :	19
1.3.2 LA RESISTANCE DES MAÇONNERIES :	19
1.5.3 CONCLUSION	20
LA DEMARCHE DE RENFORCEMENT D'UN BATIMENT	
2.1 INTRODUCTION	21
2.2 PRE-DIAGNOSTIC :	21
Diagnostic simplifié	22
2.3 LA MODELISATION FINALE :	23
2.4 PROJET D'EXECUTION :	23
3 LES CONSTRUCTIONS EN MAÇONNERIE ET LA REGLEMENTATION	
3.1 REGLES PARASISMiques ALGERIENNES (RPA 99 / VERSION 2003) :	24
3.2 DTR C2.45 ; REGLES DE CONCEPTION ET DE CALCUL DES MAÇONNERIES :	26
3.3 DTR C2.4 ; TARVAUX DE MAÇONNERIE DE PETITES ELEMENTS :	29

3.4	LE ROLE DES ORGANISMES DE CONTROLE :	29
2.4.1	<i>CTC : CONTORLE TECHNIQUE DE CONSTRUCTION</i>	29
2.4.2	<i>Le CNERIB :</i>	29
3.5	CONCLUSION :	30
4	L'ART DE RENFORCEMENT D'UN BATIMENT EN MAÇONNERIE SELON LA REGLEMENTATION FRANÇAISE	
4.1	INTRODUCTION	31
4.2	LES ETUDES PRELIMINAIRES	31
4.2.1	<i>Diagnostic, pronostic :</i>	31
4.2.2	<i>Le projet de réparation et/ou renforcement</i>	32
4.3	LES REFERENCES REGLEMENTAIRES :	32
4.3.1	<i>Les règles techniques</i>	32
4.3.2	<i>Les Guides Techniques</i>	34
5	EXEMPLES DE PROJETS DE RENFORCEMENT	
5.1	LE RENFORCEMENT EN FRANCE	36
5.1.1	<i>Présentation de l'ouvrage</i>	36
5.1.2	<i>La Démarche suivie pour le renforcement</i>	39
5.3	CAS DU RENFORCEMENT DES STRUCTURES EN ALGERIE :	47
4.2.1	<i>Le musée du BARDO Alger</i>	47
5.3.1	<i>Introduction</i>	47
5.3.2	<i>Présentation de l'ouvrage</i>	47
5.3.3	<i>La méthodologie de l'opération</i>	50
5.3.4	<i>Schéma de la démarche de renforcement</i>	54
5.4	ETUDE COMPARATIVE	55
5.5	PROPOSITION D'UN MODELE THEORIQUE DE LA DEMARCHE DE RENFORCEMENT :	
	56	
6	CONCLUSION GENERALE	57
	BIBLIOGRAPHIE	59
	ANNEXE I : LA LOI 98-04 RELATIVE A LA PRESERVATION DU PATRIMOINE	
	60
	ANNEXE II: DECRET EXECUTIF: LA MAITRISE D'ŒUVRE DE LA RESTAURATION	62
	ANNEXE III : FICHE DU DIAGNOSTIC CNERIB	64
	ANNEXE IV- RAPPORT DE VISITE CSTB	65

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE :

Notre patrimoine architectural et urbain, reflet de plusieurs périodes historiques, riches et diversifiées, se trouve actuellement dans un état de dégradation très avancé. Cette situation de risque de ruine et d'effondrement de ces constructions représente un état de menace permanent de l'hygiène, du confort et de la sécurité de ses occupants. Vu cet état vétuste dans lequel se trouve ce cadre bâti, des interventions urgentes telles que des opérations de réhabilitation, sont nécessaires afin d'améliorer en premier lieu les conditions de vie des occupants, et assurer sa pérennité dans le temps pour le transmettre aux générations futur ¹(L, 2010). Le constat sur le terrain montre malheureusement que ces soit disant travaux de restauration et de renforcement se limitent en réalité et en majorité au ravalement des façades parfois accompagnés de réparations des réseaux de distribution et d'évacuation et rarement de la structure porteuse. Quand cette dernière est concernée par les réparations, c'est-à-dire la structure en maçonnerie, elles sont faites de manières inadaptées souvent en rupture ou en inadéquation avec les techniques du passé sans connaissance approfondie du bâti en question du point de vue organisationnel, spatial et structurel, et même parfois historique. Tout cela est dû au fait d'une rupture historique du savoir-faire dans le domaine de la construction pour différentes raisons sociales et historiques.

La technique de construction en maçonnerie est considérée comme l'une des techniques traditionnelles dans notre pays. L'effondrement qui menace nombre d'entre elles est causé essentiellement en premier lieu par l'absence d'une culture et d'une pratique communautaire d'entretien d'un bien immobilier commun en vue de sa conservation ce qui accroît son vieillissement en second lieu par l'absence d'une stratégie claire des instances étatiques en charge de la gestion du patrimoine et de sa conservation. A l'échelle de la communauté la gamme des travaux à effectuer, peut s'étendre de l'amélioration technique ponctuelle à la restructuration lourde. Tandis-que les instances publiques doivent engager des travaux de renforcement pour la mise à niveau vis-à-vis des règlements en vigueur et assurer un niveau de sécurité équivalent aux nouvelles constructions.

¹ L, IDIR., 2010. Thèse magister. Présentation d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine architectural en terre en Algérie.

L'intervention sur la structure de l'ancien bâti est qualifiée de confortement, c'est l'opération par laquelle on améliore les caractéristiques mécaniques d'une structure porteuse ou d'un de ces éléments, soit pour atteindre une portance perdue par vieillissement ou atteindre un niveau de résistance plus élevée nécessaire pour pouvoir résister d'une manière efficace aux chargements auxquels la structure est soumise prévu par la réglementation actuelle en vigueur.

Les matériaux qui constituent les anciennes constructions dites de maçonneries sont globalement constitués de pierres de différentes natures, de liants hydrauliques, de bois, d'aciers sous formes de poutres et de solives qui supportent des planchers à voutains en brique parfois des planchers en bois.

1.4 Problématique

Pratiquer le renforcement de la structure d'une ancienne construction, nécessite un certain nombre d'information et un savoir-faire dans le domaine outre le protocole d'exécution basé sur des guides techniques qui mettent en avant des connaissances en profondeur de l'architecture traditionnelle particulièrement celles en maçonnerie, il est nécessaire de connaître son implantation dans le territoire, ces pathologies structurelles apparentes, la nature des matériaux qui la constituent etc... En sus un accompagnement par un guide technique et un support réglementaire sont nécessaires, ce qui nous mène à faire les questionnements suivants :

- *Existe-t-il une réglementation Algérienne qui régit le renforcement des bâtiments en maçonnerie ?*
- *Est-ce qu'elle est suffisante ?*
- *Que devient l'art de renforcement, de réhabilitation et du confortement dans l'absence de cette réglementation ?*

A Alger, nombreux sont les édifices et bâtiments qui sont construits en maçonnerie et qui représentent une valeur architecturale et esthétique très importante. Malheureusement ces derniers risquent l'effondrement à cause du vieillissement particulièrement de la structure. Par conséquent, afin de les maintenir en service l'urgence de l'intervention est justifiée. Néanmoins, quelques rares édifices choisis ont subi une opération de réhabilitation à l'instar du bastion 23, la mosquée Ali Bétchine, le musée BARDO...etc. Ces quelques exemples vont nous servir à analyser la méthodologie d'intervention et suivie dans l'exécution du renforcement et tenter d'identifier la base réglementaire utilisée.

Dans ce qui suit nous présentons quelques documents réglementaires et travaux de recherches ayant traité de la problématique du renforcement des structures en maçonnerie. Les recherches ont traitées cette problématique d'un point de vue méthodologique tandis-que les documents réglementaires en vigueur concernent les constructions nouvelles.

Le règlement parasismique Algérien (RPA99 version 2003) [11] présente dans cette version un chapitre concernant la maçonnerie (construction en maçonnerie porteuse chaînée), qui traite des généralités sur le matériau, le principe de calcul et de construction, et la vérification des différentes sollicitations.

Le document technique réglementaire, règles de conception et de calcul des maçonneries (DTR C2.45) [7], il fixe les règles de conception et de calcul des structures ordinaires en maçonnerie et qui s'applique à toutes les maçonneries avec joints en mortier traditionnel ou en mortier colle de liaison des éléments en briques rouge, silico-calcaire, de plâtre, de béton de terre stabilisée (B.T.S), le parpaing de ciment ou la pierre de taille.

« **La réhabilitation sismique du bâti existant** », est une communication faite par AMIRECHE Fatima, de l'université de Constantine, dans laquelle elle a traité le renforcement parasismique du point de vue technique et méthodologie.

« **Guide technique pour une opération de réhabilitation du patrimoine architectural villageois de Kabylie** », ALILI Sonia, dans sa thèse de magister a abordé la question de réhabilitation de l'architecture kabyle, elle a procédé à la mise en évidence de la typologie, du système constructif et du système structurel. Une partie pertinente de son mémoire a concerné la description des différentes étapes de réhabilitation du patrimoine bâti.

« **Elaboration d'un consensus de réhabilitation du patrimoine industriel pérennisant son authenticité dans le contexte Algérien : cas des ateliers de maintenance S.N.T.F. El-Hamma, Alger** ». BOUAZIZ Samia, dans son mémoire de magister a étudiée les techniques et les types de réhabilitation du patrimoine industriel construit en maçonnerie. Elle a cité dans sa thèse une analyse de la loi 98-04 qui est la base de la réglementation concernant le patrimoine.

« **Diagnostic et renforcement du bâti existant vis-à-vis du séisme** » est le guide de renforcement parasismique élaboré par le groupe de travail AFPS-CSTB [13], il traite essentiellement la question de renforcement du point de vue de la

réglementation, notamment celle relative à dimension parasismique, les méthodes de diagnostic et de détection des points critiques dans les structures.

«**Réparation et renforcement des maçonneries**», est le guide FABEM 6.1 [10], elle présente des techniques de renforcement, selon les normes et la réglementation, destiné aux entrepreneurs.

«**Ouvrage en maçonnerie de petits éléments. Parois et murs**», **NF DTU 20.1 [2] P4 Octobre 2008 (norme française)** a pour objet de définir les dispositions constructives minimales (chaînages, appuis des planchers et linteaux, fractionnement des murs par des joints de dilatation et retrait, etc.) applicables aux maçonneries traditionnelles de petits éléments.

1.5 Hypothèses

- La réglementation Algérienne prend en charge les nouvelles constructions en maçonnerie de point de vue calcul et conception et ne prend pas en charge les bâtiments existants notamment ceux qui sont construits en maçonnerie, de point de vue réhabilitation et spécifiquement de renforcement.
- Les règles Algériennes qui traitent le renforcement, le confortement et la réhabilitation des constructions en maçonnerie sont insuffisantes, donc une nécessité d'avoir recours aux guides techniques étrangers, dans notre cas, les guides français, pour une bonne maîtrise de l'opération.

1.6 Objectifs

Notre recherche vise à éclaircir cette problématique du renforcement et de la réglementation en essayant d'atteindre des objectifs spécifiques qui sont les suivants :

- D'abord, la connaissance des différentes règles qui régissent le renforcement des constructions anciennes en maçonnerie.
- Mettre en valeurs les différentes techniques de renforcement et leurs références réglementaires, et tirer parti des manques et défaillances
- Faire une comparaison entre ce qui se fait en Algérie et le règlement Français, faire ressortir les points de convergences, et les défaillances.
- Proposer un modèle qui montre la démarche à suivre pour cette opération.

- Constituer une ébauche réglementaire pour tous ce qui concerne le renforcement du bâtiment existants qui va être un support référentiel pour faciliter l'intervention.

1.7 Méthodologie de recherche

Afin d'atteindre nos objectifs, nous devons donc adopter une méthodologie du travail qui va structurer le raisonnement de la recherche et qui nous mène à mieux cibler les points à traiter d'une façon logique et cohérente, notre recherche est divisée en deux parties

1- Une partie théorique

Elle servira à l'acquisition d'un corpus théorique suffisamment riche pour pouvoir mieux comprendre et appréhender le thème du renforcement des bâtiments en maçonnerie, à savoir les différents textes réglementaires Algériens qui traitent la question du renforcement, et les différents organismes qui interviennent dans cette opération.

2- Une partie d'application :

Le travail représente une recherche bibliographique de la réglementation et les techniques de renforcement que ce soit en Algérie ou bien dans les autres pays où le renforcement de la maçonnerie prend place dans les textes réglementaires, donc le travail sera accès sur une méthodologie

- Une étude comparative entre la réglementation Algérienne et Française pour déterminer les similitudes et les points de convergences des deux règlements, et d'essayer de confirmer ou d'infirmer l'applicabilité du règlement français.
- sur la base de cette comparaison, faire un croisement entre les deux démarches de renforcement pour faire ressortir un modèle méthodologique pour l'opération en prenant en charge tous les aspects
- L'élaboration d'un guide réglementaire qui comportera les textes et les normes techniques relatives au renforcement du bâtiment en maçonnerie.

1.8 Structure du mémoire

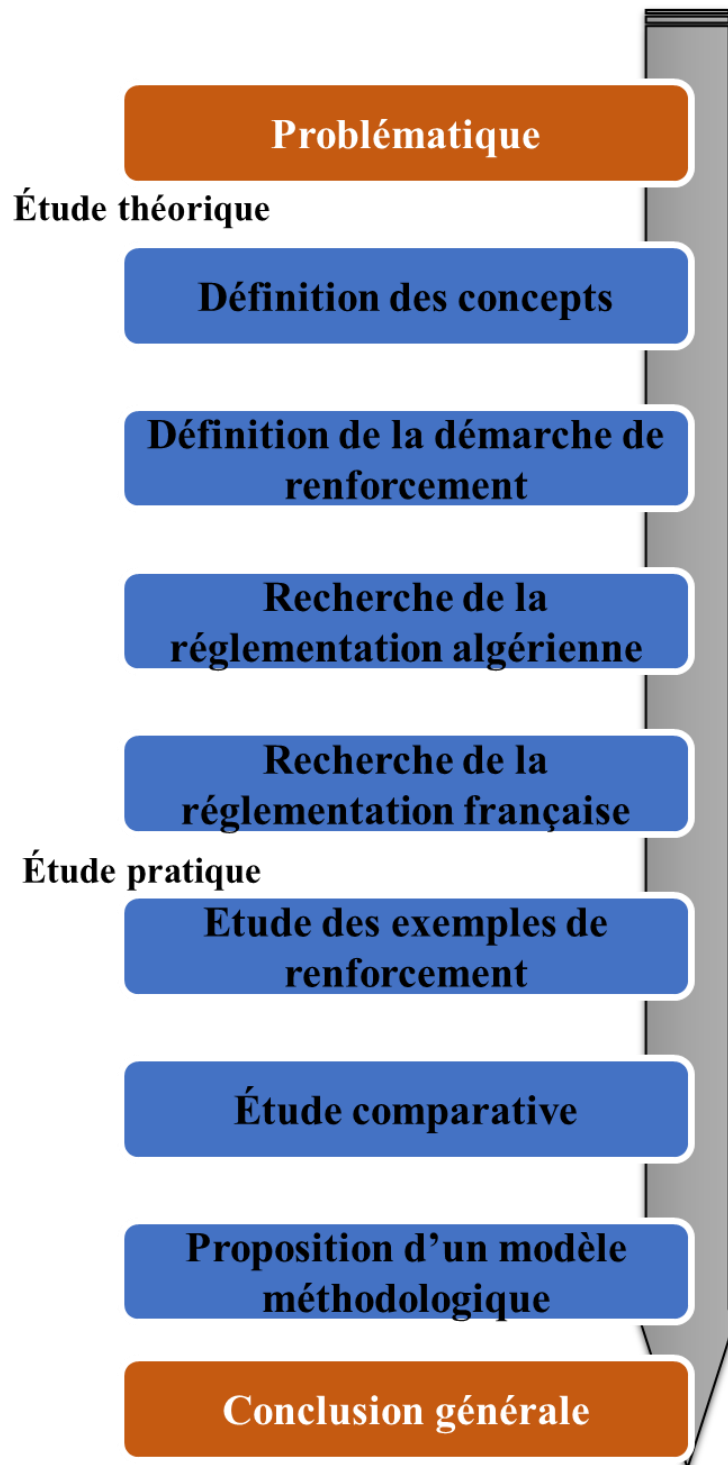
Notre mémoire est structuré en trois parties avec une introduction et une conclusion générale

- La première partie répond à un objectif de comprendre les principaux concepts relatifs au thème à savoir le matériau concerné la maçonnerie, la restauration comme un concept globale, l'art de renforcement, des concepts qui nous permet de décortiquer la problématique pour mieux cibler les éléments à traiter et à prendre en charge.
- La deuxième partie composée de deux chapitres consiste à développer le thème en traitant essentiellement

Dans le 1^{er} chapitre : une présentation de la démarche de renforcement a pour objectif de connaître la procédure de l'intervention sur un bâtiment en maçonnerie, en connaissant les différentes parties de l'étude et de l'exécution de l'opération

Alors que le deuxième chapitre consiste à faire une recherche de la réglementation qui traite le thème, selon les deux échelles nationale et internationale dans un objectif de confirmer ou infirmer l'hypothèse de l'existence de réglementation.

- La troisième partie ; une démarche pratique consiste à analyser des exemples de renforcement pour vérifier l'utilisation de la réglementation pour le cas étranger, et de connaître la démarche de cette opération dans l'absence de la réglementation pour le cas algérien.
Cette partie va être couronnée par un schéma qui explique la démarche de renforcement pour chacun des exemples pour faire à la fin une étude comparative entre les deux qui va nous permettre de mettre en évidence les défaillances qui existent dans la démarche suivi en Algérie.
- Enfin, faire un croisement des schémas de démarche pour proposer un modèle méthodologique qui facilite l'intervention sur le bâti ancien.
- La conclusion de ce travail consiste à confirmer le manque flagrant des références de base pour l'opération de renforcement, en posant la question de qui va prendre la responsabilité de l'échec de ces travaux.



Structure de mémoire

CHAPITRE I DEFINITIONS DES CONCEPTS

1. Définition des concepts

Le présent chapitre est une initiation à l'étude de la problématique, il nous explique les concepts de base de la problématique traitée, une définition des différents thèmes qui permettent de comprendre le sujet et de mieux cerner les objectifs à atteindre et arriver aux résultats prévues.

1.1 Projet de restauration

1.1.1 Définition de la restauration :

La restauration est une opération qui englobe tout type d'interventions, elle se caractérise par des travaux soigneux et très détaillés pour permettre la pérennité de l'édifice, nombreux spécialistes ont défini cette opération selon sa complexité et ces caractéristiques.

Elle est définie par la charte de Venise comme étant « Une opération, qui doit garder un caractère exceptionnel. Elle a pour but de conserver et de révéler les valeurs esthétiques et historiques du monument et se fonde sur le respect de la substance ancienne et de documents authentiques. Elle s'arrête là où commence l'hypothèse, sur le plan des reconstitutions conjecturales, tout travail de complément reconnu indispensable pour des raisons architecturales et portera la marque de notre temps » ²

Une autre définition faite par « ...cette série d'opérations qui, enchaînées, redonnent vie et avenir à une construction souvent de portée historique. Restauration et conservation sont presque synonymes de cette démarche. Il s'agit en gros d'opérations indispensables à la continuité et à la survie de la construction se traduisant par des réparations, des consolidations, des renforcements, et des protections préventives. Dans la restauration on vise souvent l'objet (le bâtiment) en tant qu'œuvre d'art et surtout pas limitée à sa fonction utilitaire. C'est particulièrement sa portée et sa valeur artistique et culturelle qu'il faut aussi préserver et c'est d'ailleurs la grande différence entre restauration et

² IIe Congrès international des architectes et des techniciens des monuments historiques, 1964.. *Conservation et restauration des monuments et des sites*. Venise

réparation. Par conséquent, toute restauration de construction dans les vieilles villes doit se comprendre dans le contexte actuel de l'œuvre et par-delà cette réalité, elle doit être révélatrice de sa valeur passée. Une construction restaurée dans un ensemble historique est appelée à remplir alors un rôle actuel dans un état qui tend à concilier la connaissance subjective du passé et la conscience des rigueurs du présent... »

A partir de ces définitions on peut dire que la restauration est l'opération chirurgicale faite sur un édifice qui vise à garder son aspect original par l'utilisation des mêmes matériaux et des techniques, en conservant les éléments artistiques et les architectoniques pour garder sa valeur historique et permettre une survie de l'édifice. De plus, l'opération de restauration est englobée toute autre opération à savoir la réhabilitation, la rénovation... etc.

