



**Mémoire de Fin d'étude**  
**En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil**  
**Option : Matériaux en Génie Civil**

Présenté par :

**Mme. BENABDALLAH Charifa**

**Thème**

---

**Techniques de réhabilitation et de restauration  
du bâti ancien construit en terre**

**Cas d'étude : Mausolée de Sidi Ba Youcef à Tamentit**

---

**Soutenu le 20 juin 2018 devant le jury composé de :**

**M. ABDELJALIL M'hamed**

**M. ABBOU Mohammed**

**Mme. AIT HAMMOUDA-KALLOUM Khedidja**

**Dr. SEMCHA Abdélaziz**

**Président**

**Examineur**

**Encadreur**

**Co-Encadreur**



**Mémoire de Fin d'étude**  
**En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil**  
**Option : Matériaux en Génie Civil**

Présenté par :

**Mme. BENABDALLAH Charifa**

**Thème**

---

**Techniques de réhabilitation et de restauration  
du bâti ancien construit en terre**

**Cas d'étude : Mausolée de Sidi Ba Youcef à Tamentit**

---

**Soutenu le 20 juin 2018 devant le jury composé de :**

**M. ABDELJALIL M'hamed**

**Président**

**M. ABOU Mohammed**

**Examineur**

**Mme. AIT HAMMOUDA-KALLOUM Khedidja**

**Encadreur**

**Dr. SEMCHA Abdélaziz**

**Co-Encadreur**

## Remerciements

***J**e remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné la force et la volonté de réaliser ce mémoire.*

*Je présente mes vifs et sincères remerciements à l'ensemble de mes enseignants de la spécialité Génie Civil de l'Université d'Adrar. Ma gratitude à mes encadreurs, Madame **AÏT-HAMMOUDA KALLOUM Khedidja** et Docteur **SEMCHA Abdélaziz**.*

*Je remercie le personnel du **Bureau d'Études Polyvalent de la Wilaya d'Adrar (BEPWA)**, ainsi que Madame **KALLOUM Zohra** et Monsieur **BAHAKOU Boudjamaa** pour m'avoir aidée à réaliser ce travail.*

## Dédicaces

**J** e dédie ce mémoire à tous ceux qui ont participé à mon

*éducation et à ma formation, à savoir mes parents, mes frères et soeurs, mon époux et mes enfants, pour leur patience et leur assistance tout au long de mes études.*

*À mes professeurs et à la promotion GÉNIE CIVIL de l'année universitaire 2017/2018.*

**Charifa Benabdallah**

## Résumé

---

Ce présent travail s'inscrit dans la problématique de la sauvegarde du patrimoine bâti traditionnel en terre. Il se fixe comme objectif de mettre à la disposition des praticiens un guide de réhabilitation et de restauration des constructions en terre constituant le patrimoine architectural local de la région d'Adrar dans le Sahara algérien. Il consiste, en premier lieu en une opération "diagnostic/remédiation" des différentes pathologies relevées sur le site patrimonial du ksar de Tamentit, pris comme exemple remarquable d'architecture ksourienne. En second lieu, nous proposons sa mise en application sur le cas représentatif du mausolée de Sidi Mohamed Bayoucef, choisi pour son importance historique et sa richesse architecturale et présentant un état de délabrement avancé.

Pour chaque pathologie relevée, nous proposons une solution technique qui soit conforme aux caractéristiques des matériaux locaux en terre, dans le but de se réapproprier les traditions constructives locales qui sont en voie de disparition. De même, nous n'excluons pas, dans certains cas, la possibilité de remédier à ces pathologies en utilisant les techniques et les matériaux dits "modernes", à la condition de préserver l'aspect architectural local. Et la technique de construction en terre utilisée localement.