1.1.2 La réglementation qui regit un projet de restauration :

Le patrimoine algérien trouve ces fondations dans la réglementation, où la loi précise d'abord les critères de classement des édifices et des sites historiques en explique les valeurs à préserver, et précise clairement la démarche de la restauration dans la maîtrise d'œuvre et la maîtrise d'ouvrage.

1.1.2.1 La loi 98-04³:

Une loi qui définit le patrimoine culturel (les règles générales, et les conditions de mise en valeur)

Les biens culturels à considérer comme patrimoine (immobilier, existant dans le sol ou sous-sol des immeubles de patrimoine national, appartenant à des personnes physiques ou morales de droit privé qui se résument dans les points suivants :

- les biens culturels immobiliers
- les biens culturels mobiliers
- les biens culturels immatériels

L'inscription des biens culturels se fait par des listes d'intérêt par le ministère chargé avec mise à jour chaque dix (10) ans.

- les biens immobiliers :

³ Journal officiel. *La loi 98-04, La protection du patrimoine culturel*, 17 juin 1998.

- les monuments historiques
- les sites archéologiques
- les ensembles urbains et ruraux

1.1.2.2 **Decret exécutif : la maitrise d'œuvre de la restauration**

Arrêté du 22 rabie ethani 1426/ 31 mai 2005 fixant les contenus des missions de la maitrise d'œuvre portant sur la restauration des biens culturels :

Cet arrêté explique les différentes étapes de processus d'intervention sur un bien culturel, en passant par l'étude, le projet et le suivi.

a) La mission d'étude

- **Constat et mesure d'urgence :**

Une expertise doit être faite pour avoir des mesures préventives et des travaux de réparations provisoires ou définitives, puis un dossier doit être établi qui comporte toutes les pièces descriptives du projet à savoir : Le rapport d'expertise établi par le maître d'œuvre, les documents graphiques, les solutions appropriés adoptés accompagnés par des notes descriptives

- **Le relevé et genese historique :**

On trouve plusieurs types complémentaires de relevé dont chaque nous renseigne sur un détail de la construction

- **Le relevé métrique :** il comprend
 - un relevé métrique du monument et son environnement : qui comprend un plan de situation, un levé topographique, plan de masse, plan de chaque niveau...etc.
 - Relevé architectural : qui contient les pièces suivantes :
 - Un relevé du système constructif
 - Relevé des détails et modes d'assemblage
 - Relevé des menuiseries, ferronnerie, et aménagement fixes et des modénatures

- Relevé des installations : toutes les installations de plomberie et autre
- **Etude historique** : qui consiste à étudier les différentes périodes d'intervention sur le bâtiment et connaître les stratifications et les phases d'évolution avec les événements marquants.

De plus, l'étude historique documente toutes les interventions antérieures sur le bien immobilier protégé ainsi que toutes les publications et études dont il a fait l'objet.

b) **Etat de conservation et diagnostic** : cette mission consiste à faire une étude approfondie de l'édifice à savoir :

- Une identification des dommages subis par les structures
- Rapport qui précise les causes de détérioration du mobilier

c) **Projet de restauration** :

Il constitue l'étude descriptive et explicative et justificative des dispositifs techniques proposés, cette mission comprend : un rapport de présentation en mettant en évidence l'état de la conservation et les solutions envisagées et un dossier graphique

d) **Assistance dans le choix des entreprises** : elle consiste à la demande de maître d'ouvrage à :

- Préparer les dossiers de consultation ou d'appel à la concurrence.
- Assister le maître d'ouvrage dans l'analyse et l'évaluation des offres.

1.2 L'art de renforcement :

Le renforcement du bâti existant est une préoccupation récente du génie civile particulièrement du génie parasismique ; les règles correspondantes n'ont pas encore intégré ces aspects. Les méthodes à utiliser combinent à la fois les principes indiqués dans les textes relatifs aux ouvrages neufs, et les pratiques courantes de renforcement des structures soumises aux charges sismiques

Les constructions à renforcer sont celles qui sont dégradés à cause :

- Du vieillissement des matériaux
- Les actions climatiques (variation de température, vent, pluie, gel...etc.).
- Les mouvements de terrains

- Augmentation des charges d'exploitations au-delà des valeurs prévues
- Des erreurs de calcul dans l'évaluation des charges ou dans le dimensionnement des sections résistantes. ⁴

1.2.1 Donc quel renforcement pour les bâtiments ?

Il existe différents niveaux de renforcement selon le type des dommages et dégradations, on distingue :

Le renforcement obligatoire :

Après la réalisation des travaux lourds sur un bâtiment, le renforcement est imposé sur ce bâtiment, avec des règles de construction à respecter issues des règles des constructions neuves.

Le renforcement volontaire :

Le renforcement qui sert à réduire la vulnérabilité au séisme et qui a besoin d'un cadrage pour mieux aboutir, pour cela des principes sont dictés pour être respectés.

Le renforcement lors d'une extension :

Dans le cas d'une construction neuve solidarisée à une ancienne construction par un joint parasismique, elle doit respecter les règles pour le bâti neuf.

Le renforcement d'un bâtiment notamment les constructions en maçonnerie doit respecter une méthodologie et une démarche qui va guider toute l'opération depuis son commencement jusqu'à l'achèvement des travaux, au vu de la complexité et la difficulté de la démarche, elle consiste en une bonne maîtrise et une bonne connaissance de l'opération et c'est l'objectif du chapitre suivant.

1.3 La maçonnerie⁵

Les maçonneries sont composées d'éléments naturels : pierre, ou d'éléments produits artificiellement : la briques.

Les éléments composant une maçonnerie peuvent être unis, ou non, par un mortier. Au début, le mortier a une consistance plastique mais, avec le temps, il durcit et adhère fortement aux éléments qui composent les maçonneries, réalisant ainsi l'union et la

^{4,7} BRENDA, P., 1993. BATIMENT EN MACONNERIE, Elément de construction. centro analisi sociale progetti S.R.L Rome

continuité des éléments. Le mortier a en outre la fonction de répartir de façon plus régulière les charges entre les différents éléments de la maçonnerie.

1.3.1 Type des maçonneries :

1.3.1.1 Maçonnerie en pierre de taille :

Elles sont formées par simple juxtaposition de blocs polis et travaillés sur toutes les faces et taillés de façon à assurer le contact. Dans quelques cas rares les angles sont émousés pour éviter la formation d'écaillés. Les dimensions des blocs sont importantes, de façon à assurer la stabilité de l'élément par son propre poids. Dans de nombreux cas le façonnage des surfaces des blocs est si soigné que le mortier devient superflu dans la construction de la maçonnerie.



Figure 1: Construction en pierre de taille

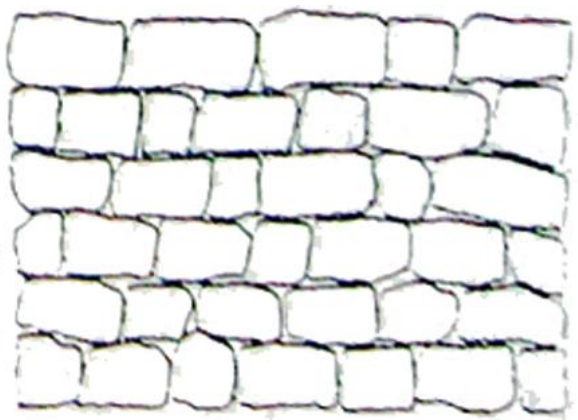


Figure 2: Maçonnerie en pierre de taille

(Auteur, 2015)(Pietro Brenda, 1994)

Ce type de construction on le retrouve en Algérie dans les montagnes de la région kabyle (de côté d'AZAZGA) et dans les hauts plateaux de la région CHAOUI. Mais cette construction a disparue de nos jours, nécessitait l'entraide de la communauté d'un village pour mettre en place des pierres de grandes dimensions et de poids élevé.

Dans les maçonneries romaines, une certaine liaison était assurée au moyen d'étriers de bronze ou de bois. Les maçonnerie en pierre de taille sont plus résistantes que les autres, mais plus couteuse et demandent un long façonnage. Actuellement on les emploie rarement et exclusivement dans les parties à vue d'ouvrages monumentaux.

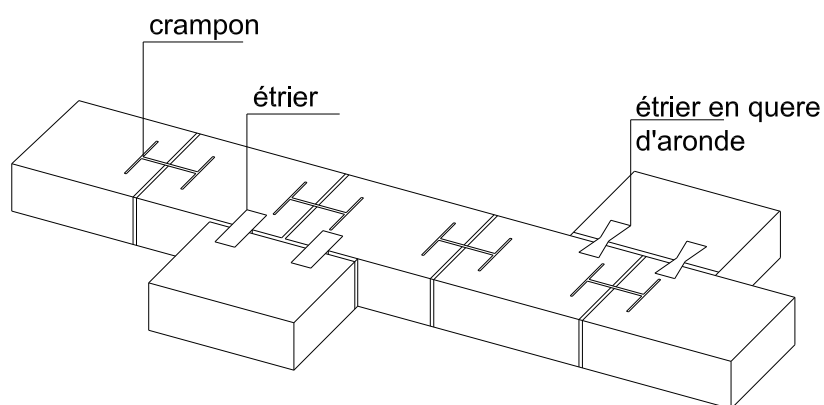


Figure 3: Liaison entre les éléments de mur (Pietro Brenda, 1994)

1.3.1.2 Maçonnerie en pierraille :

Les éléments sont grossièrement équarris, ils sont de forme irrégulière, mais jamais très différents les uns des autres, et liés au mortier. Dans certains cas, lorsque la partie extérieure du mur reste à vue, la face externe du bloc de pierre est traitée avec plus de soin. On retrouve ce genre de construction dans les anciennes maisons rurales, notamment en montagne.

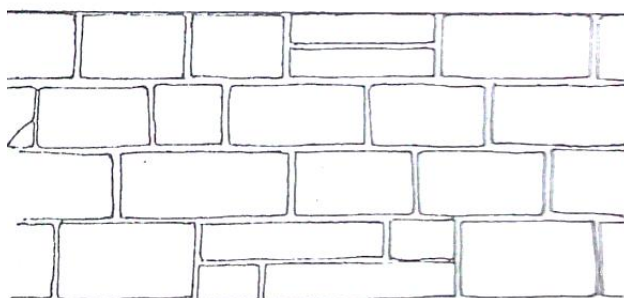


Figure 4 : Mur en pierraille (Pietro Brenda, 1994)



Figure 5 : Exemple de mur en pierraille

1.3.1.3 Maçonnerie à sec :

C'est-à-dire sans mortier. Elle est formée de pierraille posée à la main de façon que les éléments les plus petits bouchent les espaces laissés par les éléments plus grands. Elle s'emploie pour la construction des murs soutènement de rues ou de division des propriétés rurales. Elle présente une faible fiabilité statique

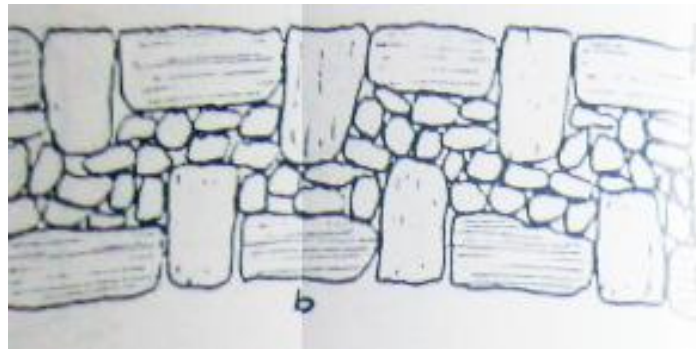


Figure 6: Maçonnerie à sec (Pietro brenda,1994)



Figure 7: Mur en maçonnerie à sec, village ancien, AZZEFOUN (ALLILIS ; 2013)

1.3.1.4 Maçonnerie de remplissage :

Employée principalement dans les ouvrages de fondation, elle est constituée par des couches uniformes de pierraille coulées en vrac dans le vide de fondation, alternées à des couches de mortier.

C'est le type de fondations qui apparait dans la majorité des cas des constructions en maçonnerie de la période coloniale, dont la profondeur dépend du niveau de bon sol.

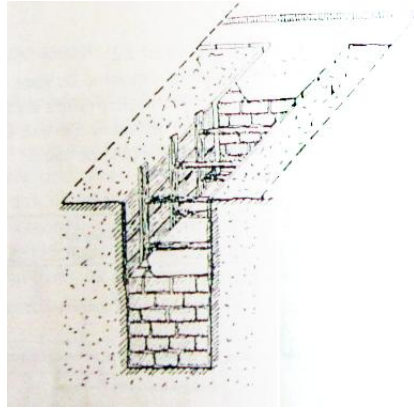


Figure 8: Maçonnerie de remplissage (Pietro Brenda,1994)



Figure 9 : Fondation en maçonnerie de remplissage

1.3.1.5 Maçonnerie de brique pleine crue :

Ce sont des maçonneries qui utilisent des éléments d'argile pressée, parfois mélangée à de la paille, et séchée au soleil. C'est un type de maçonnerie employé dans les pays chauds. Son emploi est justifié uniquement par des faits économiques et environnementaux. Elle offre une faible fiabilité statique.

Ce type de maçonnerie se trouve dans la région saharienne, produite par des méthodes traditionnelles



Figure 10 : La brique pleine crue

1.3.1.6 Maçonnerie de brique pleine cuite :

Elles sont constituées de pierres artificielles, obtenues par cuisson de l'argile dans des fours spéciaux. Les briques ont une forme parallélépipédique, les côtés ont des dimensions telles que le premier côté est égal à deux fois le deuxième et à quatre fois le troisième. Les briques autres sont toujours liées au mortier.

1.3.2 La résistance des maçonneries :

Elle dépend de la résistance des éléments qui les composent (brique, pierre) et de la résistance du mortier qui est très inférieure à celle des éléments.

La résistance à la compression des maçonneries est généralement supérieure à celle du mortier employé pour les réaliser, et inférieure à la résistance des pierres ou des briques qui la composent. L'étude expérimentale a prouvé de plus que la résistance d'un mortier, à l'intérieur d'une maçonnerie, est supérieure à la résistance que l'on trouve en soumettant des échantillons de ce mortier à des essais de compression. Les joints de mortier jouent un rôle important dans le comportement de la maçonnerie vis-à-vis des différentes sollicitations : compression, traction, cisaillement, particulièrement la résistance à la compression varie d'une façon proportionnelle à l'épaisseur des joints. /

Tableau 1: Tableau des charges de sécurité des maçonnerie (Pietro brenda,1994)

<i>Maçonnerie nouvelle</i>	<i>Tension admissible σ</i>
Maçonnerie en batard pierre de taille	40- 60 kg/cm ²
Béton	20- 40 kg/cm ²
Maçonnerie en brique forte et mortier de ciment	15- 30 kg/cm ²
Maçonnerie en brique pleine	10- 20 kg/cm ²
Maçonnerie en moellon	10- 15 kg/cm ²

<i>Maçonnerie existante</i>	<i>Tension admissible σ</i>
Maçonnerie en batard pierre de taille	6 kg/cm ²
Béton	4 kg/cm ²
Maçonnerie en brique forte et mortier de ciment	3 kg/cm ²
Maçonnerie en brique pleine	0kg/cm ²
Maçonnerie en moellon	5 kg/cm ²

Commentaire

Parmi les types de maçonnerie cités dans le tableau, les constructions existantes en maçonnerie en Algérie représentent une tension admissible très faible (pierre de taille, moellon, brique forte), varie entre **3kg/cm²** et **6kg/cm²**, ce qui prouve la fragilité de ces constructions vis-à-vis des sollicitations, et qui nécessitent une intervention urgente pour améliorer leurs comportement.

1.5.3 Conclusion

Le projet de renforcement est connu comme une étape comprise dans l'opération de restauration d'un monument qui touche essentiellement et dans la plupart des cas les structures des ouvrages, dans un objectif de la mise à la norme et d'améliorer leurs comportements face aux différentes chargements et tous types d'incidents (le séisme a titre d'exemple). Pour cela la connaissance des termes cités dans ce chapitre va permettre de mettre en évidence les anomalies et les désordres dans les structures. Pour mener à bien le projet de renforcement, il faut aussi suivre une démarche bien étudiée ce qui est l'objet du chapitre qui suit.

La démarche de renforcement d'un bâtiment

2.1 Introduction

Avant tout projet de renforcement, une étude préalable sur le site pour constater l'état du bâtiment, évaluer les moyens à mettre en œuvre pour son renforcement et estimer le besoin d'intervention. Ça consiste en une série de travaux préalables qui permettent d'avoir une bonne connaissance du bâtiment de ses techniques constructives et tous les éléments qui concernent le système structurel. Elle s'effectue suivant une méthodologie comportant un ensemble de phases : le pré-diagnostic, diagnostic simplifié, la modélisation finale, et le projet d'exécution.

2.2 Pré-diagnostic :

Une étape fondamentale dans laquelle le diagnostiqueur chargé d'effectuer les visites sur site, compile les informations de base, nécessaire à la prise de décision face à d'éventuels travaux de renforcement, de réhabilitation ou de confortement du bâtiment.

2.1.1 Objectifs du pré-diagnostic :

Le pré-diagnostic est déterminant dans le processus de réhabilitation technique, une étape à ne pas marginaliser ni contourner, son objectif majeur est de dresser une première évaluation de l'état de conservation du bâtiment considéré, afin d'orienter le maître d'ouvrage vers une intervention simple à mettre en œuvre si nécessaire et procéder à des études plus approfondies.

Lors de ce pré-diagnostic, l'intervenant fera l'analyse de l'existant et tachera de rassembler un ensemble de données, à savoir⁶ :

- Des renseignements d'ordre urbanistique (autorisation et affectation de la planification urbanistique, degré de protection patrimoniale de la zone et/ou du bâtiment, aides économiques pour la réhabilitation et le renforcement)
- Des renseignements sur le système constructif (principal système structurel, condition physique des éléments architecturaux, état de conservation des matériaux...)
- Ses valeurs architecturales et les pathologies qui l'affectent.

Le pré-diagnostic consiste à faire un constat détaillé de l'état du bâtiment, il s'agit de faire l'analyse de la résistance aux différentes actions et précisément l'action sismique si on est dans une zone sismiques du bâtiment en se basant sur :

- Récolement des plans disponibles, éventuellement des notes de calcul.

⁶ X, C., 2005. Méthode RéhabiMed,

- examen visuel : vérifier que les porteurs (poteaux, murs) sont plombés à la verticale, constat de situation, identifier les éléments de contreventement, estimer la vulnérabilité du bâtiment.
- Définir une campagne de sondage destructif ou non sur les matériaux et le sol de fondation, les sondages doivent être réalisés aux endroits adéquats, notamment sous l'emprise du bâtiment ; cette étude du sol doit être jointe au dossier de consultation des entreprises.
- Compléter, si nécessaire, les reconnaissances du sol par des essais géotechniques.

2.2 Diagnostic simplifié : il consiste à :

- Définir les résistances des matériaux
- Faire des calculs simplifiés, pour connaître le comportement du bâtiment
- Etablir un catalogue des méthodes de renforcement possibles, avec une analyse des avantages et des inconvénients.
- Choisir de la solution optimale et de procédé de renforcement, de réhabilitation ou de confortement.

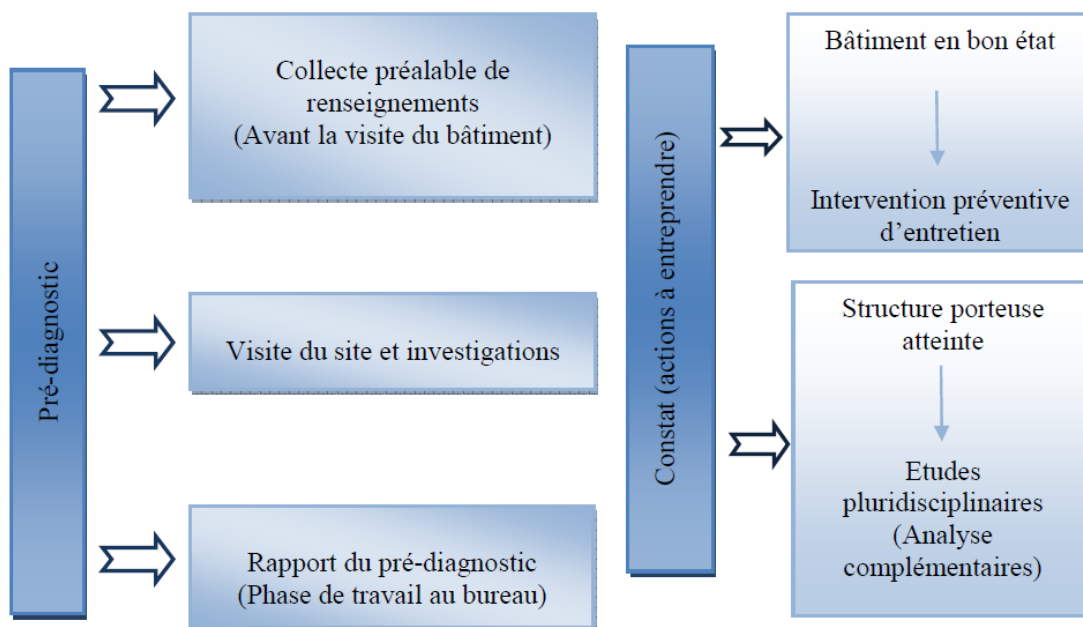


Figure 11: Schémas récapitulatif de la phase du pré-diagnostic (IDIR Lydia, 2010)

2.3 La modélisation finale :

La modélisation doit intégrer le renforcement choisi en faisant des simulations pour tester les résultats et la faisabilité de l'opération en utilisant des logiciels et des méthodes adéquates.

2.4 Projet d'exécution :

Dans cette étape on doit chiffrer le coût, préciser la durée des travaux, définir avec l'entreprise retenue la méthodologie, les travaux d'exécution et leurs suivi.⁷

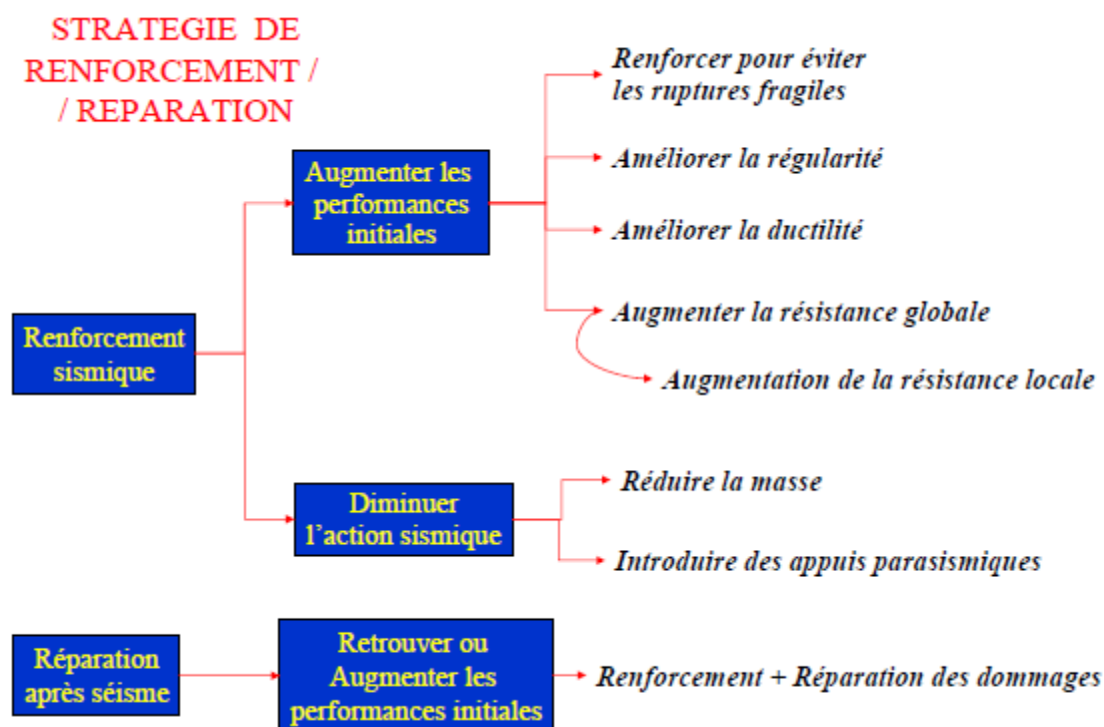


Figure 12: Stratégie de renforcement

(Victor DAVIDOVICI, problématique des bâtiments existants)

L'opération de renforcement se fait pour deux cas essentiels. Premièrement, rendre la construction résistante au séisme, en augmentant ces performances, dans ce cas on se base sur les exigences dictées par les normes parasismiques, par l'amélioration de la régularité, la ductilité et sa résistance globale. D'autre part, réparer les dégradations et les désordres dus aux actions sismiques.

⁷ Renforcer le bâti en zone sismique ; www.qualiteconstruction.com

3 Les constructions en maçonnerie et la réglementation

Dans ce chapitre, nous allons citer les documents de référence réglementaire en vigueur sur lesquels les constructions en manière générale se basent, et que les constructions en maçonnerie sont incluses.

3.1 Règles Parasismiques Algériennes (RPA 99 / Version 2003)⁸ :

C'est le document de référence de toute construction, qui fixe toutes les règles de conception, de calcul et de construction des ouvrages dans toutes les zones (sismique ou non sismique).

Ce règlement introduit un chapitre qui concerne la construction en maçonnerie porteuse chaînée, un chapitre qui fixe les règles de conception et de construction de la maçonnerie porteuse chaînée permet en Algérie (zone sismique), il précise des règles de conception, de calcul et de construction en maçonnerie.

- La conception :

Des exigences sont mises en place telle que la régularité en plan et la liaison entre les murs et les planchers.

- Dimensions en plan et nombre d'étages :

Les dimensions en plan doivent respecter les règles de conception des ouvrages en maçonnerie et en béton armé ; dont le rapport (longueur/largeur) est de 3.5

Pour ce qui est de nombre d'étages et la hauteur maximale sont dictée dans le tableau ci-après

Tableau 2- Les gabarits tolérés dans les zones sismiques

		ZONE SISMIQUE		
		ZONE I	ZONE II	ZONE III
Hauteur (m)	H	17	14	11
Nombre d'étages	N	5	4	3

Une bonne répartition des murs dans les deux directions est exigée avec un nombre suffisant pour résister aux forces, en respectant l'aire total des sections droites dans une direction qui ne doit pas dépasser 4% de la surface du plancher.

⁸ Centre National De Recherche Appliquée En Génie-Parasismique, 2003. Règles parasismiques Algériennes RPA99/ VERSION 2003

Les murs doivent être solidement liés par un chaînage (horizontal et vertical) avec une épaisseur suffisante pour les murs de contreventement qui doit dépasser les 20 cm.

La distance maximale entre les murs de résumé dans le tableau suivant.

Tableau 3- la distance maximale entre les murs

	ZONE SISMIQUE		
	ZONE I	ZONE II	ZONE III
Distance (m)	10	8	6

Des mesures doivent être respectées dans les ouvertures dans les murs porteurs ou non porteurs, parce que les ouvertures influent sur les murs en fonction de leurs emplacements et leurs dimensions ; donc des règles ont été met en place pour améliorer à savoir :

La longueur totale d'ouverture dans un mur ne devra pas dépasser la moitié de la longueur de ce mur

- les ouvertures dans les murs devront être prévues autant que possible de façon symétrique eu égard à la configuration en plan du bâtiment pour assurer une distribution de rigidité et de résistance uniforme dans les deux directions du bâtiment.
- Les **dimensions des ouvertures et des éléments structuraux** doivent respecter par ailleurs les conditions suivantes (voir figure :

$$\Sigma b_i \leq 0.5 L_i$$

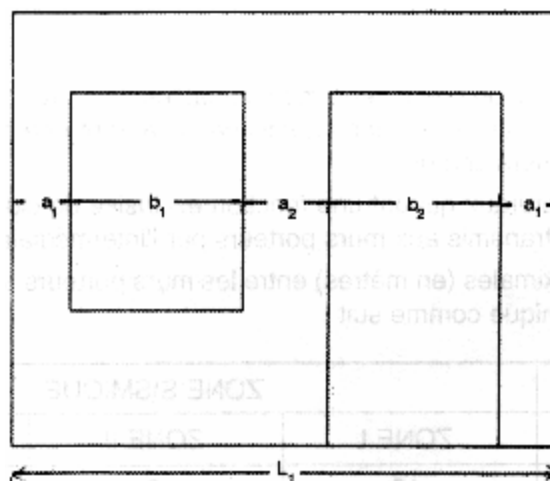
Pour les trumeaux extrêmes :

$$a_1 \geq 1.00 \text{ m}$$

Pour les autres trumeaux :

$$a_2 \geq 1.00 \text{ m} \quad \text{pour la zone III}$$

$$a_2 \geq \frac{b_1 + b_2}{3} \text{ pour les zones I}$$



- **Système de construction :**

La construction en maçonnerie se caractérise par la présence des éléments de liaison et des murs porteurs ou non porteurs entre eux, les chaînages sont des éléments de structure qui assurent la stabilité et la consolidation de l'ouvrage, on peut distinguer :

- Le chaînage horizontal : au niveau des fondations, les planchers et les toitures

- Le chaînage vertical : au niveau des angles saillants ou rentrants de la construction, **aux** joints des murs, et encadrements des ouvertures de hauteur supérieure ou égale à 1.8m.
- La disposition des chaînages est illustrée dans les figures suivantes :

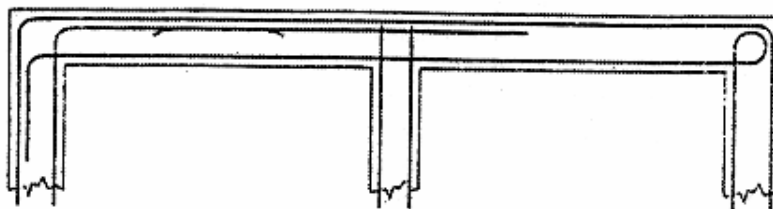


Figure 13: - disposition des chaînages en plan

3.2 Document Technique Règlementaire DTR C2.45 ; REGLES DE CONCEPTION ET DE CALCUL DES MAÇONNERIES ⁹:

C'est le deuxième document réglementaire, un référentiel qui fixe les exigences et les règles pour la conception et la construction des ouvrages en maçonnerie, donc ce document traite principalement des prescriptions relatives à la conception et des règles de calcul de la maçonnerie, il explique :

1- Règles de conception d'un mur en maçonnerie :

Le respect d'un appareillage conforme qui assure une bonne stabilité, et un joint qui doit s'adapter aux dimensions des blocs de briques, le tableau ci-dessus explique précise les règles à respecter pour la conception d'un mur .

Tableau 4 : Les règles pratiques d'appareillage

Type de maçonnerie	Epaisseur des joints	Recouvrement	Schéma
Maçonnerie de bloc de grande taille	0,30 à 1 cm	> 15 cm maçonnerie non porteuse > 0,75 h maçonnerie non porteuse	h : désigne la hauteur du bloc L : désigne la largeur du bloc
Maçonnerie d'éléments manufacturés de petit taille	1 à 2 cm	≥ 5 cm Liaison minimale	

⁹ CNERIB, 2005. Document technique réglementaire C 2.45. Règle de conception et de calcul des maçonnerie .

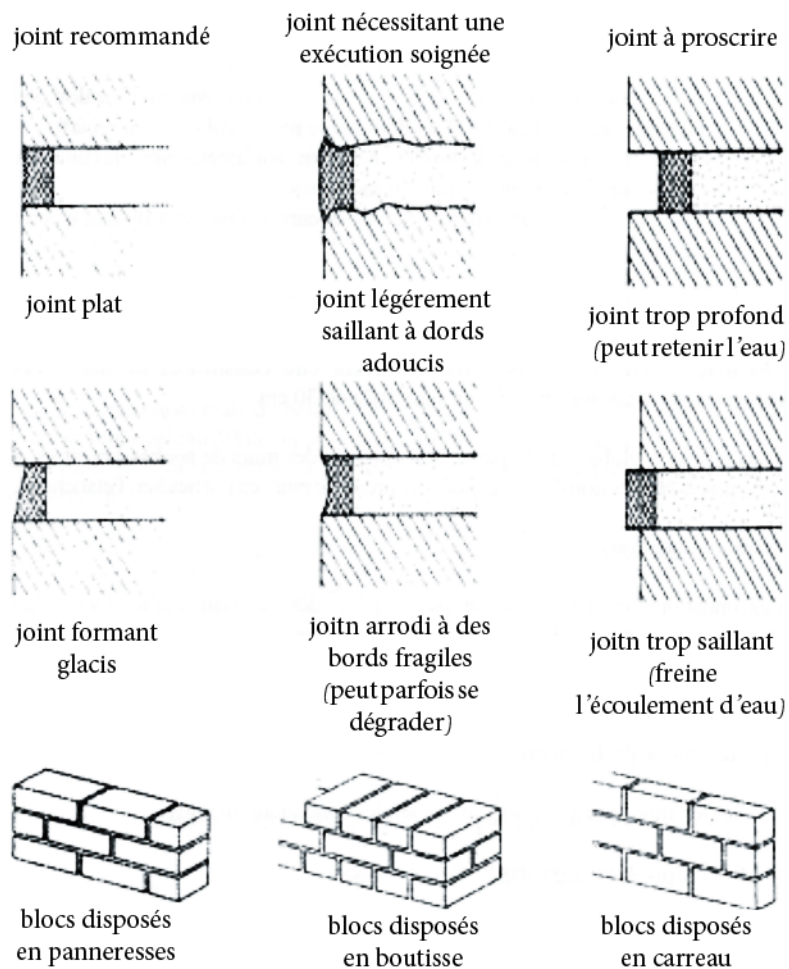


Figure 14 Profil courant de joints de parements et exemples d'appareillage courant

2- Dispositions constructives :

Ce document aussi traite la question de consolidation des murs de maçonnerie, et la disposition des chaînages dans la construction (horizontale et verticale), et fixe des dispositions constructives, les illustrations suivantes expliquent les dispositions de réalisation des chaînages

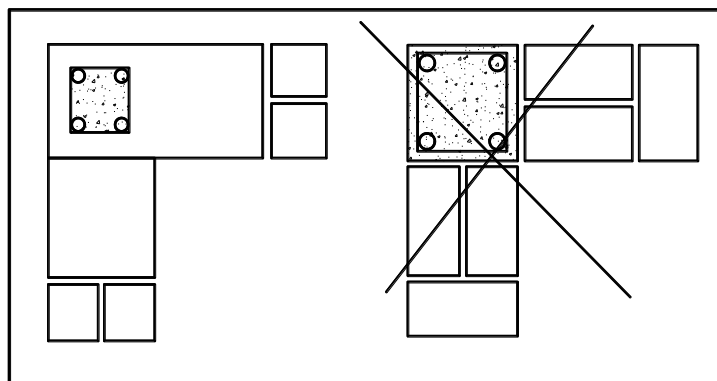


Figure 15 : Réalisation des chaînages verticaux

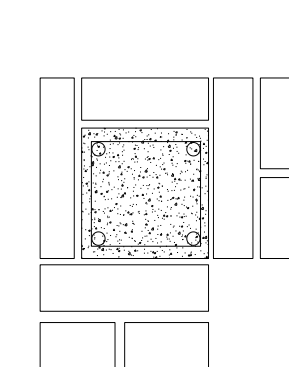


Figure 16 : Chainage vertical

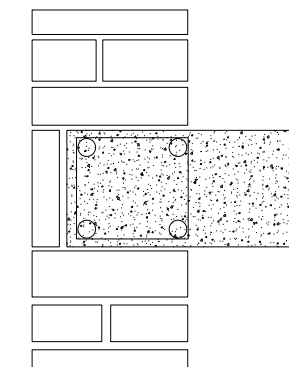


Figure 17 : Chainage horizontal

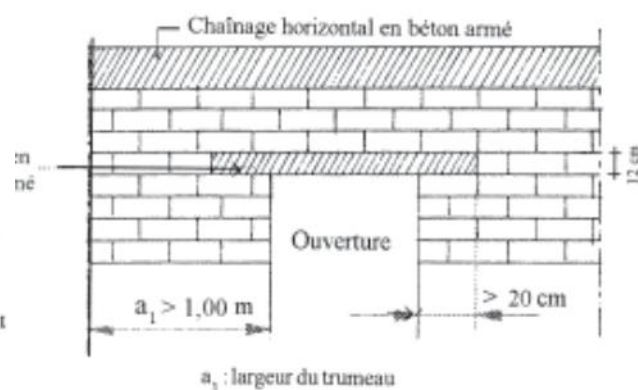
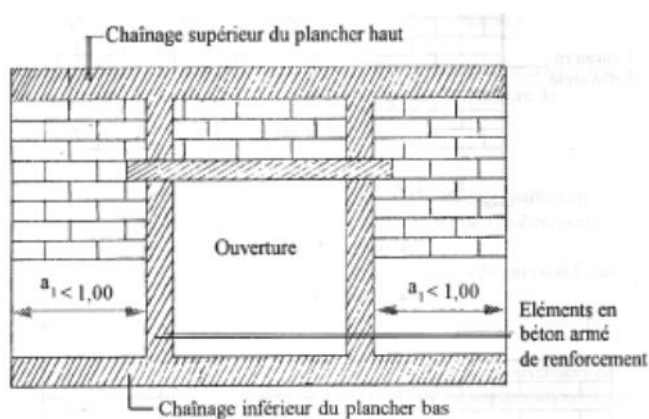
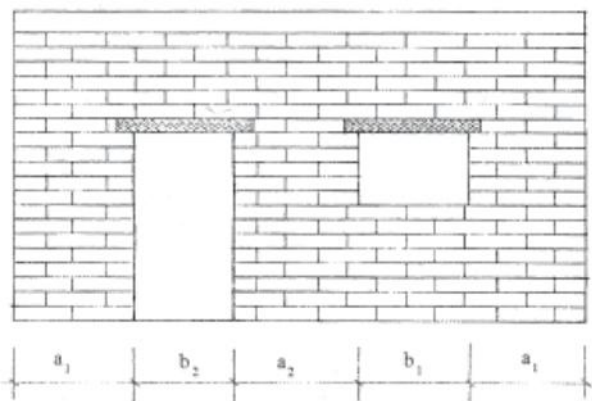


Figure 18 dispositions constructives des ouvertures



3- Les règles du calcul :

Ce document traite aussi les règles de calcul des caractéristiques de la maçonnerie et sa résistance en faisant des essais sur les murs en maçonnerie ou d'appliquer des formules précises pour déterminer précisément la résistance à la compression, la flexion, et le cisaillement.

3.3 Document Technique Règlementaire DTR C2.4 ; TARVAUX DE - MAÇONNERIE DE PETITES ELEMENTS ¹⁰:

Ce document est un complément du DTR 2.45 (REGLES DE CONCEPTION ET DE CALCUL DES MAÇONNERIES) qui vise à définir les exigences requises aux matériaux constructif de base, et aux matériaux de liaison, il traite les ouvrages construits en tout type de maçonnerie.

Il fixe les mesures d'exécution des travaux de maçonnerie de petits éléments, dans des ouvrages courants, qui sont construits par un assemblage à joint de mortier où le matériau essentiel est un des types de maçonneries (moellon, pierre de taille, brique de terre cuite, creuse...etc.).

3.4 Le rôle des organismes de contrôle :

2.4.1 CTC : CONTORLE TECHNIQUE DE CONSTRUCTION

Le contrôle technique de la construction est un organisme qui veille au respect de la réglementation des constructions nouvelles, il intervient dans les différentes phases de processus de réalisation d'un projet, de la phase de conception jusqu'à l'achèvement de celui-ci. En ce qui concerne les bâtis existants, le rôle du CTC se limite à faire des expertises et des diagnostics, en prenant des éléments à traiter à savoir : connaître les aléas et les risques, en se basant sur un référentiel réglementaire (DTR, RPA).

2.4.2 Le CNERIB :

Est un établissement public à caractère scientifique et technologique à vocation sectorielle, créé par le décret n°b82-319 du 23/10/1982 modifié et complété par le décret n° 03/-443 du 29/11/2003. Il est chargé d'élaborer et réaliser les programmes nationaux de recherche scientifique et de développement technologique, notamment en matière de mise au point et de développement des matériaux, produits, matériels et procédés dans le domaine de l'habitat et de l'urbanisme. *Article 01, 02 ; décret exécutif n°03-433 du 29/11/2003¹¹*

¹⁰CSTB, 1997. DTR. E2.4 Travaux de maçonnerie de petits éléments, Alger.