**Mots-clés** : Matériaux locaux ; constructions en terre ; pathologies ; restauration ; réhabilitation.

## Abstract

---

This present work is part of the problem of safeguarding traditional built earthen heritage. Its objective is to provide practitioners with a guide to the rehabilitation and restoration of earthen constructions constituting the local architectural heritage of the region of Adrar in the Algerian Sahara. It consists, first and foremost, in a "diagnosis / remediation" operation of the various pathologies identified on the Ksar of Tamentit heritage site, taken as a remarkable example of Ksourian architecture. In the second place, we propose its application on the representative case of the mausoleum of Sidi Mohamed Bayoucef, chosen for its historical importance and its architectural richness and presenting an advanced state of disrepair.

For each pathology identified, we propose a technical solution that is consistent with the characteristics of local materials in the earth, in order to reclaim local traditions of construction that are endangered. Similarly, we do not exclude, in some cases, the possibility of remedying these pathologies using so-called "modern" techniques and materials, provided that the local architectural aspect is preserved.

**Keywords :** local materials ; earthen constructions ; pathologies ; restoration; rehabilitation.

## ملخص

---

هذا العمل الحالي هو جزء من إشكالية الحفاظ على المباني الترابية التقليدية. هدفها هو تزويد الممارسين بدليل لإعادة تأهيل وترميم المباني الترابية التي تشكل التراث المعماري المحلي لمنطقة أدرار في صحراء الجزائر. ويتمحور أولاً في عملية واحدة "التشخيص / العلاج" من مختلف الأمراض التي وجدت على موقع تراث قصر تامنيط، بإعتبارها مثال رائع للعمارة القصورية. ثانياً، نقترح نموذجاً ممثلاً حالة ضريح سيدي با يوسف بن أحمد ، الذي تم اختياره لأهميته التاريخية والثراء المعماري وعرض الحالة التي ال إليها وتحدد نوع الأمراض التي يعاني منها، ثم نقترح حلاً تقنياً يتماشى مع خصائص المواد المحلية الموجودة في الأرض، من أجل استعادة التقاليد المحلية للبناء المهددة بالزوال. وبالمثل ، لا نستبعد في بعض الحالات ، إمكانية معالجة هذه الأمراض باستخدام تقنيات ومواد "حديثة" ، شريطة الحفاظ على الجانب المعماري المحلي.

**الكلمات المفتاحية:** المواد المحلية. البنايات الترابية. الأمراض. ترميم. إعادة التأهيل.



# Table des matières

Résumé.....	V
Abstract.....	VI
ملخص.....	VII
Table des matières.....	VIII
Liste des tableaux.....	XII
Liste des photos.....	XIII
Liste des figures.....	XIV
Introduction générale.....	15
Introduction.....	16
Problématique.....	18
1. Contexte de l'étude.....	18
2. Questions de départ.....	18
3. Objectif de l'étude.....	19
4. Hypothèses.....	19
5. Présentation du cas d'étude:.....	19
Structure du mémoire.....	21
Partie I : Cadre théorique.....	22
Introduction.....	23
Chapitre 1: Interventions sur le cadre bâti ancien.....	23
1.1. Définitions.....	23
1.1.1. Réhabilitation.....	23
1.1.2. La restauration.....	23
1.1.3. La rénovation :.....	24
1.2. La réhabilitation du patrimoine architectural en terre : diagnostic et traitement des pathologies.....	24
Chapitre 2 : La construction en terre.....	25
2.1. Définition.....	25
2.2. Qualités constructives de la construction en terre :.....	25
2.2.1. Construction durable.....	26
2.2.2. Construction bioclimatique.....	26
2.2.3. Construction vernaculaire.....	26
Conclusion.....	27