¹¹ ADJA D, D. B., s.d. Droit de l'urbanisme. Edition BERTI, Université de CHLEF

Missions :

1. Collecte et traitement de l'ensemble des informations technico-économiques relatives aux différents composants et matériaux entrant dans la construction.
2. Emet des Avis Techniques sur les matériaux et composants de la construction.
3. procède sur une demande à faire des diagnostics concernant les bâtiments et les éléments de construction en étudiant le comportement des matériaux par l'utilisation des essais de laboratoire, en plus des évaluations faites à partir de fiches règlementaire. (annexe3)

3.5 Conclusion :

Nous constatons dans ce chapitre que la réglementation Algérienne traite les bâtiments en maçonnerie dans le volet conception, dimensionnement et construction à l'état neuf en fixant des mesures à prendre en charge lors de la conception, alors que les constructions existantes ne sont pas prises en compte, et l'opération de renforcement reste pas claire vue qu'elle ne se base pas sur des références techniques et réglementaires.

Cependant, ces documents ont une utilité primordiale pour les opérations préliminaires à savoir le diagnostic et les examens de vérifications, et après l'achèvement de l'intervention pour vérifier la fiabilité et la réussite de l'intervention.

4 L'art de renforcement d'un bâtiment en maçonnerie selon la réglementation française :

4.1 Introduction

Les opérations de réparation et de renforcement des structures ne sont pas toujours couronnées par du succès, et n'aboutissent pas à des résultats convenables, soit la réparation ne tient pas, soit de nouveaux désordres apparaissent dans la structure et parfois on a l'effondrement la structure renforcée. Ceci est dû à la faiblesse du diagnostic et aussi la mise en sécurité de l'ouvrage avant travaux, ainsi que les études portent souvent sur des désordres visibles ; alors la mise en place des règles techniques, des normes, et des guides techniques d'exécution pour orienter l'opération vers des résultats plus réalistes.

4.2 Les études préliminaires

Toute réparation et/ou renforcement d'un ouvrage en maçonnerie doit procéder par une étude de l'état de la construction avant d'aborder la recherche et la mise au point de la ou des solutions de confortement.

- Ce processus passe par des étapes incontournables qui doivent être respecté et qui sont développés dans les différents guides et règlements. Les principales étapes sont rappelées ci-dessous :

1. La détection des dégradations ;
2. L'auscultation – le diagnostic – le pronostic ;
3. L'établissement du projet de réparation et/ou de renforcement ;
4. La mise en sécurité de l'ouvrage ;
5. La mise en œuvre de la réparation et/ou du renforcement ;
6. Les contrôles et vérifications des résultats ;
7. La surveillance de la structure réparée et/ou renforcée

4.2.1 Diagnostic, pronostic :

Cette étape est essentielle, elle permet d'identifier les désordres et d'estimer les causes, la qualité du diagnostic représente une grande importance pour la réussite ou l'échec de la réparation et sa durabilité.

Parfois, en l'absence d'un document qui parle de l'ouvrage, il faut faire un sondage pour reconstituer la structure en faisant des prélèvements et de connaître la nature, la géométrie et les caractéristiques des différentes maçonneries, ces études de diagnostic et d'investigation sont à réaliser pendant les études préalables pour aboutir au projet de renforcement.

4.2.2 Le projet de réparation et/ou renforcement :

Le projet de renforcement doit respecter une démarche dictée par la réglementation et les normes françaises, ces règles techniques peuvent se présenter sous plusieurs formes : lois, normes, recommandations, guides...etc. une méthodologie qui permet d'aboutir à un résultat voulu.

4.3 Les références réglementaires :

La réglementation est constituée de l'ensemble des textes (lois, décrets, arrêtés) édictés par la puissance publique et d'application obligatoire. Les règles techniques permettent la mise en œuvre par les professionnels des mesures de conception, de construction ou de contrôle assurant le respect de la réglementation. De façon générale, l'application des règles techniques est de nature contractuelle, mais, en matière de protection parasismique, elle est en partie visée par des textes réglementaires.

4.3.1 Les règles techniques :

L'opération de renforcement notamment le renforcement parasismique, en France s'appuie sur des textes réglementaires à plusieurs échelles :

- 1- la loi du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs, qui prescrit l'application de règles parasismiques aux bâtiments, équipements et installations nouveaux ;
- 2- Les Eurocodes constituent un ensemble de normes complètes pour l'évaluation et pour le renforcement ; dans ce cadre, la partie 3 de l'Eurocode, permet de définir des exigences de performance et les critères de conformité associés ;

- Donne une méthode pour la collecte des informations qui permet l'évaluation de la structure.
- décrit les procédures normalisées pour l'analyse et les vérifications de sécurité pour l'évaluation de la structure.
- donne des critères pour avoir les décisions concernant l'intervention sur la structure.
- décrit la procédure de conception du renforcement de la structure.

Dans cette norme, il a été fait le choix de définir trois états limites correspondant chacun à un objectif de comportement :

- **État limite de quasi effondrement (NC).** La structure est fortement endommagée, avec une résistance et une rigidité latérale résiduelle faible, bien que les éléments verticaux demeurent capables de supporter des charges verticales.
- **État limite de dommages significatifs (SD).** La structure est endommagée de manière significative, avec une certaine résistance et une certaine rigidité latérales résiduelles, les éléments verticaux étant capables de supporter des charges verticales.
- **État limite de limitation des dommages (DL).** La structure n'est que faiblement endommagée, ses éléments structuraux n'ayant pas subi d'incursion post-élastique significative et conservant leurs propriétés de résistance et de rigidité.

3- Eurocode 6 : Calcul des ouvrages en maçonnerie de petits éléments

4- NF DTU 20.1 P4 : norme française ; travaux de bâtiment de petits éléments-parois et murs :

Il traite les différents types d'ouvrages en maçonnerie citant comme exemple les ouvrages en béton associé à la maçonnerie, les ouvrages en maçonnerie porteuse...etc. où il précise des règles de conception, dimensionnement et de réalisation des différentes parties (chainage, contreventement, armatures...etc.)

5- **Des normes relatives aux différentes actions de renforcements tels que :**

- **EN 1998-3 C3.1 : la méthode linéaire d'analyse de la structure**
- **EN 1998-3 C4.2 : la limitation du cisaillement**
- **EN 1998-3 C5.1.1 : réparation des fissures.**
- **EN 1998-3 C5.1.2 : intersection des murs.**
- **EN 1998-3 C5.1.4 et 5 : chainage et précontrainte**

4.3.2 Les Guides Techniques :

4.3.2.1 Le guide STRESS : FABEM ; réparation et renforcement des maçonneries :¹²

Ce guide technique est destiné aux entrepreneurs qui réalisent les travaux de renforcement de tout type de construction (bâtiment, ponts, mur de soutènement, aqueduc....etc.) composé de 4 guides qui sont :

- 1- FABEM 6.1 : Généralité et préparation des travaux.
- 2- FABEM 6.2 : Réparation on structurelle.
- 3- FABEM 6.3 : Réparation et renforcement structuraux.
- 4- FABEM 6.4 : Annexes.

Ils s'adressent à tous les intervenants dans l'opération on l'occurrence le prescripteur (maitre d'ouvrage), le maitre d'œuvre et le contrôleur.

Ces guides donnent une importance capitale aux études préliminaires de diagnostic et d'investigation pour mieux cerner le problème à traiter et pour aboutir à des résultats du confortement efficaces.

¹²FABEM, 2011. GUIDE STRRES. *Réparation et renforcement des maçonneries,*

4.3.2.2 Guide construction parasismique ; Diagnostic et renforcement du bâti vis-à-vis du séisme, Groupe de travail AFPS-CSTB :

Dans un objectif de faciliter les démarches de renforcement de la part d'un maître d'ouvrage, et permettre de choisir le niveau de renforcement adéquat pour le bâtiment, l'association française de génie parasismique (AFPS) avec le centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ont rédigés ce guide qui explique la démarche et la méthodologie de confortement qui se base sur un nombre d'éléments traité dans les chapitres de ce guide

La démarche de renforcement est suffisamment détaillée et expliquée, en se référant sur des textes réglementaires

Le guide met l'accent sur l'étape de la collecte des données comme une étape décisive pour évaluer la capacité des structures, et l'importance de prendre en charge des contextes général des techniques constructives de l'époque.

Il fait aussi un état de la diversité des méthodes de diagnostic et leurs objectifs, traitant aussi le choix de la stratégie de renforcement adaptée au projet, et les solutions courantes.

Le guide propose aussi une annexe qui regroupe un ensemble d'exemples traités, où on trouve l'application d'un modèle de rapport de visite et des exemples de diagnostic sur le bâtiment pour faciliter la compréhension et l'utilisation de ce guide.¹³

4.3.2.3 Guide RehabiMed ; architecture traditionnelle méditerranéenne

Un document qui vise à renforcer l'activité de réhabilitation et de réparation, en développant la démarche adopté pour l'opération

Le guide procède par la connaissance de matériaux et des techniques de construction, ensuite une explication de la réflexion d'un projet de réhabilitation en citant les principales étapes de l'opération, et une démonstration de la démarche à travers des exemples de réparation.¹⁴

¹³ Groupe AFPS-CSTB, 2013. Diagnostic et renforcement du bâti existant vis-à-vis du séisme.

¹⁴X, C., 2005. Méthode RéhabiMed.

5 EXEMPLES DE PROJETS DE RENFORCEMENT

Dans ce chapitre, nous allons étudier deux exemples de projets de de renforcement, un exemple Français, et un autre Algérien dans le but de faire ressortir la méthodologie de renforcement de chaque exemple, pour faire par la suite une étude comparative, afin d'arriver à un schéma global qui expliquera la démarche d'une opération de renforcement.

5.1 Le renforcement en France

L'exemple suivant représente un modèle où ils ont appliqués la démarche citée dans les guides techniques élaboré par le CSTB,

5.1.1 Présentation de l'ouvrage :¹⁵

La construction étudiée est un bâtiment d'habitation collective en maçonnerie de trois étages, un type des maisons qui se trouve dans des centres villes anciens du sud-est de la France.



Figure 19 : Vue de la façade principale du bâtiment

Le bâtiment se développe en 3 niveaux, construit en murs porteurs en maçonnerie non chaînée, avec des planchers en bois, les épaisseurs des murs varient entre 40 et 75 cm et ne continuent pas sur toute la hauteur des étages.

Tableau 5 : Dimensions principales de la structure

Longueur	~30 m
Largeur	~20 m
Niveau RDC	+ 0 m
Niveau plancher	R+1 + 3 m
Niveau plancher	R+2 + 6 m
Niveau toiture	+ 9 m

¹⁵ Groupe AFPS-CSTB, 2013. Diagnostic et renforcement du bâti existant vis-à-vis du séisme.

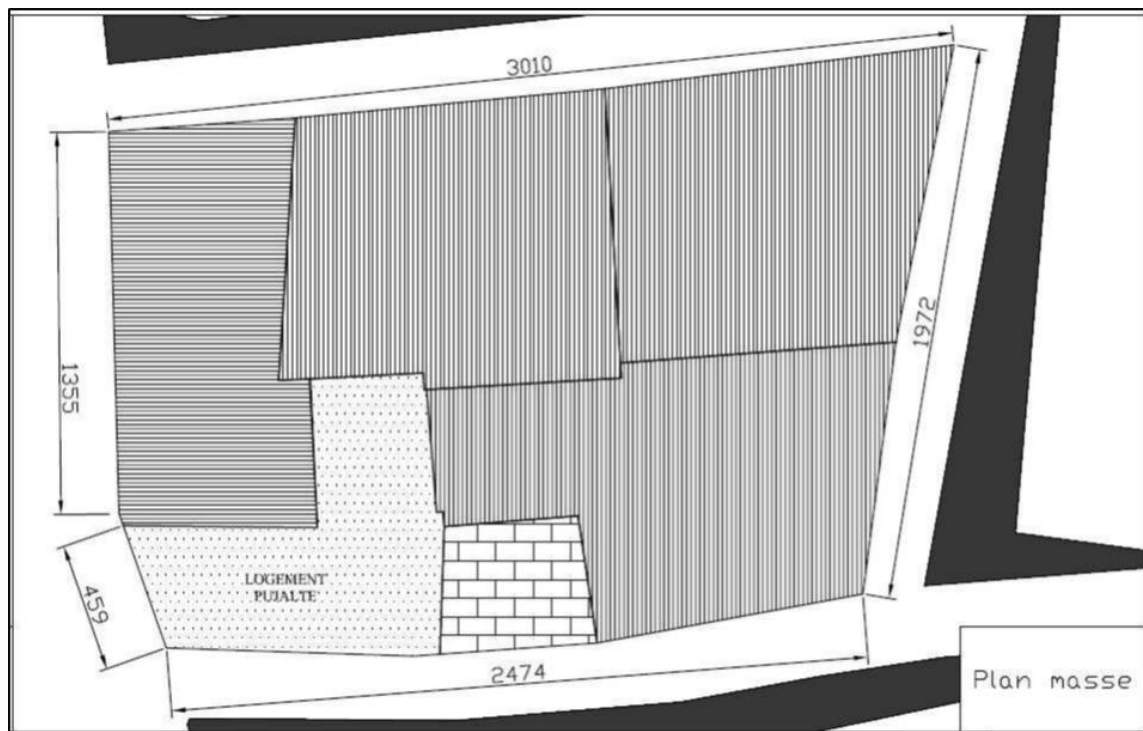


Figure 20 : Plan de masse

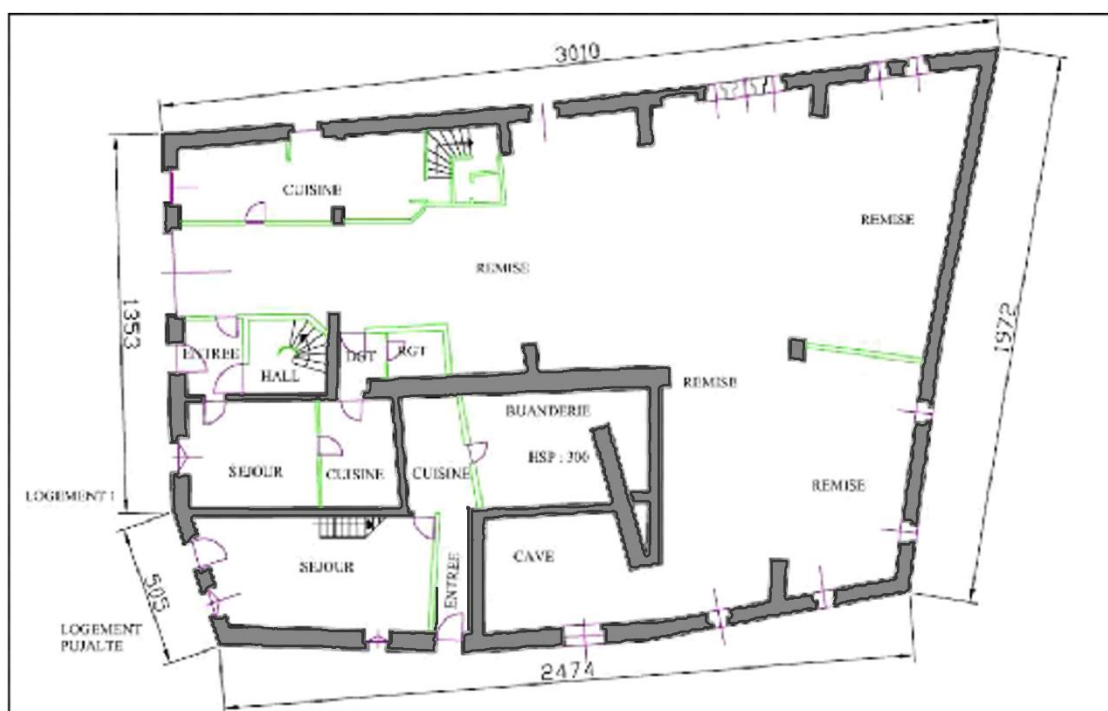


Figure 21 : Plan du REZ de chaussée

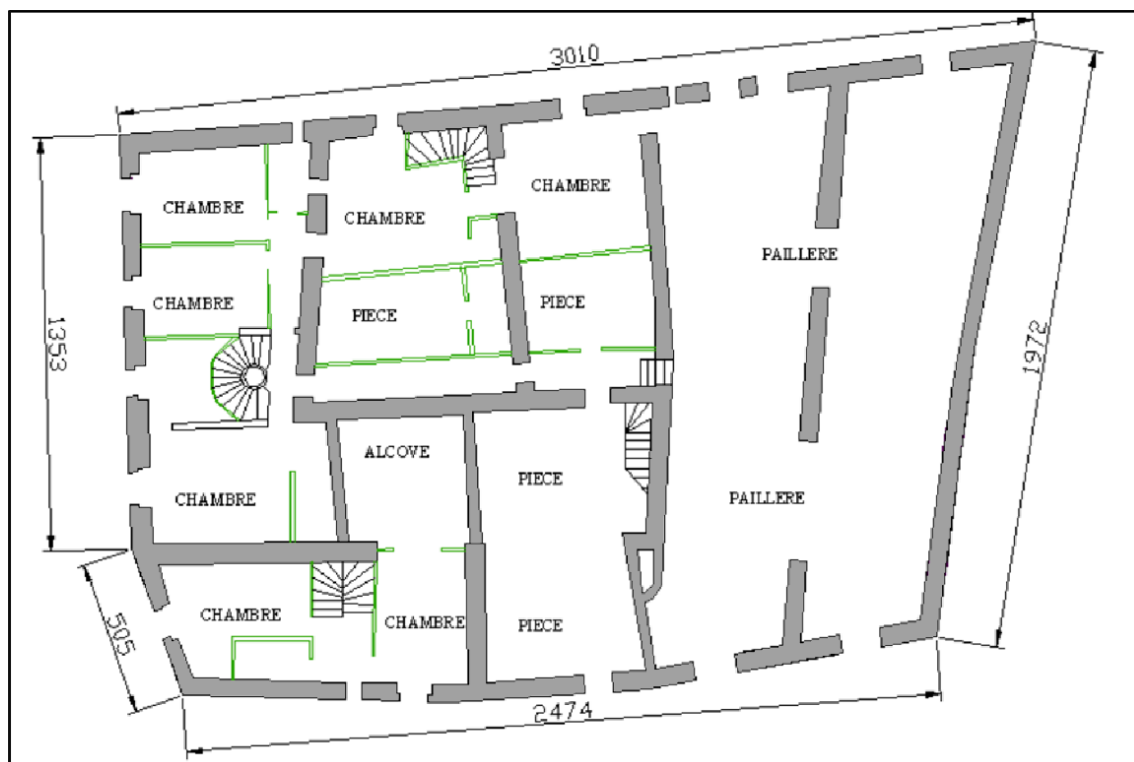


Figure 22 : Plan du premier étage

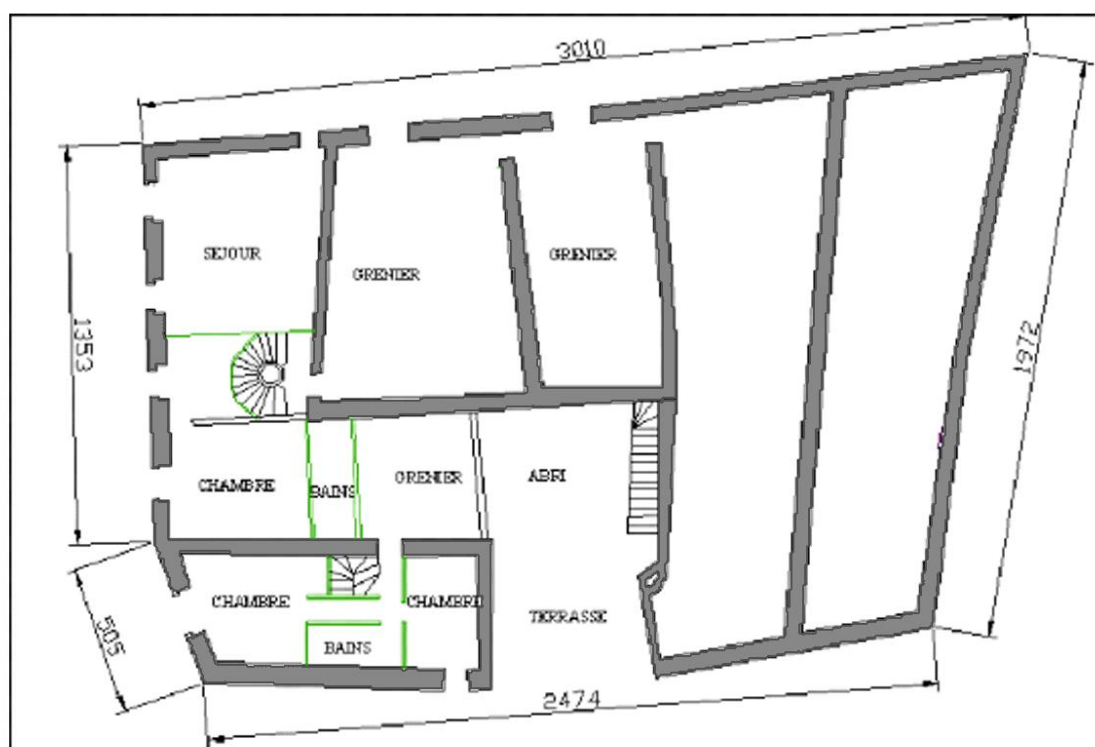


Figure 23 : Plan du deuxième étage

5.1.2 La Démarche suivie pour le renforcement

5.1.2.1 visite du site :

Une visite préliminaire du bâtiment est effectuée. Le maître d'ouvrage a fait établir des plans de l'existant ce qui facilite les constatations sur la structure. Dans le cas contraire, il aurait été de toute façon nécessaire d'établir des états des lieux et des plans précis de l'ouvrage. Un rapport établi durant la visite expliqué dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Rapport de visite de l'ouvrage

Rapport de visite en vue de l'évaluation sismique d'un bâtiment		
Visite préliminaire <input type="checkbox"/>	Visite détaillée <input type="checkbox"/>	Inspecteur 1 : nom de l'inspecteur
Date de la visite : jj/mm/aaa		Inspecteur 2 : nom de l'inspecteur
Informations générales		
Adresse : N°X Rue Y Code postal Commune		
Propriétaire : Deux propriétaires, M. Mme X, M. Mme Y		
Nombre d'occupants : 10 occupants		
Utilisation : habitation		
Catégorie d'importance du bâtiment : II		
Type de contreventement (murs, portiques ...) : murs		
Matériaux (acier, béton armé, bois, maçonnerie ...) : maçonnerie de pierres		
Normes applicables : aucune		
Informations générales		

5.1.2.2 Etude des caractéristiques de l'ouvrage :

Une étude est établie concernant les caractéristiques de l'ouvrage à savoir les caractéristiques géométriques (hauteur, longueur, largeur, surfaceetc.), les caractéristiques des matériaux (masse volumique, résistance....etc.) et les différents chargements qui subit la construction.

Dans cette phase, une vérification de la conformité de la construction aux normes dictées dans la réglementation, en se basant sur un ensemble de critères qui sont les suivants :

- Les caractéristiques géométriques de l'ouvrage.
- Caractéristiques des matériaux utilisés.
- Les différents chargements que subit l'ouvrage.

- Les critères de régularité (en plan et en élévation)

En prenant l'exemple des critères de régularité :

- Régularité en plan :

On doit vérifier les conditions suivantes :

Pour les rayons de torsion : $r_x \geq l_s$ Pour les excentricités : $\begin{cases} e_{0x} \leq 0.3r_x \\ e_{0y} \leq 0.3r_y \end{cases}$

Tableau 7 : les caractéristiques mécaniques de l'ouvrage

Élément de calcul	Symbole	Valeur			Unité	Vérification		
		RdC	R+1	R+2		RdC	R+1	R+2
Centre de torsion	x_c	19,74	18,56	18,96	m			
	y_c	10,01	9,92	9,96	m			
Rayons de torsion	r_x	12,76	10,53	10,52	m			
	r_y	9,91	12,33	11,53	m			
Centre de gravité	x_G	14,145	14,145	14,145	m			
	y_G	10,446	10,446	10,446	m			
Excentricité	e_{0x}	5,59	4,42	4,82	m	NON	NON	NON
	e_{0y}	0,43	0,53	0,49	m	OK	OK	OK
Inertie du plancher	I_x	64658	64658	64658	m ⁴			
	I_y	122330	122330	122330	m ⁴			
$I_p = I_x + I_y$	I_p	186988	186988	186988	m ⁴			
Rayon de giration massique du plancher $l_s = \sqrt{I_p / S}$	l_s	19,34	19,34	19,34	m	NON	NON	NON

5.1.2.3 Evaluation préliminaire

Elle consiste à dégager le facteur de conformité du bâtiment, en étudiant les différentes charges que subit l'ouvrage et de vérifier sa résistance, pour décider de l'intervention et la méthode de renforcement.

Le schéma ci- dessous représente la vérification de la résistance d'un mur en calculant la descente de charges dont :

$P_{inf,j} = \text{Poids mur } j + \text{charges dues au plancher} + \text{charge cumulée d'étages supérieurs sur mur } j$
charge cumulée d'étages supérieurs sur mur $j = \frac{L_{inf,j}}{\sum L_{inf,j}} X \sum P_{sup,i}$

Les formules utilisées dans le calcul sont les suivantes :

- Le coefficient d'élanement géométrique : $\varphi = 1 - 2 \cdot e/t$
- La résistance caractéristique au cisaillement $f_{vk} = \min(0,065 f_b ; f_{vk0} + 0,4 \sigma_d)$

$$\text{avec } \sigma_d = \frac{NEd}{L.t}$$

La longueur de la contrainte de compression est calculée en fonction de l'état de contrainte sous le mur : $l_c = l \cdot \sigma / (\sigma^- - \sigma^+)$

Facteur de résistance minimale : $FR_{min} = \min(VR_d/VE_d)$

Où :

φ : Le coefficient d'élanement géométrique

e : excentricité hors plan du mur

t : épaisseur du mur

f_{vk} : la contrainte résistante au cisaillement

N_{ED} : la charge normale sur le mur

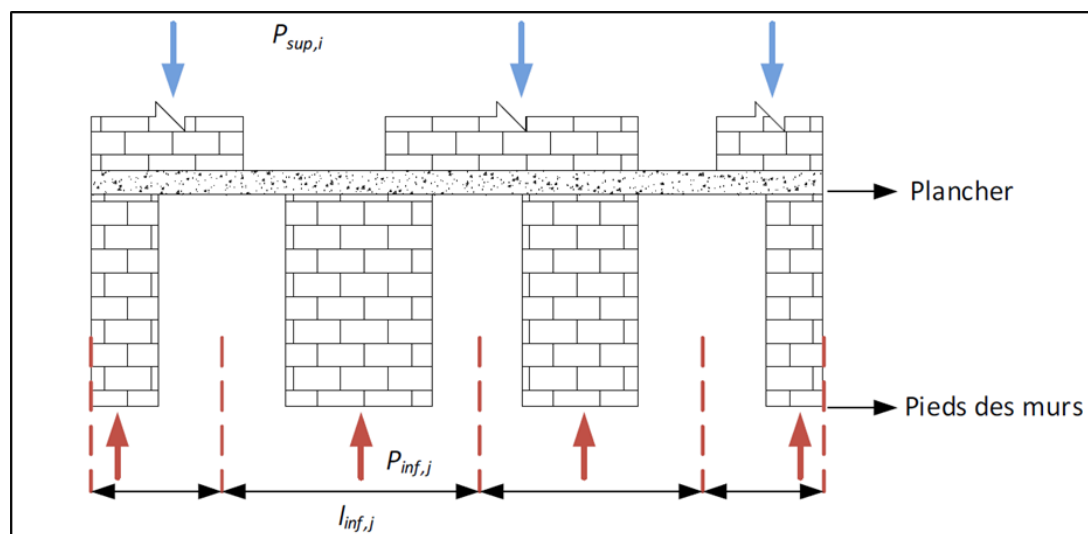


Figure 24 : schéma de descente des charges des murs

Une étude faite de la même manière sur toutes les composantes de la structure de l'ouvrage pour détecter les points vulnérables en cherchant le facteur de résistance le plus faible dans la structure et qui sert à déterminer le facteur de conformité avec lequel on décide de renforcer ou non.

Dans cet exemple, et à l'aide d'un algorithme (figure 20), ils ont déterminé le facteur de conformité du bâtiment $\alpha = 0.53$, une valeur sur laquelle ils ont décidé d'adopter un renforcement minimal qui consiste à rétablir la fonction du diaphragme des planchers, avec augmentation de la résistance des murs qui portent le plancher, donc solution économique est proposé est d'ajouter une ou deux couches du béton sur les deux faces du mur.

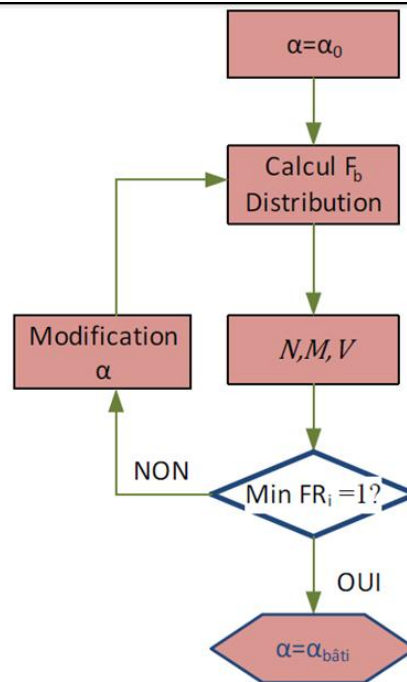


Figure 25 : Algorithme pour déterminer le facteur de conformité du bâti

5.1.2.4 La conception de l'intervention sur la structure :

5.1.2.4.1 Avec la méthode simple :

L'intervention sur la structure est accompagnée par un travail de simulation et de calcul pour calculer les facteurs de performance et de conformité de l'ouvrage à savoir la rigidité et la résistance en adoptant des méthodes de calcul et des formules dictées dans la réglementation.

La stratégie de renforcement est de procéder à un renforcement des murs les plus faibles qui ont la plus petite valeur du facteur de conformité (FR), puis vérifier et recalculer la structure et actualiser le facteur de conformité, mais cette méthode ne donne pas forcément des bons résultats. Car ces derniers sont obtenus par un calcul basé sur une supposition, où on fixe une valeur du facteur de conformité sur laquelle on va décider du renforcement.

Tableau 8 : les étapes de renforcement

Étape	Type de renforcement	Élément renforcé	Étage	Épaisseur béton (cm)	FR _{min}	FR _i ^r
1	Remplacement du plancher	Plancher	3 étages	10	0,681	
2	Ajout des couches de béton	Y8	RdC	4	0,863	1,726
3	Ajout des couches de béton	Y3	RdC	4	0,852	1,398
4	Ajout des couches de béton	X6	RdC	4	0,923	1,765
5	Ajout des couches de béton	X2	RdC	4	1,087	1,765
6	Ajout des couches de béton	X2	RdC	6	1,168	1,765
7	Ajout des couches de béton	X2	RdC	8	1,206	1,765
8	Ajout des couches de béton	Y3	RdC	6	1,219	1,398
9	Ajout des couches de béton	X15	RdC	4	1,237	1,765
10	Ajout des couches de béton	X1	R+1	4	1,25	1,608

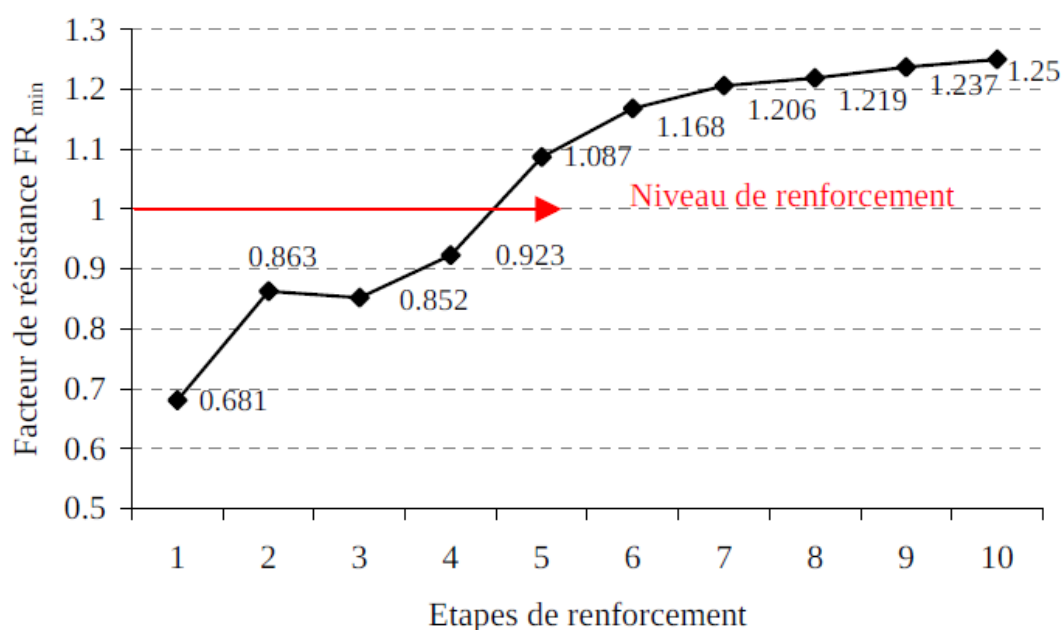


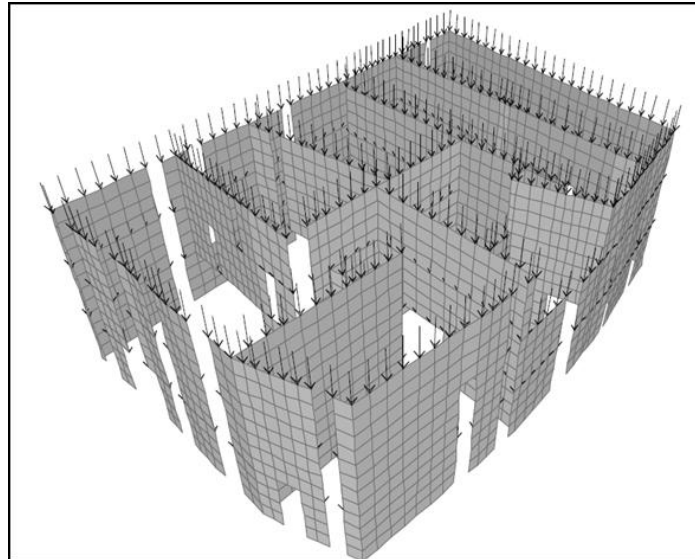
Figure 26 : Facteur de conformité obtenu

Commentaire

Le calcul de facteur de conformité nous a renseignés sur les parties vulnérable dans la construction, et lesquelles on doit renforcer, mais la précision reste non atteinte car le calcul se base sur des hypothèses, où la supposition du facteur de conformité référentiel. Par ailleurs, l'opération de renforcement peut ne pas atteindre les objectifs voulus.

5.1.2.4.2 Avec la méthode par simulation 3D :

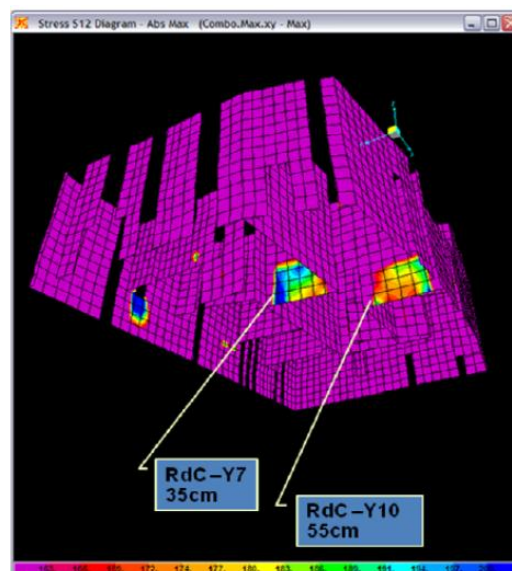
La méthode consiste à avoir un modèle numérique qui permet des résultats précis, une simulation de l'ouvrage à l'aide d'un logiciel spécialisé (dans cet exemple SAP2000), où on matérialise les éléments verticaux et en représente les éléments horizontaux par des charges.



**Figure 27: Modélisation de l'ouvrage et charges dues aux planchers
(Groupe AFPS-CSTB)**

Le principe de calcul se base sur les facteurs de la résistance qui sont calculé selon le rapport entre la contrainte tangentielle et la contrainte résistante dans chaque mur. Un système de mode est utilisé en choisissant le nombre pour que la somme des masses soit supérieure à 90% de la masse de la structure

La modélisation numérique permet d'avoir des résultats précis et permet aussi de valider les résultats de la méthode simplifiée, les résultats numérique donnent un champ de contrainte représenté en gamme de couleurs sur les murs d'où la représentation des couleurs se fait selon les endroits les plus faibles au niveau des murs (figure28)



**Figure 28 : Etat de contrainte tangentielle dans le mur avant et après renforcement
(Groupe AFPS-CSTB)**

5.1.2.5 Intervention sur la structure- renforcement :

Après avoir fait l'analyse préliminaire et la décision de la méthode de renforcement, l'opération de renforcement connaît plusieurs techniques qui diffèrent selon les utiles, la démarche et les matériaux utilisés

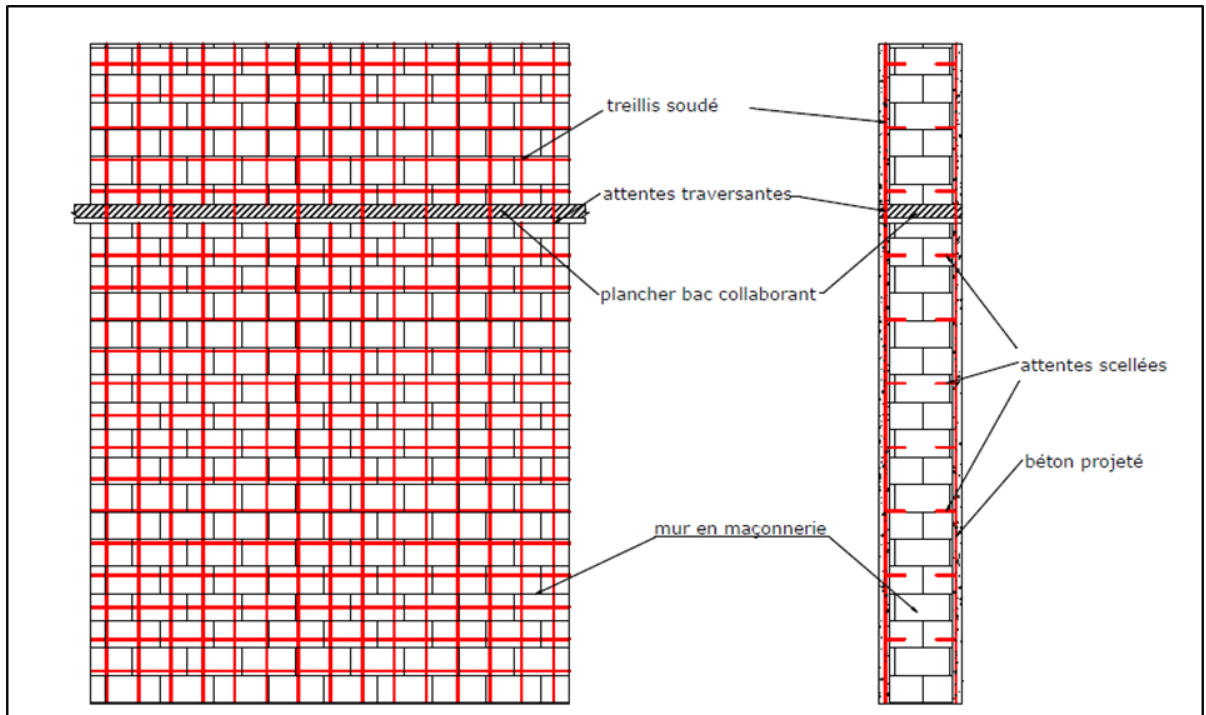


Figure 29 : Illustration d'un mur à renforcer

Cette méthode de renforcement a pour objectif d'améliorer la ductilité de la structure par la consolidation des zones critiques, avec un empêchement du flambement des murs par les cadres, ainsi augmenter la résistance de la structure par le chemisage qui augmente la section des murs.