Chapitre 3 : La construction en terre à Adrar .....	28
3.1. Localisation .....	28
3.2. Histoire .....	28
3.3. Le patrimoine architectural construit en terre à Adrar .....	29
3.3.1. Analyse architecturale et urbaine des ksour.....	29
3.3.2. Bâtiments remarquables (Mosquées, mausolées) .....	34
3.3.3. Matériaux de construction traditionnels locaux.....	36
<b>3.3.3.1. Toub (brique de terre crue ou adobe)</b> .....	36
<b>3.3.3.2. Troncs de palmier (khachba)</b> .....	37
<b>3.3.3.3. El Kernaf</b> .....	38
<b>3.3.3.4. El Fdam (fibre)</b> .....	38
3.3.4. Techniques de construction traditionnelle locales .....	39
<b>3.3.4.1. Fondations</b> .....	39
<b>3.3.4.2. Murs</b> .....	39
<b>3.3.4.3. Planchers et escaliers</b> .....	40
<b>3.3.4.4. Ouvertures (portes)</b> .....	42
Conclusion.....	42
Chapitre 4 : Pathologies et traitement .....	43
4.1. Inventaire des pathologies courantes sur les constructions bâties en terre.....	43
4.1.1. Pathologies humides des constructions en briques de terre crue.....	43
<b>4.1.1.1. Les différents types d'humidité</b> .....	43
<b>4.1.1.2. Les pathologies liées à l'humidité</b> .....	44
4.2. Pathologies structurelles des constructions en briques de terre crue .....	48
<b>4.2.1.1. Pathologies coplanaires des parements du mur</b> .....	48
<b>4.2.1.2. Pathologie structurelle des planchers faits de poutres et de poutrelles.</b> 51	
<b>4.2.2.1. Les principaux lieux de désordres</b> .....	53
<b>4.2.2.2. Les principales causes de désordres</b> .....	54
4.2. Techniques de réhabilitation et traitements préconisés .....	54
4.2.1. Réhabilitation des structures atteintes.....	54
<b>4.2.2.3. Techniques de consolidation</b> .....	54
<b>4.2.2.4. Réhabiliter les fondations et les soubassements</b> .....	55
<b>4.2.2.5. Nettoyage et mise à niveau</b> .....	55
<b>4.2.2.6. Reprise des fondations</b> .....	55
<b>4.2.2.7. Consolidation des murs</b> .....	55
a. Renforcer un mur par un chaînage .....	55

b.	Liaison d'angle.....	56
c.	Renforcement des angles au moyen de clé .....	57
d.	Mise en place de tirants.....	57
e.	Contreforts en maçonnerie.....	58
	<b>4.2.2.8. Réparer un mur en brique de terre crue.....</b>	<b>59</b>
a.	Réparation d'une détérioration partielle (déchaussement).....	59
b.	Réparation d'une détérioration entière.....	59
	<b>4.3.6.1. Réparer les fissures et décollements de l'enduit .....</b>	<b>60</b>
a.	Remplacer un enduit au ciment.....	60
b.	Réparer un enduit de terre et de chaux.....	60
	<b>4.3.1.1. Traiter les efflorescences .....</b>	<b>60</b>
	<b>4.3.1.2. Interventions sur les planchers .....</b>	<b>61</b>
a.	Réparer un appui de plancher au niveau du mur .....	61
b.	Poser un montant intermédiaire .....	61
	<b>4.3.1.3. Interventions sur les toitures .....</b>	<b>62</b>
a.	Le contrôle des assemblages .....	62
b.	L'ajout de panne .....	63
c.	Nettoyage et remplacement des éléments défectueux .....	63
d.	Réparer une toiture plate en terre .....	63
	<b>4.3.1.4. Intervention sur les ouvertures .....</b>	<b>63</b>
	<b>4.3.1.5. Interventions sur les arcs, les voutes et les coupes .....</b>	<b>63</b>
	<b>4.3.1.6. Intégration des nouvelles installations et les nouveaux équipements ....</b>	<b>64</b>
	<b>4.3.1.7. Technique traditionnelle du traitement des pathologies humides.....</b>	<b>65</b>
	<b>4.3.1.8. Traitement du déchaussement .....</b>	<b>65</b>
	<b>4.3.1.9. Traitement des déformations .....</b>	<b>66</b>
	Partie II : Approche pratique.....	67
	Chapitre 1: Elaboration d'un manuel de Diagnostic/Traitement des pathologies des constructions en terre des ksour d'Adrar .....	68
1.1.	État actuel des constructions bâties en terre à Tamentit.....	68
1.2.	Dégradation et délabrement .....	68
1.3.	Objectif de l'élaboration du manuel .....	69
1.4.	Manuel de réhabilitation .....	70
	MANUEL DE RÉHABILITATION.....	71
	Chapitre 2 : Proposition de réhabilitation du mausolée de Sidi Ba Youcef .....	85
2.1.	Bref aperçu historique .....	85