Dans cette opération il faut prendre en compte la distribution des efforts dus au renforcement et vérifier le taux de travail des fondations et leur résistance, en assurant aussi la continuité de ferrailage vertical ajouté au niveau des niveaux inférieurs.

5.2 Schéma de la démarche de renforcement

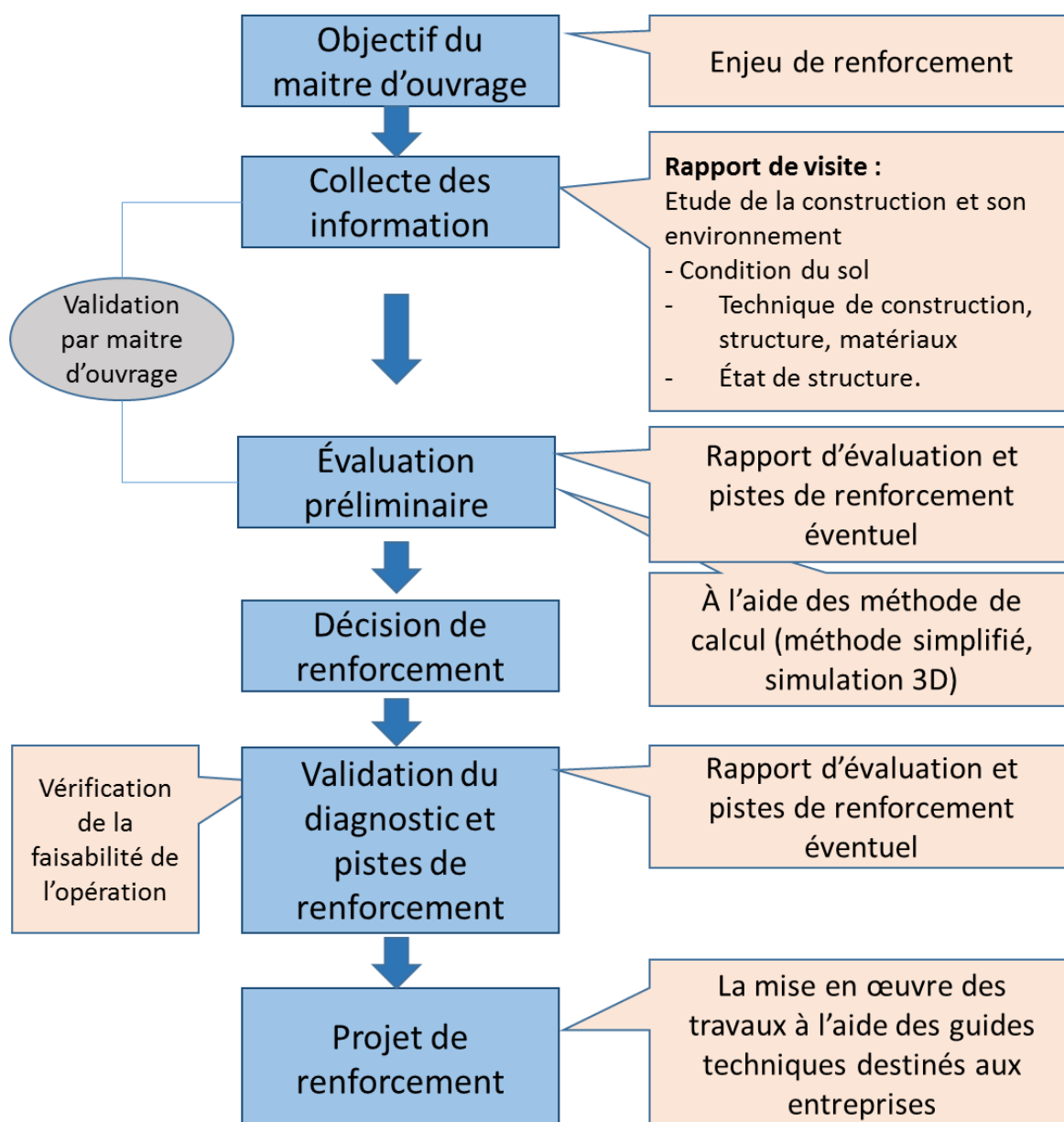


Figure 30- schéma illustre la démarche de renforcement (Auteur, 2015)

5.3 Cas du renforcement des structures en Algérie :

4.2.1 Le musée du BARDO Alger ¹⁶

5.3.1 Introduction

L'opération de renforcement en Algérie reste méconnue et très récente, ce qui confirme l'absence ou la rareté des projets totalement renforcés, et présente un manque d'une démarche claire, ce qui fait que les projets de renforcement ne se ressemblent plus.

Cet exemple représente un des cas d'utilisation d'une démarche de renforcement d'une partie de l'ouvrage en se basant sur le minimum des outils et des procédures, c'est parmi les rares exemples qui ont été publiés dans des ouvrages

5.3.2 Présentation de l'ouvrage

5.3.2.1 Situation géographique

La villa du Bardo fait partie de grand ensemble appelé le domaine de Mustapha, sa situation permet une vue sur la baie d'Alger et sur l'ensemble des domaines alentour. Le musée est situé au haut du principal boulevard du centre d'Alger, le boulevard Didouche Mourad ex-rue Michel- dominant Ghemoul et l'hôpital Mustapha Pacha

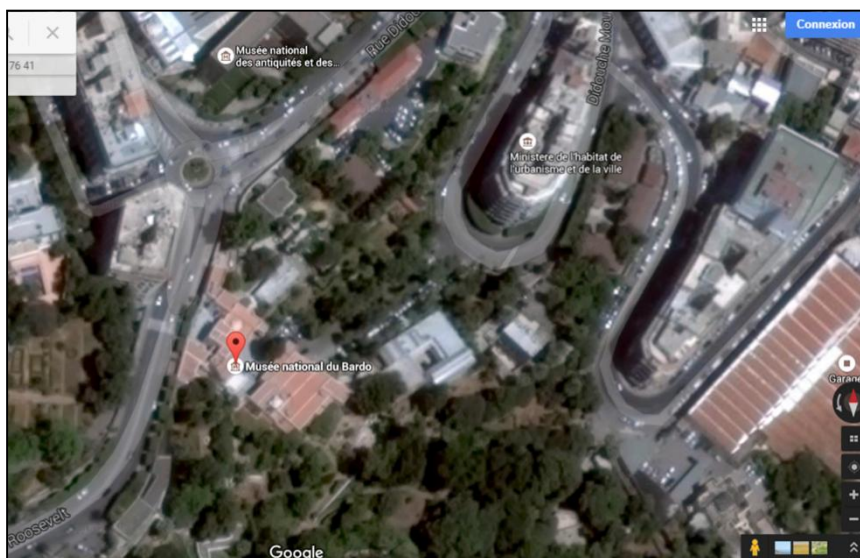


Figure 31- Situation du musée du BARDO

¹⁶ HAMEG, A E hakim; HAMEG BENTELLIS, S, 2010. Monument du BARDO Chronique d'une restauratio

5.3.2.2 Situation historique :

Selon l'étude historique faite par LUCIEN GOLVIN intitulée Palais et demeures d'Alger à la période ottomane (Edisud, Aix-en-Provence, 1988) le palais a été construit au XVIIIe siècle par un notable tunisien nommé Mustapha Ben Omar, comme un palais de montagne des beys, mais dont l'origine remonte aux hafsides.

En 1830 le palais fut affecté au général Exelmans qui devait le céder à Ali Bey Agha de Biskra qui a construit dans les parties basses de vastes communs.

En 1879, Ali Bey vendit la villa à Pierre Joret dans des circonstances qui demeurent encore inconnues. Et en 1926 le palais fut cédé aux domaines par Mme Frémont sœur de Pierre Joret quelques temps après devint le musée des ethnographies et de préhistoire¹⁷, après la construction d'une extension en contrebas du jardin. Le musée national du Bardo sera classé monument historique le 1er septembre en 1985.

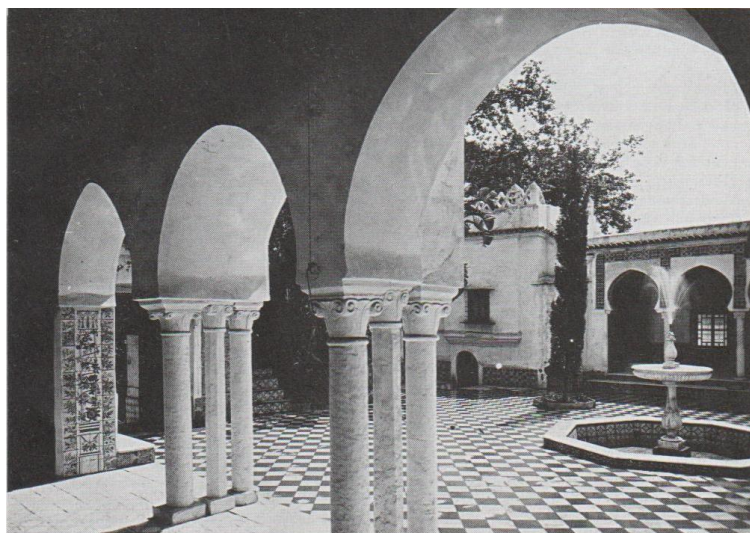


Figure 32- le Bardo, le pavillon de la favorite (HAMEG 2010)

5.3.2.3 Aspect architectural :

Le musée du Bardo est composé de deux entités, une construction traditionnelle qui est le palais, et une construction colonial réalisé par Pierre Joret en 1879.

La partie traditionnelle se caractérise par des décors architecturaux en marbre, pierre, céramique, plâtre sculpté, bois ouvragé et de ferronnerie.

L'organisation du musée suit la topographie de site ce qui fait qu'il n'a pas une division claire, le palais constituer de plusieurs niveaux de plateformes

¹⁷ Lucien Golvin ; 1988, Palais et demeures D'Alger à la période ottomane, ed INAS ;Aix-en-Provence,

La cour représente l'espace le plus important qui assure la fonction de transition, convivialité, et de convergence, on y accède par une voûte à anse de panier

La cours donne sur la chambre de favorite est bordée de trois galeries riche en décoration en faïence, et le diwan qui représente un salon en plein air surélevé de la cour et couvert par une voûte d'arrête.

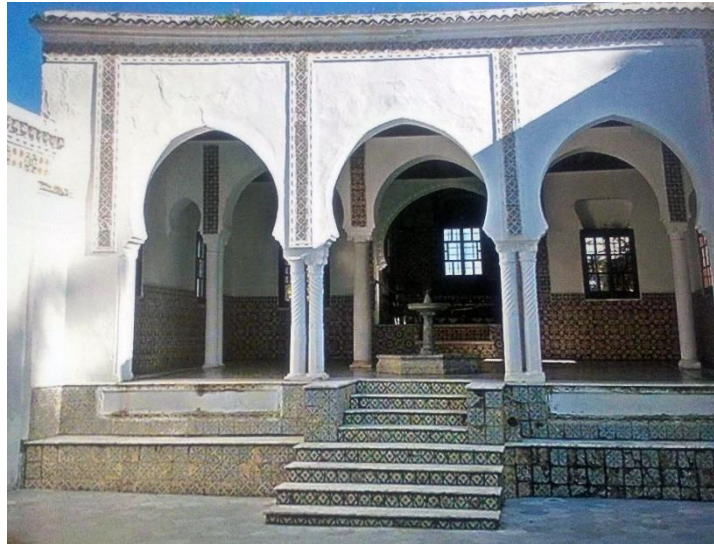


Figure 33- le Bardo, le diwan (HAMEG 2010)

5.3.2.4 Système constructif

Le musée est doté de plusieurs systèmes constructifs qui varient selon l'endroit et la période de réalisation.

Le noyau originel datant de XVIII^e siècle est doté d'un système de murs porteurs en moellon de pierres hourdées à la terre argileuse mélangé à la chaux, c'est les murs utilisés dans les maisons du fahs.

Un chaînage utilisé en rondins en bois avec une épaisseur qui varie dégressivement entre 30 et 80 cm, le plancher est constitué de de solives en bois supportant un appareillage en brique creuse.

- La deuxième partie est réalisée des murs de même nature avec des planchers composés en solives métalliques encastés dans l'épaisseur du mur de type IPE 16 → 20 cm avec des voutains en brique creuse.
- Les fondations sont forme pyramidale réalisés en moellon de pierres.

5.3.3 La méthodologie de l'opération

5.3.3.1 Le relevé

Une étude préalable de l'ouvrage procédée d'abord par une recherche historiographique, à l'aide des documents littéraires et d'archives, ensuite un relevé métrique et architectural de l'état des lieux de l'édifice.

- Un relevé scientifique s'est appuyé sur la connaissance des techniques de production et de la construction (matériaux, système constructif, styles artistiques)

Le relevé permet de déduire et de faire des interprétations des renseignements sur l'état de la conservation : gondolement des planchers, faux plomb des murs, fissurations

Le relevé représente aussi un moyen pour le diagnostic des déformations et des dégradations qui mènent à la programmation de l'évaluation de la stabilité de la structure.

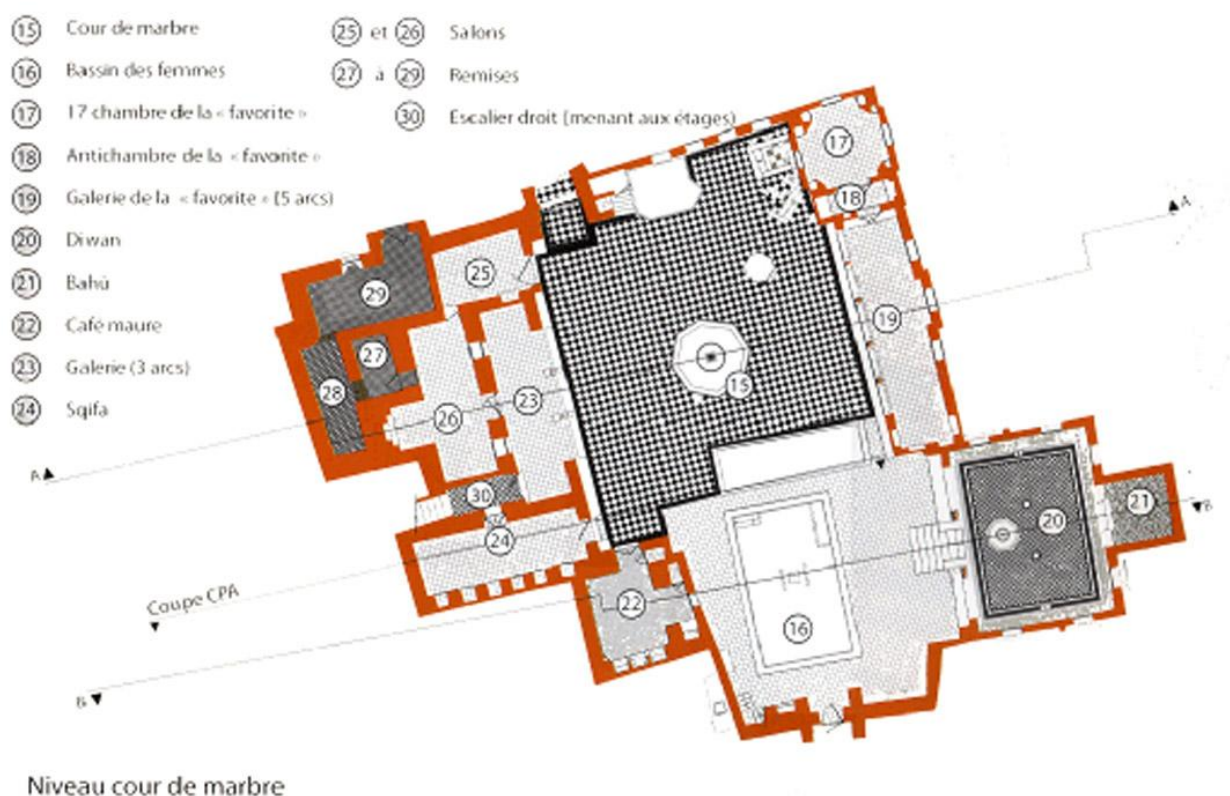


Figure 34- Plan du musée (HAMEG.A ; 2010)



Figure 35- Façade du musée (HAMEG.A ; 2010)

5.3.3.2 Les mesures d'urgence :

C'est la première étape sur le terrain, elle se fait pour maintenir les structures menacées d'effondrement pour stopper les désordres, en procédant par l'étalement en bois ou en métal avec des travaux rigoureux

Pour cet exemple les travaux d'étalement sont élaborés pour les voûtes qui sont menacées d'effondrement à cause des fissures.



Figure 36- dépôt de l'étanchéité (HAMEG.A ; 2010)



Figure 37- étaieement de la galerie (HAMEG.A ; 2010)

5.3.3.3 Les travaux de renforcement :

Les principaux procédés de réparation ou de renforcement correspondent aux causes de dégradation, et le choix de la méthode se fait en tenant compte de la structure à résister, et les moyens à mettre en œuvre.

Pour cela, une étude analytique des risques est intégrée pour vérifier l'impact du renforcement sur la structure, pour un objectif principal est de rendre la stabilité à l'ouvrage et de privilégier le retour des structures à leurs état d'origine.

- Les travaux entrepris au niveau de l'ouvrage, sont consacré à un remplacement des parties pourris et réparation de quelques fissures :
 - Les poutres en bois supportant les murs et les voûtes et les rondins de thuya sont en majorité désagrégés et ils ont créés des pertes de substances et ont entraînés des fissures profondes, ce qui nécessite de les remplacer.
 - Le renforcement des éléments de structure dégradé à cause des défauts de mise en œuvre à savoir les fondations qui ont été posé sur une terre argileuse, et l'absence des arrachement entre les murs ce qui cause des fissurations.

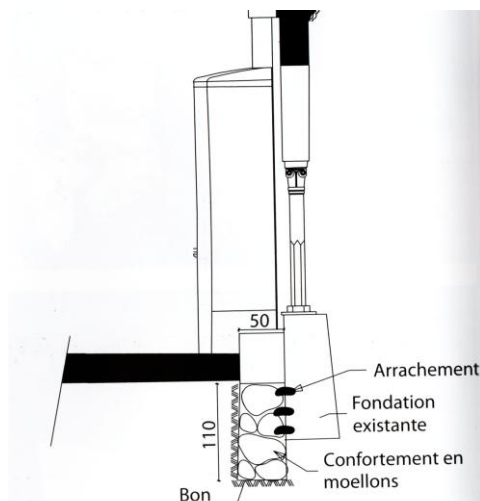


Figure 38- réalisation du système de confortement des fondations (HAMEG.A ; 2010)

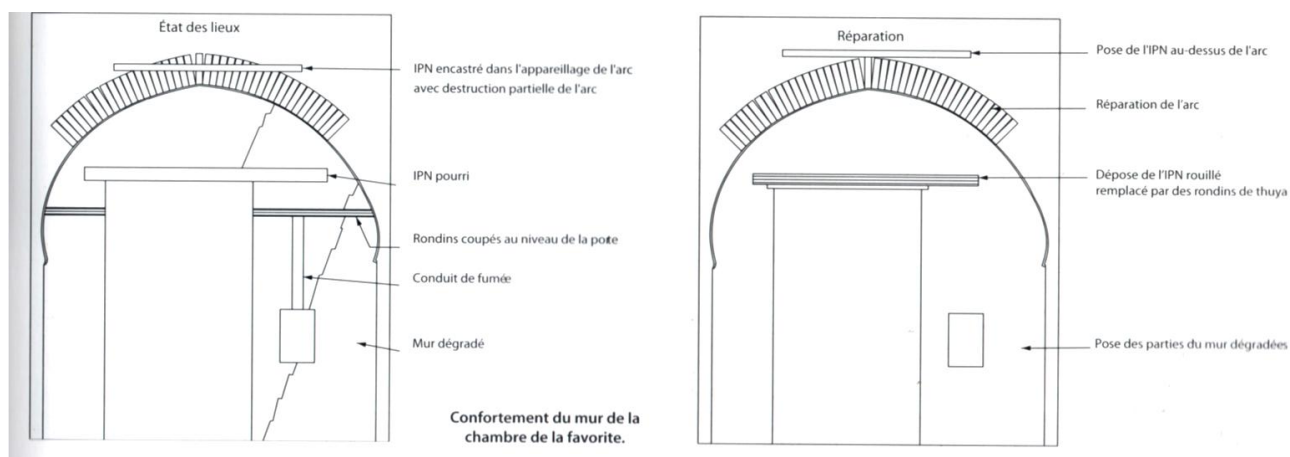


Figure 39- confortement du mur de chambre de la favorite (HAMEG.A ; 2010)

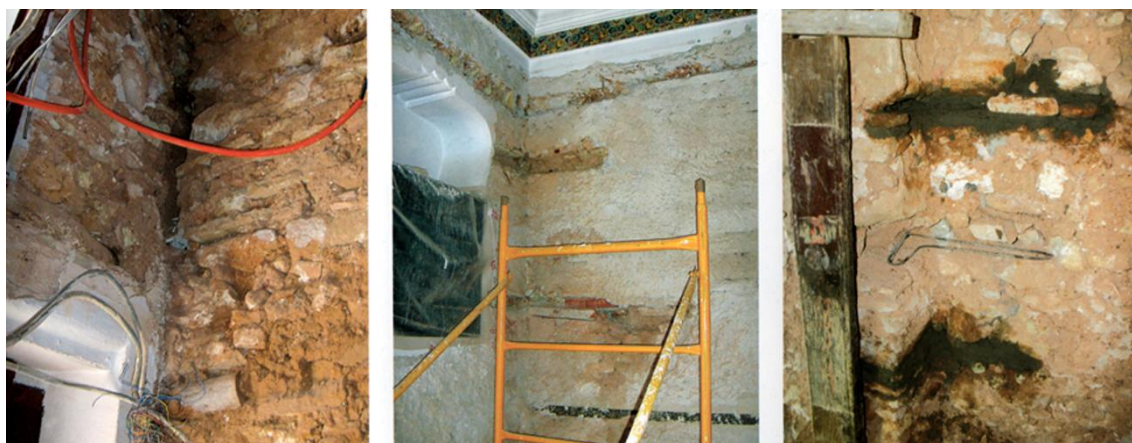


Figure 40- réparation des fissures d'angles des murs (HAMEG.A ; 2010)

5.3.4 Schéma de la démarche de renforcement :

La démarche de renforcement en Algérie reste méconnue, ce qui fait que les travaux de renforcement sont dans la plupart des cas inclus dans les opérations de réhabilitation ou de renforcement. Alors les travaux se font en traitant les cas d'une façon singulière, en donnant à chaque problème une solution et en suivant une méthodologie selon les connaissances et les outils disponibles.