2.2.	Présentation des qualités architecturales et constructives du bâtiment.....	86
2.2.1.	Description de l'extérieur.....	86
2.2.2.	Description de l'espace intérieur .....	86
2.2.3.	Matières premières pour la construction .....	87
2.2.4.	Relevé architectural : plans, coupes, façades et volumétrie .....	87
2.3.	Proposition de réhabilitation du mausolée .....	90
2.3.1.	Identification et diagnostic des pathologies relevées sur le mausolée .....	90
	RÉHABILITATION DU MAUSOLÉE SIDI BA YOUCEF A TAMENTIT.....	91
	CONCLUSION GÉNÉRALE.....	97
	BIBLIOGRAPHIE .....	100

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des éléments de diagnostic des constructions en terre crue	47
Tableau 2 : Diagnostic des pathologies sur le Mausolée Sidi Ba Youcef.....	90

## Liste des photos

Photo 1 : Chibam, Hadramout, Yemen .....	16
Photo 2 : La grande muraille de Chine .....	16
Photo 3 : Oasis Rouge, Timimoun.....	27
Photo 4 : Ksar Ighzer, Timimoun .....	29
Photo 5 : Ksar de Tamentit, Adrar.....	30
Photo 6 : Rue principale en 2010 .....	30
Photo 7 : Rue principale en 2018 .....	30
Photo 8 : Ruelles (zgag) .....	31
Photo 9 : Mosquée .....	31
Photo 10 : Foggara, centre-ville d'Adrar .....	32
Photo 11 : Étable.....	32
Photo 12 : Ancien espace du marché, Rahba Toufaghi.....	33
Photo 13 : Ancien cimetière de Haï Bouslah à Tamentit .....	33
Photo 14 : Mausolée à Tamentit.....	34
Photo 15 : Mausolée de Sidi Slimane à Ouled Ouchen.....	35
Photo 17 : Maison de la culture, Place des Martyrs, Adrar .....	35
Photo 16 : Bab Timimoun, Place des Martyrs, Adrar .....	35
Photo 18 : Casbah de Melouka, Adrar .....	36
Photo 19 : Khachba (Tronc de palmier) .....	37
Photo 20 : El fdam, fibres de palmier.....	38
Photo 21 : Fléchissement d'un plancher.....	52
Photo 22 : Rupture d'une poutre par attaque d'insectes .....	53
Photo 23 : Contrefort, Ksar Témacine.....	58
Photo 24 : Méthode de réparation partielle d'un mur en brique de terre crue .....	59
Photo 25 : Consolidation de la voûte par un tirant métallique, Témacine.....	64
Photo 26 : Habitations abandonnées.....	69
Photo 27 : Décrépissement des murs extérieurs par abandon de l'opération d'enduisage régulière .....	69
Photo 28 : Mausolée de Sidi Ba Youcef, Tamentit, Adrar .....	85
Photo 29 : Galerie dans le mausolée, autour de la chambre funéraire .....	87
Photo 30 : Dalles de pierre constituant le plafond (plancher supérieur) de la galerie.....	87
Photo 31 : Arcs d'entrée au tombeau .....	87
Photo 32 : Petit Mihrab.....	87