Le niveau de la réparation et la démarche à adopter, se fait selon le critère de classement de l'édifice,

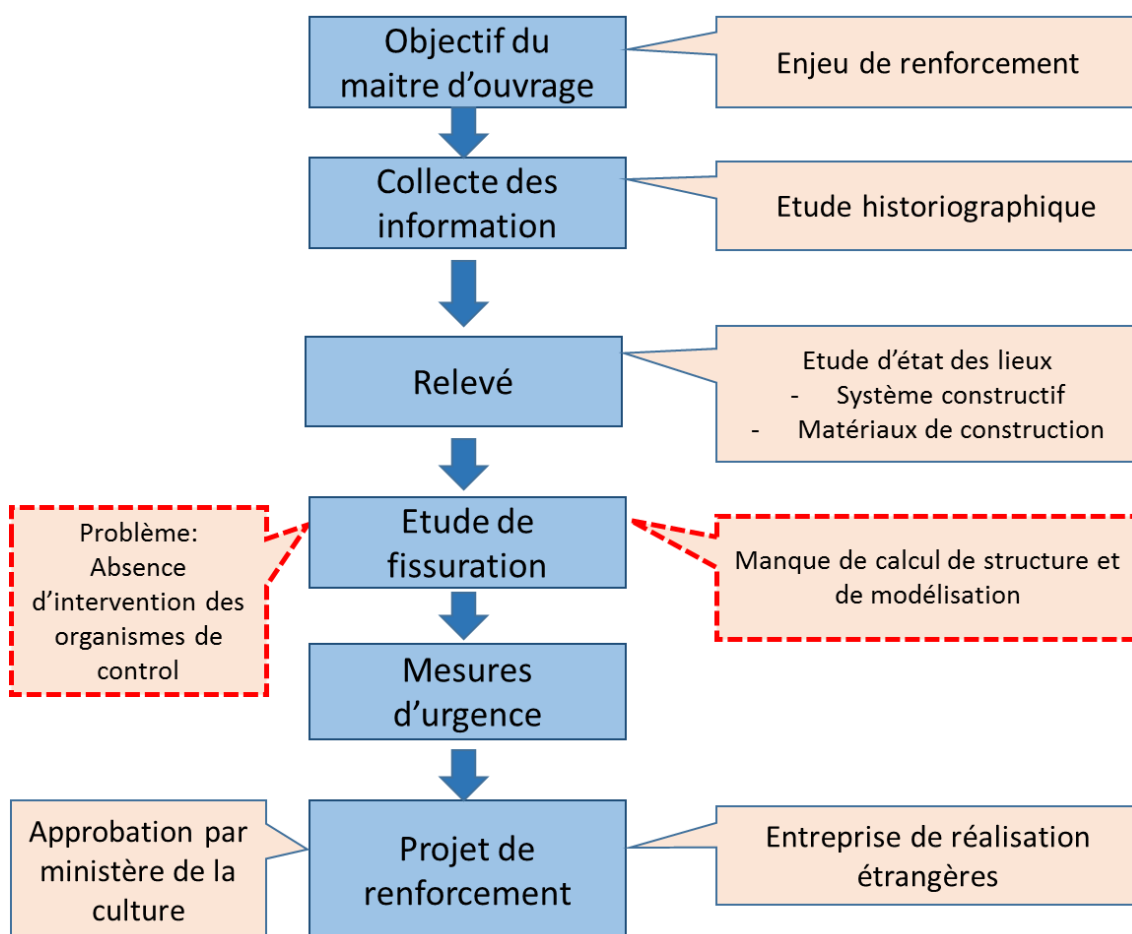


Figure 41- Schéma illustre la démarche de renforcement du musée (Auteur ; 2015)

La démarche de renforcement reste incomplète, où nous constatons l'absence des étapes primordiales telles que le calcul du comportement des structures et la modélisation de l'ouvrage pour la vérification des endroits à renforcer, et l'absence de l'intervention des organismes de contrôles.

5.4 Etude comparative

En faisant l'analyse de ces deux exemples illustrés dans le chapitre précédent, on a pu constater la différence entre les deux démarches de renforcement, de point de vue réglementation, techniques et procédure de mise en œuvre. Où nous avons remarqué dans l'exemple Algérien (musée du Bardo), que les solutions ont été exécutées selon des expériences personnelles sans faire recours à des calculs, contrairement à l'exemple Français qui s'est basé sur des calculs de comportement et des simulations.

Tableau 9 : étude comparative entre les deux exemples (Auteur, 2015)

	Critères	Algérie	France
Réglementation	Règles techniques	RPA 2003 DTR (concerne les nouvelles constructions)	Eurocodes (8.3; 6.1) Normes DTR
	Guide technique	(NON)	Guide CSTB Guide STRESS Guide RéhabiMed
Démarche	Rapport de visite	Oui	Oui
	Étude préliminaire	Etude d'état de fissuration	Etude des désordres et les dégradations
	Calcul des structures	(NON)	- Calcul du comportement - La conformité de la structure
	Modélisation	(NON)	Modélisation par plusieurs logiciels (ex SAP)
	Approbation	Ministère de la culture	Organisme chargé d'approbation
	Contrôle des travaux	Ministère de la culture	Organisme chargé de control
	Mise en œuvre	Main d'œuvre étrangère Absence des guides techniques d'exécution	Main d'œuvre qualifiée Se base sue les guides techniques

5.5 Proposition d'un modèle théorique de la démarche de renforcement :

En se basant sur les études élaborées, et vue des dysfonctionnements constatés, nous avons essayé de proposer un modèle de la démarche de renforcement qui tient compte des règlements et des organismes qui traitent l'opération.

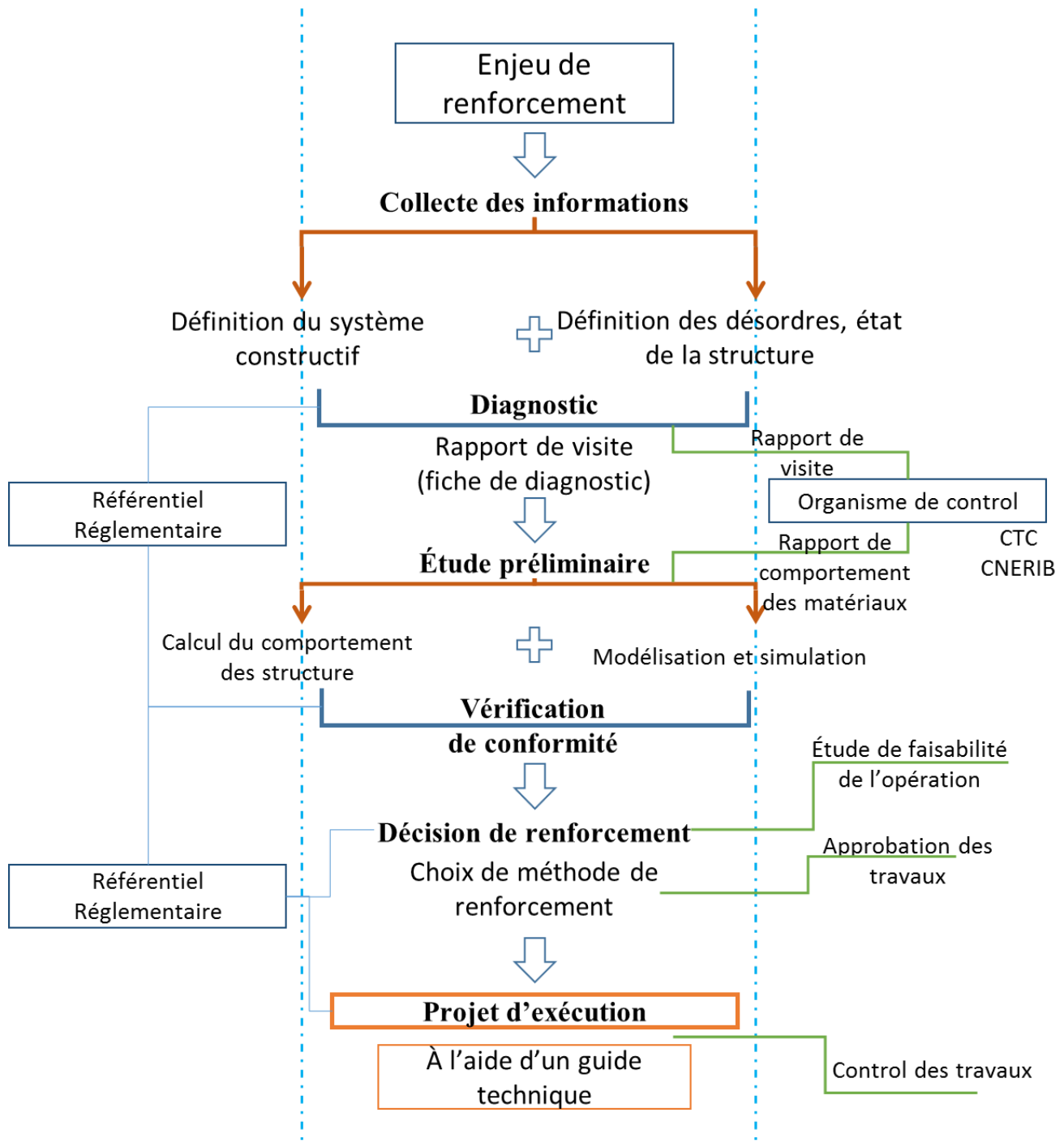


Figure 42- Schéma illustre le modèle de la démarche de renforcement

(Auteur ; 2015)

6 Conclusion générale

La problématique du bâtiment existant et son entretien et réparation représente un enjeu capital, cette opération se caractérise par la complexité, et la nécessité d'une main d'œuvre qualifiée et des moyens matériels spécifiques, ainsi qu'une prise en charge dans toutes les étapes de l'étude jusqu'à la réalisation.

En faisant cette recherche, nous avons constaté que le renforcement ou la réparation des bâtiments en maçonnerie endommagés ou non présente toujours des lacunes et des résultats incertains. Ceci est dû au manque d'expérience chez le maître d'ouvrage, et le manque du savoir-faire chez les entreprises chargés de ces travaux, ajoutant à cela le manque flagrant de la réglementation qui devrait gérer les travaux de renforcement.

Par ailleurs, la réalisation d'un projet de renforcement se réfère généralement aux constructions nouvelles, en sachant que les deux types de constructions ne sont pas identiques de point de vue principe de construction, comportement face aux sollicitations, et matériels et moyens utilisés. Par conséquent, une incompatibilité des solutions proposées avec l'existant, et ce qui peut engendrer des litiges peuvent entre les différents intervenants (maître d'œuvre, entreprise et organisme de contrôle).

Dans une telle situation, tous les désordres et les insuffisances de la démarche vont avoir des répercussions dans tous les domaines, dont la responsabilité va être partagée entre les décideurs et les maîtres d'œuvre, et vu l'absence d'une assurance qui couvre ces travaux, le premier responsable sera éventuellement l'architecte restaurateur.

Pour cela, à travers notre travail de recherche, nous avons fait une récolte des documents réglementaires étrangers qui traitent l'opération de renforcement, et nous avons établi un modèle de la démarche de renforcement qui peut substituer ce manque. En incitant aussi les autorités et les organismes concernés pour prendre en charge cette problématique, par la création des documents réglementaires et de former des cadres spécialistes dans le domaine.

Les résultats obtenus dans ce travail nous permettent de répondre à la problématique, quoique, nous avons eu beaucoup d'obstacle de point de vue disponibilité des informations et manque des exemples qui renforce la démarche.

Cette recherche a montré que la réglementation vis-à-vis les opérations de réparation et de renforcement reste une sérieuse préoccupation à prendre en charge, et que le problème de manque de réglementation ce n'est qu'une partie d'un ensemble de pistes méconnues et qui nécessitent un traitement urgent.

Bibliographie

1. ADJA D, D. B., s.d. Droit de l'urbanisme. Edition BERTI , Université de CHLEF
2. AFNOR, 2008. Norme Française DTU 20.1. *Travaux de bâtiment*, Volume P4.
3. Iie Congrès international des architectes et des techniciens des monuments historiques, 1964.. *Conservation et restauration des monuments et des sites*.
4. Journal officiel. *La loi 98-04, La protection du patrimoine culturel*, 17 juin 1998.
5. journal officiel. *Arrêté du 22 Rabie Ethanie 1426/31 mai 2005* .
6. BRENDA, P., 1993. BATIMENT EN MACONNERIE, Elément de construction. ed centro analisi sociale progetti S.R.L Rome
7. CNERIB, 2005. Document technique réglementaire C 2.45. *Règle de conception et de calcul des maçonnerie* .
8. CSTB, 1997. DTR E2.4. *Travaux de maçonnerie de petits éléments*.
9. DAVIDOVICI, V., s.d. Problématique des bâtiments existants.
10. FABEM, 2011. GUIDE STRRES. *Réparation et renforcement des maçonneries*,
11. Centre National De Recherche Appliquée En Génie-Parasismique, 2003. Règles parasismiques Algériennes RPA99/ VERSION 2003.
12. Golvin, L., 1988. Palais et demeure d'Alger à la période ottomane, ed INAS ;Aix-en-Provence
13. Groupe AFPS-CSTB, 2013. Diagnostic et renforcement du bâti existant vis-à-vis du séisme.
14. HAMEG, A E hakim; HAMEG BENTELLIS, S, 2010. Monument du BARDO Chronique d'une restauration.
15. Nome Française .2003.. Eurocode 8- Conception et dimensionnement des structures pour la résistance aux séismes et document d'application nationale.
16. L, IDIR., 2010. Thèse magister. Présentation d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine architectural en terre en Algérie.
17. Soukane, S. & M, D., s.d. La réhabilitation du patrimoine colonial 19e et 20e dans le contexte du developpemen durable.
18. V, D., s.d. Problématique des bâtiments existants.
19. X, C., 2005. Méthode RéhabiMed.

Annexe I : la loi 98-04 relative à la préservation du patrimoine

22 Safar 1419
17 juin 1998

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 44

3

LOIS

Loi n° 98 - 04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel.

Le Président de la République,

Vu la Constitution, notamment ses articles 98, 122-21° et 126;

Vu l'ordonnance n° 66-62 du 26 mars 1966 relative aux zones et sites touristiques;

Vu l'ordonnance n° 66-154 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code de procédure civile;

Vu l'ordonnance n° 66-155 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code de procédure pénale;

Vu l'ordonnance n° 66-156 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code pénal;

Vu l'ordonnance n° 75-43 du 17 juin 1975, modifiée, portant code pastoral;

Vu l'ordonnance n° 75-58 du 26 septembre 1975, modifiée et complétée, portant code civil;

Vu l'ordonnance n° 75-74 du 12 novembre 1975, modifiée, portant établissement du cadastre général et institution du livre foncier;

Vu l'ordonnance n° 75-79 du 15 décembre 1975 relative aux sépultures;

Vu la loi n° 83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement

Vu l'ordonnance n° 84-06 du 7 janvier 1984, modifiée et complétée, relative aux activités minières;

Vu l'ordonnance n° 84-12 du 23 juin 1984, modifiée, portant régime général des forêts;

Vu l'ordonnance n° 86-14 du 19 août 1986 relative aux activités de prospection, de recherche, d'exploitation et de transfert par canalisation des hydrocarbures;

Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990 relative à la commune;

Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990 relative à la wilaya;

Vu l'ordonnance n° 90-25 du 18 novembre 1990, modifiée et complétée, portant loi d'orientation foncière.

Vu la loi n° 90-29 du 1er décembre 1990 relative à l'aménagement et à l'urbanisme

Vu la loi n° 90-30 du 1er décembre 1990 portant loi domaniale;

Vu la Loi n° 90-31 du 4 décembre 1990 relative aux associations;

Vu la loi n° 91-10 du 27 avril 1991 relative aux biens Wakfs;

Vu la Loi n° 91-11 du 27 avril 1991 fixant les règles relatives à l'expropriation pour cause d'utilité publique;

Vu la Loi n° 91-16 du 14 septembre 1991 relative au moudjahid et au chahid;

Vu le Décret législatif n° 94-07 du 7 Dhou El Hidja 1414 correspondant au 18 Mai 1994 relatif aux conditions de la production architecturale et à l'exercice de la profession d'architecte;

Vu l'ordonnance n° 97-10 du 27 Chaoual 1417 correspondant au 6 mars 1997 relative aux droits d'auteurs et droits voisins;

Après adoption par le Parlement;

Promulgue la Loi dont la teneur suit :

TITRE I

DISPOSITIONS GENERALES

Article 1er. — La présente loi a pour objet de définir le patrimoine culturel de la Nation, d'édicter les règles générales de sa protection, sa sauvegarde et sa mise en valeur, et de fixer les conditions de leur mise en oeuvre.

Art. 2. — Aux termes de la présente loi, sont considérés comme patrimoine culturel de la nation tous les biens culturels immobiliers, immobiliers par destination et mobiliers existant sur et dans le sol des immeubles du domaine national, appartenant à des personnes physiques ou morales de droit privé, ainsi que dans le sous-sol des eaux intérieures et territoriales nationales légués par les différentes civilisations qui se sont succédées de la préhistoire à nos jours.

Font également partie du patrimoine culturel de la nation, les biens culturels immatériels produits de manifestations sociales et de créations individuelles et collectives qui s'expriment depuis des temps immémoriaux à nos jours.

Art. 3. — Les biens culturels comprennent :

- 1 - les biens culturels immobiliers;
- 2 - les biens culturels mobiliers;
- 3 - les biens culturels immatériels.

Art. 4. — Les biens culturels relevant du domaine privé de l'Etat et des collectivités locales peuvent faire l'objet d'actes de gestion par leurs titulaires dans les formes prévues par la loi n° 90-30 du 1er décembre 1990 relative au domaine national susvisée.

Les règles de gestion des biens culturels Wakfs sont régies par la loi n° 91-10 du 27 avril 1991 susvisée.

Art. 5. — Les biens culturels immobiliers, propriété privée peuvent être intégrés dans le domaine public de l'Etat par voie d'acquisition amiable, par voie d'expropriation pour cause d'utilité publique, par l'exercice du droit de préemption de l'Etat ou par acte de donation.