## Liste des figures

Figure 1 : Architecture de terre dans le monde.....	25
Figure 2 : Technique de fabrication de l'adobe .....	37
Figure 3 : Composition du palmier.....	39
Figure 4 : Technique de construction fondations et murs.....	40
Figure 5 : Schéma de disposition d'un plancher ancien.....	41
Figure 6 : Technique de réalisation traditionnelle des escaliers.....	41
Figure 7 : Technique de réalisation des portes.....	42
Figure 8 : Fractures au niveau d'une large partie du mur supportant une forte charge.....	48
Figure 9 : Fractures dans la zone pleine (entre les ouvertures) dues à une forte compression sur une large partie du mur .....	48
Figure 10 : Désordres dus à une charge ponctuelle, cas du poids propre d'une poutre ou poutrelle.....	49
Figure 11 : Fissures dues à la déformabilité d'un linteau .....	49
Figure 12 : Fissures dues à la déformabilité des poutres constituant le plancher .....	50
Figure 13 : Fracture verticale entre le mur supportant la charge du plancher et le mur traversant, due à une différence de charges entre les deux .....	50
Figure 14 : Fissurations à l'angle du mur dues à un mouvement du sol.....	51
Figure 15 : Déformation des éléments du plancher quelle entraine la dégradation des éléments du bâtiment.....	52
Figure 16 : Action du vent en haut et bas d'un mur en adobe .....	54
Figure 17 : Nettoyage et mise à niveau.....	55
Figure 18 : Reprise des fondations.....	55
Figure 19 : Renforcement d'un mur avec un chaînage.....	56
Figure 20 : Angles maçonnées en matériaux durs .....	57
Figure 21 : Détail de la clé en bois .....	57
Figure 22 : Les tirants métalliques .....	58
Figure 23 : Descriptif de la méthode de réparation d'un appui de plancher.....	61
Figure 24 : d'un montant en bois, Témacine .....	62
Figure 25 : Réparer les défauts d'assemblage de la charpente .....	62
Figure 26 : Relevé architectural du mausolée Sidi Ba Youcef à Tamentit.....	88
Figure 28 : Coupe B-B.....	89
Figure 27 : Coupe A-A.....	89

# Introduction générale



## Introduction

A l'ère de la mondialisation et de l'accélération du développement technologique, l'Homme a réalisé qu'il lui fallait protéger son environnement et a introduit le concept du développement durable comme stratégie internationale. Ainsi, il s'est intéressé à la réhabilitation et la restauration de son patrimoine bâti afin de le transmettre aux générations à venir.

Le choix du retour aux anciennes techniques de constructions traditionnelles, qui ont eu l'avantage de résister au temps, apparaît comme une nécessité absolue dans un souci environnemental, d'autant plus que sur le plan énergétique, il est apparu que les constructions traditionnelles ont une moindre consommation d'énergie car les matériaux utilisés sont naturels et se composent essentiellement de terre, de pierre et de bois.

Il existe plusieurs types de constructions dans le monde, chacune portant la culture et les modes de vie et d'habiter des sociétés locales. Ces constructions sont des témoins vivants des civilisations anciennes. Les exemples les plus marquants sont les premiers gratte-ciel de plus de trente mètres de haut, réalisés en briques de terre crue dans la cité de Chibam au Yemen, de la grande muraille Chine ouvrage long de plus de vingt mille kilomètres construit en terre battue (Photo 2), et plus près de nous, la ville de Tambouctou au Mali.



Photo 1 : Chibam, Hadramout, Yemen

(Source: <https://nationalyemen.com/2014/03/30/rainy-season-is-an-alarm-in-shibam-hadramout/>)



Photo 2 : La grande muraille de Chine

(Source: <https://whc.unesco.org/fr/documents/131380>)

Les constructions ksouriennes dans la région d'Adrar, à base de terre, sont aussi un exemple vivant de constructions durables.

A ces constructions séculaires se pose aujourd'hui le problème de l'entretien tel qu'il se faisait traditionnellement et qui a disparu des pratiques de la société locale.

En effet, les habitants délaissent leur ancien habitat au profit de constructions modernes utilisant des matériaux standards tels que la brique et le béton, ce qui a mené au délabrement de la majorité des ksour de la région.

La garantie de pérennité et de durabilité de ces constructions qui représentent une grande page de l'histoire du pays et de la région, ainsi que la nécessité de transmettre un patrimoine bâti en bon état aux générations futures, ne peut s'effectuer qu'à la condition de participer activement à les sauvegarder et à les réhabiliter. Voilà pourquoi, il est intéressant de saisir cette problématique dans le cadre d'un mémoire de fin d'études en Master de Génie civil.

Dans ce travail, l'intérêt sera porté sur l'étude du cas d'un Mausolée historiquement représentatif du ksar de Tamentit, ancienne capitale de la région du Touat, l'une des régions qui composent la Wilaya d'Adrar actuellement.

Ce mausolée très fréquenté par les habitants pour sa valeur historique, mais aussi par les touristes pour la beauté de son architecture, est dans un état de délabrement avancé. Il nécessite en urgence une prise en charge sérieuse se basant sur des études scientifiques et techniques qui prennent en considération le type constructif traditionnel de la bâtisse et la nature des matériaux le composant.

Cette étude permettra de relever les différentes pathologies du bâti traditionnel et proposera des solutions efficaces à sa réhabilitation.

---

## Problématique

---

### 1. Contexte de l'étude

Après l'indépendance, l'Algérie a observé une croissance démographique et un développement urbain accéléré. De nouveaux types de constructions se sont alors imposés, ainsi que l'utilisation de matériaux modernes standardisés pour faire face à l'urgence de construire en quantité.

A Adrar, les techniques constructives modernes se sont aussi fait rapidement une place auprès de la population locale qui y voyait un modèle de modernité. En utilisant le béton, les habitants d'Adrar ont négligé les caractéristiques naturelles de leur région. D'autre part, les pouvoirs publics chargés de l'habitat et de l'urbanisme n'ont respecté, ni la nature, ni les besoins du citoyen du sud algérien. Même si la maison traditionnelle en adobe (toub) continue à être présente, la population locale a été attirée par la modernité des matériaux standardisés comparativement aux matériaux traditionnels qu'ils ont considérés comme fragiles et moins résistants à certaines conditions climatiques comme la pluie même si elle est rare dans la région, mais qui peut faire des dégâts si elle est forte et persistante.

### 2. Questions de départ

Dans le cadre de ce travail, nous essaierons de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les techniques constructives les mieux adaptées aux zones arides ?
- Les techniques modernes utilisées depuis l'indépendance sont-elles vraiment efficaces ?
- Est-il possible de perpétuer la tradition qui a généré un habitat qui a résisté au temps et aux conditions climatiques du Sahara ?
- Quelles techniques de réhabilitation de cet ancien cadre bâti qui représente un patrimoine culturel matériel important à sauvegarder, pouvons-nous proposer aujourd'hui ?

### 3. Objectif de l'étude

Le but principal de cette recherche est de mettre en évidence l'importance des techniques constructives traditionnelles par leur adaptation aux zones arides, respectueuses à la fois de l'environnement et de l'architecture ainsi que de la culture locales.

A travers le cas du mausolée Sidi Ba Yousef Ben M'Hamed Ben Moussa à Haï Boulslah à Tamentit, nous essaierons de montrer que les anciennes constructions en terre peuvent être réhabilitées en intégrant de nouvelles techniques que nous proposerons pour faire face aux pathologies particulières de leurs matériaux.

### 4. Hypothèses

Pour répondre à ces différents questionnements autour de la problématique de la construction traditionnelle en terre et son devenir, nous proposons les deux hypothèses suivantes :

- La dégradation des constructions est le fait d'une absence d'entretien et d'opérations de réhabilitation adéquates.
- Les tentatives de réhabilitation effectuées récemment, ne respectent pas les techniques de construction traditionnelles qui ont généré ces constructions.

D'autre part, nous nous attacherons à démontrer que la durabilité des constructions de terre ou en adobe (toub) pendant des siècles et des millénaires dans les régions sahariennes, se justifie par son entière adéquation au climat aride et qu'il serait temps d'y revenir en les améliorant grâce aux techniques contemporaines.