L'Etat peut acquérir par voie d'acquisition amiable un bien culturel mobilier.

L'Etat se réserve le droit d'établir des servitudes dans l'intérêt public tel que le droit de visite et d'investigation des autorités et le droit de visite éventuel du public.

Art. 6. — Toute publication de caractère scientifique effectuée sur le territoire national ou à l'étranger, ayant pour objet l'étude de documents inédits conservés en Algérie et concernant le patrimoine culturel national, est soumise à l'autorisation du ministre chargé de la culture.

Art. 7. — Il est établi par le ministre chargé de la culture un inventaire général des biens culturels classés, inscrits sur l'inventaire supplémentaire ou créés en secteurs sauvegardés.

L'enregistrement de ces biens culturels s'effectue à partir des listes arrêtées par le ministre chargé de la culture et publiées au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

La liste générale des biens culturels fait l'objet d'une mise à jour tous les dix (10) ans publiée au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Les modalités d'application de la présente disposition sont fixées par voie réglementaire.

TITRE II

DE LA PROTECTION DES BIENS CULTURELS IMMOBILIERS

Art. 8. — Les biens culturels immobiliers comprennent :

- les monuments historiques;
- les sites archéologiques;
- les ensembles urbains ou ruraux.

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

- l'inscription sur l'inventaire supplémentaire;

— le classement;

— la création en " secteurs sauvegardés".

Art. 9. — La maîtrise d'oeuvre portant sur des biens culturels immobiliers proposés au classement, classés ou inscrits sur la liste de l'inventaire supplémentaire est assurée par des spécialistes qualifiés dans chacun des domaines concernés.

Les modalités d'application du présent article sont fixées par voie réglementaire.

Chapitre I

L'inscription sur l'inventaire supplémentaire des biens culturels immobiliers

Art. 10. — Les biens culturels immobiliers qui, sans justifier un classement immédiat, présentent un intérêt du point de vue de l'histoire, de l'archéologie, des sciences, de l'ethnographie, de l'anthropologie, de l'art ou de la culture appelant une préservation, peuvent être inscrits sur l'inventaire supplémentaire.

Les biens culturels immobiliers inscrits sur la liste de l'inventaire supplémentaire qui ne font pas l'objet d'un classement définitif dans un délai de dix (10) ans sont radiés de la liste dudit inventaire.

Art. 11. — L'inscription sur la liste de l'inventaire supplémentaire est prononcée, par arrêté du ministre chargé de la Culture, après avis de la commission nationale des biens culturels pour les biens culturels immobiliers d'intérêt national sur sa propre initiative, ou à l'initiative de toute personne y ayant intérêt.

Elle peut être également prononcée par arrêté du wali, après avis de la Commission des biens culturels de la wilaya concernée, pour les biens culturels immobiliers ayant une valeur significative au niveau local à l'initiative du ministre chargé de la culture, des collectivités locales ou toute personne y ayant intérêt.

Art. 12. — L'arrêté d'inscription sur la liste de l'inventaire supplémentaire comporte les mentions suivantes :

- la nature du bien culturel et sa description;
- sa situation géographique;
- les sources documentaires et historiques;
- l'intérêt qui a justifié son inscription;
- l'étendue de l'inscription prononcée, totale ou partielle;
- la nature juridique du bien;
- l'identité des propriétaires, affectataires ou tout autre occupant légal;
- les servitudes et obligations.

Annexe II : Decret exécutif : la maîtrise d'œuvre de la restauration

7 Chaâbane 1426
11 septembre 2005

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 62

17

MINISTERE DE LA CULTURE

Arrêté du 22 Rabie Ethani 1426 correspondant au 31 mai 2005 fixant les contenus des missions de la maîtrise d'œuvre portant sur la restauration des biens culturels immobiliers protégés.

La ministre de la culture,

Vu le décret présidentiel n° 05-161 du 22 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 1er mai 2005 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 03-322 du 9 Chaâbane 1424 correspondant au 5 octobre 2003 portant maîtrise d'œuvre relative aux biens culturels immobiliers protégés ;

Vu le décret exécutif n° 05-79 du 17 Moharram 1426 correspondant au 26 février 2005 fixant les attributions du ministre de la culture ;

Arrête :

Article 1er. — En application de l'article 7 du décret exécutif n° 03-322 du 9 Chaâbane 1424 correspondant au 5 octobre 2003, susvisé, le présent arrêté fixe les contenus des missions de la maîtrise d'œuvre portant sur la restauration des biens culturels immobiliers protégés.

Art. 2. — Les missions d'étude comportent ce qui suit :

1 - LA MISSION « CONSTAT ET MESURES D'URGENCE »

Le maître d'œuvre peut, sur la base de sa propre expertise, dégager une somme de mesures préventives et de travaux de réparation, provisoires ou définitifs, dits d'urgence, visant à arrêter le processus de dégradation du bien immobilier protégé.

Le dossier « mesures et travaux d'urgences » comporte :

- le rapport d'expertise établi par le maître d'œuvre,
- tous les documents graphiques, aux échelles appropriées, des solutions adoptées accompagnés des notes descriptives y afférentes, nécessaires à la réalisation des travaux. Toutefois, le maître de l'œuvre peut ordonner des travaux jugés urgents, dont il assure le suivi et le contrôle, et qu'il documentera ultérieurement.

2 - LA MISSION « RELEVES ET GENESE HISTORIQUE »

2.1 - Les relevés :

2.1.1 - Relevé métrique du monument et de son environnement :

- plan de situation, échelle de représentation 1/2000ème ou 1/1000ème ;
- levé topographique des abords du bien immobilier protégé indiquant avec précision son implantation, échelle de représentation 1/500ème ou 1/200ème ;

— plan de masse et des aménagements extérieurs, échelle de représentation 1/200ème ou 1/100ème ;

— plan coté de chaque niveau, échelle de représentation 1/50ème ;

— coupes transversales et longitudinales cotées, échelle de représentation 1/50ème ;

— élévation des façades avec indications altimétriques, échelle de représentation 1/50ème ;

— détails architecturaux significatifs cotées, échelle de représentation du 1/20ème au 1/1 ;

— rapport descriptif relatant notamment les modes et les conditions d'exécution des relevés ;

— reportage photographique relatant l'état du bien immobilier protégé et éventuellement les travaux menés dans le cadre de l'urgence ;

2.1.2 - Relevé architectural :

— relevé des systèmes constructifs : plans des différents niveaux, coupes et élévations de façade faisant apparaître les systèmes constructifs (les différentes structures horizontales et verticales ainsi que leurs revêtements) et portant toutes les indications nécessaires à leur localisation et identification ;

— relevé de détails des modes d'assemblage des différents éléments de construction, échelles de représentation du 1/10ème au 1/50ème ;

— relevé des menuiseries, ferronneries et aménagements fixes, échelles de représentation du 1/20ème au 1/50ème ;

— relevé des modénatures, échelles de représentation du 1/20ème au 1/1 ;

— rapport descriptif ;

— reportage photographique ;

2.1.3 - Relevé des installations :

— relevé des installations avec localisation de leurs dégradations, échelles de représentation du 1/50ème au 1/100ème ;

— eau potable ;

— évacuation des eaux usées et pluviales ;

— électricité ;

— chauffage et climatisation ;

— gaz ;

— rapport descriptif de l'état de fonctionnement et de conservation de chaque réseau.

2.2 - Etude historique faisant ressortir à travers la genèse :

Les différentes phases d'évolution du bien immobilier protégé et de son environnement immédiat accompagnées d'une chronologie sommaire des événements historiques marquants, notamment ceux ayant eu une influence sur la configuration actuelle du bien.

De plus, l'étude historique documente toutes les interventions antérieures sur le bien immobilier protégé ainsi que toutes les publications et études dont il a fait l'objet.

3 - LA MISSION « ETAT DE CONSERVATION ET DIAGNOSTIC »

— un dossier graphique permettant la localisation et l'identification de tous dommages subis par les structures, les menuiseries, les aménagements fixes et les matériaux (ruptures, fissures, dégradation, vieillissement, etc...);

— un rapport qui précise les causes de détérioration du bien immobilier protégé et énonce les solutions envisagées pour sa restauration et sa mise en valeur.

4 - LA MISSION « PROJET DE RESTAURATION »

Le projet de restauration constitue l'étude descriptive, explicative et justificative des dispositions techniques proposées comprenant le dossier technique des ouvrages divisés en lots et tranches.

Cette mission comprend :

— un rapport de présentation mettant en évidence l'état de conservation de l'édifice, les mesures et travaux d'urgence entrepris pour sa sauvegarde, les solutions envisagées pour sa restauration et mise en valeur ainsi que des orientations sur les opérations d'entretien ;

— un dossier graphique, composé de planches aux échelles appropriées, des différents corps d'état, accompagnées des plans de détail et des notes de calcul nécessaires à la bonne exécution des travaux ;

— pièces écrites ;

— cahier des prescriptions techniques de mise en œuvre ;

— devis descriptifs et quantitatifs.

5 - LA MISSION « ASSISTANCE DANS LE CHOIX DES ENTREPRISES »

Elle consiste à la demande du maître de l'ouvrage, à :

— préparer le dossier de consultation ou d'appel à la concurrence ;

— assister le maître de l'ouvrage dans l'analyse et l'évaluation de l'offre ou des offres ;

— assister le maître de l'ouvrage dans la mise au point définitive du marché à passer avec l'entrepreneur.

Dans tous les cas, la réception des offres est assurée par le maître de l'ouvrage dans les conditions prévues par la réglementation en vigueur.

Les missions d'étude peuvent également inclure toute autre prestation nécessaire à la bonne exécution du projet et définie au contrat de maîtrise d'œuvre.

Art. 3. — Les missions de suivi comportent ce qui suit :

1 - LA MISSION « SUIVI ET CONTROLE DE L'EXECUTION DES TRAVAUX »

Elle consiste, pour le maître d'œuvre à :

— faire respecter par l'entrepreneur les clauses du marché ;

— assurer le suivi permanent de l'exécution des travaux et coordonner l'ensemble des interventions conformément au planning général d'exécution ;

— programmer et animer les réunions de chantier dont il établit les procès-verbaux ;

— proposer, en cas de nécessité, au maître de l'ouvrage les adaptations du projet et après son accord les notifications à l'entrepreneur ;

— résoudre les difficultés rencontrées sur le chantier et les problèmes posés par l'entrepreneur relevant de la compétence du maître d'œuvre ;

— rédiger les ordres de service et les notifier à l'entrepreneur après qu'ils soient contresignés par le maître de l'ouvrage ;

— établir contradictoirement avec l'entrepreneur les attachements et en rendre compte par écrit au maître de l'ouvrage ;

— assister le maître de l'ouvrage dans la réception provisoire par la formulation des réserves à signaler et à consigner dans le procès-verbal établi à cet effet. Ces réserves portent notamment sur les malfaçons, les imperfections ou tout autre défaut constaté ainsi que sur l'inexécution des prestations prévues au marché ;

— veiller à la levée des réserves et proposer au maître de l'ouvrage la réception définitive sanctionnée par un procès-verbal contradictoire contresigné par l'entrepreneur, le maître d'œuvre et le maître de l'ouvrage ;

— proposer au maître de l'ouvrage les mainlevées des cautionnements et, le cas échéant, le remboursement de la retenue de garantie au profit de l'entrepreneur ;

— procéder à l'établissement des plans de récolement en relation avec l'entrepreneur.

2 - LA MISSION « PRESENTATION DES PROPOSITIONS DE REGLEMENT »

Elle consiste, pour le maître d'œuvre à :

— établir les situations de travaux sur la base des documents contractuels et des attachements, les contresigner après visa de l'entrepreneur et les présenter au maître de l'ouvrage pour paiement ;

— établir les décomptes provisoires et le décompte général et définitif sur la base des situations préalablement établies ;

— instruire les éventuelles réclamations de l'entrepreneur dans le cadre de l'exécution de son marché et les soumettre au maître de l'ouvrage aux fins de décision ;

— assister le maître de l'ouvrage dans l'application des clauses financières du contrat, et notamment les révisions des prix et des pénalités.

Annexe III : Fiche du diagnostic CNERIB

Les différents systèmes	Élément de la construction		Désordres relevés in- situ				
			Localisation	Symptôme	Cause	Origine	Observations
Système I	1	Fondation					
	2	Soubassement					
	3	Plancher RDC					
	4	Trottoir périphérique					
	5	Bas des angles					
	6	Sol de fondation					
	7	Bas du mur					
Système II	8	Mur en zone courante					
	9	Angle en zone courante					
Système III	10	Ouverture					
	11	Linteau					
	12	Appuis de bais					
	13	Jambage					
Système IV	14	Haut du mur					
	15	Haut des angles					
	16	Plancher intérieur					
	17	Toiture					
	18	Chaînage					
	19	Acrotère					
Système V	20	Étanchéité					
	21	Mur					
	22	Gaine électrique					
	23	Conduite de gaz					
Système VI	24	Conduite d'eau					
	25	Enduit intérieur					
	26	Enduit extérieur					
	27	Peinture intérieure					
	28	Peinture extérieure					
	29	Mur apparent					

Annexe IV- rapport de visite CSTB

Rapport de visite en vue de l'évaluation sismique d'un bâtiment	
Visite préliminaire <input type="checkbox"/>	Visite détaillée <input type="checkbox"/>
Date de la visite : jj/mm/aaa	Inspecteur 1 : nom de l'inspecteur
	Inspecteur 2 : nom de l'inspecteur
Informations générales	
Adresse : N°X Rue Y Code postal Commune	
Propriétaire : Deux propriétaires, M. Mme X, M. Mme Y	
Nombre d'occupants : 10 occupants	
Utilisation : habitation	
Catégorie d'importance du bâtiment : II	
Type de contreventement (murs, portiques ...) : murs	
Matériaux (acier, béton armé, bois, maçonnerie ...) : maçonnerie de pierres	
Normes applicables : aucune	
Normes appliquées : aucune	

	Type	Commentaire, référence document, annexe photo/schéma/plan	Fiab	Fav
1	Implantation dans l'environnement			
1.1	Conditions de sol			
<i>Caractérisation du sol</i>				
	Rochers	La visite préliminaire ne permet pas une évaluation du sol. Le bâtiment se trouve dans un environnement très urbanisé ne donnant pas d'indication sur la nature éventuelle du sol. Carte géologique 1/25 000 : calcaires lacustres		
	Alluvions			
	Sable			
	Sol rapporté			
	Ancien marais, décharge			
	Autres			
<i>Étude de sol</i>				
	Classe Eurocode 8	Pas d'étude de sol dans une visite d'étude préliminaire		
1.2	Implantation du bâtiment			
	Risque effet de site	Non		
	Proximité rupture de pente D>2H	Non. Terrain plat.		
	Pente > 40%	Non. Terrain plat.		
	Présence de failles	Non		
1.3	Interaction avec les constructions			
	Bâtiments proches	Bâtiment le plus proche à 2,40 m		
	Joints entre bâtiments			

2	Description du bâtiment		
2.1	Généralités		
Historique	Bâtiment ancien construit avant 1945. Pas de permis de construire.		
Usage par niveau	Habitation.		
Évolution dans le temps	Le bâtiment a fait l'objet d'un renforcement en sous-sol au niveau des remises, côté est (poutre en béton armé sur poteaux faibles).		
État de conservation	État de conservation correct.		
Nombre de niveau hors sol	R+2 (3 niveaux)		
Nombre de sous-sols	0		
Hauteur hors sol	9 m		
Profondeur des sous-sols	Pas de sous-sol.		
2.2	Formes en plan et en élévation		
Régularité en plan	A peu près régulière en plan. Cependant, la répartition des murs devra être vérifiée par le calcul notamment pour le rez-de-chaussée.		
Élancement en plan $L/l > 5$	$L/l = 30/20 = 1,5 < 5$		
Partie saillante $a > L/4$	Le bâtiment est quasiment rectangulaire, pas de partie saillante.		
Partie rentrante $a > L/4$	Le bâtiment est quasiment rectangulaire, pas de partie rentrante aux deux premiers niveaux. Au troisième niveau, présence d'une terrasse avec $a=5$ m environ. $30/4 = 7,5 > 5$.		
Régularité en élévation	La structure n'est pas régulière en élévation, les murs ne sont pas continus sur l'ensemble des niveaux de la structure. De plus, présence d'un plancher décalé entre la partie sud et la partie nord de l'édifice.		
Présence transparences	Pas de transparence flagrante. Vérifier tout de même les différences de rigidité entre chaque étage.		
2.3	Façades		
Type de façade	Enduite.		
Accessoires de façade	Moulures, corniches au niveau de la façade principale.		
2.4	Équipements		
Balcon / console	Balcons sur la façade principale au premier étage.		
Cheminée	Présence d'une cheminée (à repérer sur le plan)		
2.5	Plans de masse ou recollement		
Référence plans existants	-		
Réf. plans reconstitués	Les plans ont été reconstitués sur demande du maître d'ouvrage.		
2.6	Plans de coffrage		
Référence plans existants	-		
Réf. plans reconstitués	-		
2.7	Plans d'armatures		
Référence plans existants	-		
Réf. plans reconstitués	-		
2.8	Plans de charge		
Référence plans existants	-		
Réf. plans reconstitués	Pas de plans de charges = à reconstituer d'autant plus que la répartition des charges est délicate à établir (répartition non symétrique des murs).		
2.9	Fondations		
Plans de fondations	Aucune information sur les fondations de la structure n'est disponible.		
Typologie	Aucune information sur les fondations de la structure n'est disponible.		

2.10	Techniques de construction		
<i>Structure porteuse verticale</i>			
Voile béton banché	-		
Ossature BA + remplissage	-		
Système mixte portique-voile	-		
Système poteau-dalle	-		
Maçonnerie porteuse chaînée	-		
Maçonnerie armée	-		
Ossature charpente métallique	-		
Ossature charpente bois	-		
Autres	Maçonnerie ancienne non armée. Maçonnerie de moellons calcaires (galets et blocs). Les murs sont d'épaisseur variable (40 à 75 cm).		
Dispositions constructives favorables	Pas de dispositions constructives autres favorables		
Dispositions constructives défavorables	Maçonnerie de moyenne – mauvaise qualité. La liaison entre éléments verticaux et horizontaux n'a pu être vérifiée. Présence d'éléments en béton armé en plus de la structure maçonnée (ajout au cours de la vie de l'ouvrage)		
<i>Planchers</i>			
Prédalle	-		
Dalle pleine	-		
Poutrelles + entrevous	-		
Nervuré + dalle de compression	-		
Préfabriqué	-		
Ossature métallique	-		
Ossature bois	Plancher bois traditionnel		
Mixte	-		
Autres	-		
<i>Toiture</i>			
Traditionnelle	Charpente en bois traditionnelle. Couverture en tuiles.		
Industrielle	-		
Lamellé collé	-		
Toiture terrasse	-		
Nombre de pentes	5 pentes		
2.11	Matériaux de construction		
<i>Liste des matériaux et de leurs propriétés (E, v, ρ)</i>			
Moellons calcaires	Les propriétés du matériau n'ont pas été établies par des essais. La nature du mortier n'est pas connue.		
2.12	Fonctionnalités du bâtiment		
<i>Liste des fonctionnalités indispensables (pièces, circulations...)</i>			
		Le bâtiment doit être modifié en vue de la création de 13 appartements. Les pièces et circulations vont donc être entièrement modifiées.	
2.13	Architecture du bâtiment		
<i>Détails des éléments architecturaux à préserver</i>			
		Façade principale à préserver.	

3 Détails de conception et de construction / Zones critiques			
<i>Cette partie est destinée à souligner les éléments faibles, parfois de l'ordre du détail, qui doivent être indiqués sur les croquis ou plans par une convention adéquate. Cette liste est destinée à être complétée autant que de besoin.</i>			
Poteaux courts ($l_{\text{libre}} < 4$ largeur)	Inexistant		
Poteaux élancés ($h > 20$ largeur min)	Inexistant		
Inserts dans les éléments de structure			
Ouvertures dans les voiles ($> 1/10 S_{\text{voile}}$)			
Axes poteaux/poutres non concourants			
Présence de joints pleins	Aucun joint dans la structure		
Niveaux transparents			
Porte-à-faux > 2 m	Inexistant		
Croisement poutres hors poteau			
Plancher avec trémie $s/S > 0,1$ ou $s/S > 0,25$	Trémie de dimensions réduites		
	Présence d'un niveau décalé		