### 5. Présentation du cas d'étude:

Le choix de l'objet d'étude s'est porté sur le mausolée de Sidi Ba Youcef à Tamentit, qui était la cité la plus importante de la région du Touat et qui aujourd'hui est une commune située à 13 km du chef lieu de la Wilaya d'Adrar.

Cet antique mausolée se dresse en hauteur dans le quartier dénommé Haï Boulslah. Il abrite le tombeau d'un homme de religion considéré aussi comme une personnalité politique et un savant de grande importance du 7<sup>ème</sup> siècle de l'Hégire.

Sidi Ba Youcef fut enterré par les habitants du ksar dans la mosquée de Haï Bouslah qui lui édifièrent ce mausolée en reconnaissance pour ses bienfaits sur la population.

Aucune source exacte ne précise la date de construction de ce mausolée, mais son apparence confirme son ancienneté.

Une simple visite du site, permet d'observer que la construction présente des dégradations importantes, pourtant, chaque année à Adrar et de manière régulière, selon un calendrier des festivités religieuses appelées ouaâda (وعدة) et ziara (زيارة) qui commémorent les saints (الاولياء الصالحين) de la région, la population locale consacre une journée à la réhabilitation de ces mausolées. Mais dans les faits, ces actions ne concernent que l'apparence extérieure de la construction, enduite de chaux blanche à cette occasion et au nettoyage du site l'entourant.

Ces actions ne sont pas une véritable réhabilitation ou rénovation ou restauration, mais plutôt un rafraichissement superficiel des enduits extérieurs pour améliorer l'aspect visuel du mausolée.

## Structure du mémoire

---

- Ce travail est composé de deux grandes parties : une approche thématique suivie d'une mise en application pratique. Après un chapitre introductif où nous abordons les généralités du thème et posons la problématique, la partie théorique est organisée en quatre chapitres.
- Le premier chapitre présente les notions de base sur les différentes interventions sur le cadre bâti ancien du point de vue constructif, puis des généralités sur la construction en terre à savoir ses différents termes pour comprendre les notions de réhabilitation, restauration, rénovation.
- Le deuxième chapitre est consacré à la construction en terre crue en général et donner les avantages des constructions en terre à côté : vernaculaire, durable, bioclimatique.
- Le troisième chapitre est consacré au type de construction en terre dans la région d'Adrar et analyse l'architecture ksourienne traditionnelle.
- Le quatrième chapitre concerne les différentes pathologies qui peuvent atteindre la construction en briques de terre crue.
- Les chapitres cités précédemment présentent des informations de base importantes pour la réalisation de notre partie pratique, elle même organisée en deux chapitres.
- Le premier chapitre de cette deuxième partie est consacré à l'élaboration d'un manuel de réhabilitation des constructions ksouriennes, sur la base d'une opération diagnostic/traitement en relevant les pathologies les plus courantes et en proposant divers possibilités pour y remédier.
- Le deuxième chapitre comporte nos propositions pour la réhabilitation du mausolée en prenant appui sur le manuel élaboré dans la première étape.
- Il regroupe les différentes pathologies, présente leur diagnostic et propose les traitements possibles.
- Enfin, le mémoire s'achève sur une conclusion générale pour répondre à nos questionnements de départ.

# Partie I : Cadre théorique

### Introduction

Afin d'aborder le thème de cette étude, il est nécessaire de faire le point sur les différentes notions que nous utiliserons et qui nous permettront de saisir le sujet.

D'une part, il s'agit de définir ce que l'on entend par l'intervention sur les constructions anciennes et d'autre part, nous essaierons de présenter l'importance de la construction en terre, qui est le sujet de notre travail. Enfin, nous présenterons notre terrain d'étude en l'approchant par l'intérêt de ce type de construction ancienne en terre pour décider du type d'intervention qui lui convient.

## Chapitre 1: Interventions sur le cadre bâti ancien

---

### 1.1. Définitions

Différentes interventions sont réalisées sur le cadre bâti ancien objet de dégradation, afin de le conserver, de le préserver, de le moderniser, de le pérenniser et de le conserver. Les plus connues sont la réhabilitation, la restauration et la rénovation. Chacune a des objectifs bien précis que nous présentons ci-dessous.

#### 1.1.1. Réhabilitation

La réhabilitation a pour but la préservation du caractère historique des constructions comme celui des monuments ou d'autres constructions remarquables et de qualité architecturale intéressante. En même temps, il s'agit d'équiper la construction réhabilitée en éléments de confort aux normes actuelles, le but étant de moderniser sans dénaturer le caractère ancien de la bâtisse. Ainsi, parfois, la façade extérieure est préservée, alors que l'organisation intérieure est entièrement revue et modernisée dans le but d'une reconversion fonctionnelle et d'un changement d'activité.

#### 1.1.2. La restauration

C'est le type d'intervention qui a comme objectif principal de remettre la construction dans son état d'origine. Ainsi, il s'agit d'utiliser les mêmes techniques et matériaux de construction qui ont été utilisés lors de sa construction. C'est donc une opération minutieuse qui est souvent appliquée aux monuments historiques



importants afin qu'ils restent témoins d'une époque et de les transmettre aux générations futures dans leur état initial ainsi qu'une mise en valeur de ce patrimoine.

### **1.1.3. La rénovation :**

Rénover est l'action la plus courante qui touche tous les types de construction dégradés et jugés parfois comme démodés. Cela mène à des opérations de démolition totale ou partielle pour reconstruire du neuf sur l'ancien.

En ce qui concerne notre étude, nous porterons notre choix sur les méthodes de réhabilitation et les techniques de restauration, car ces deux actions sont celles qui conviennent le mieux pour le cas de notre étude qui se présente comme un patrimoine bâti à forte valeur historique qu'il est nécessaire de sauvegarder dans son apparence architecturale ancienne sans pour autant négliger les éléments qui peuvent lui assurer son inscription dans l'époque contemporaine.

### **1.2. La réhabilitation du patrimoine architectural en terre : diagnostic et traitement des pathologies**

En ce qui concerne la réhabilitation du patrimoine architectural en terre, KADDOUR I. et DAHLI M. (2016) s'appuient sur la Charte de Lisbonne (Octobre 1995) qui définit la réhabilitation comme étant les *«travaux dont la finalité est la récupération et la remise en état d'une construction, une fois résolues toutes les anomalies constructives, fonctionnelles d'hygiène et de sécurité cumulés tout au long des années, et menant à bien une modernisation dont le but est de lui faire mieux remplir ses fonctions, jusqu'à s'approcher des actuels niveaux d'exigences»*. Ils précisent aussi que la réhabilitation d'un bien patrimonial nécessite un diagnostic préalable permettant d'avoir une bonne connaissance du bâti, de ses techniques constructives et tous les éléments qui concernent le système structurel. Leur méthode d'approche se base sur la détection et la compréhension des pathologies afin d'y remédier.

Notre travail s'inscrit dans la même perspective en prenant comme cas d'étude le patrimoine architectural ksourien de la région d'Adrar.

## Chapitre 2 : La construction en terre

### 2.1. Définition

On désigne par « architecture de terre » l'ensemble des édifices maçonnés en terre crue et les techniques de construction qui la génèrent. La terre est le matériau de construction le plus ancien et le plus durable de l'humanité. Il prend la forme de béton de terre, boue séchée, terre battue, pisé, torchis et adobe ou toub. Cette technique est vieille depuis au moins dix mille ans et a été utilisée dans la construction de l'habitat de l'homme et des plus anciennes cités. Aujourd'hui, le tiers de l'humanité, vit encore dans ce type d'habitat défiant le temps (figure 1), mais qui nécessite un entretien régulier en vue de sa durabilité. Dans le cas contraire, il redevient poussière et s'efface sans laisser de trace. Des civilisations entières ont disparu de la surface de la terre à cause de ce manque d'entretien.

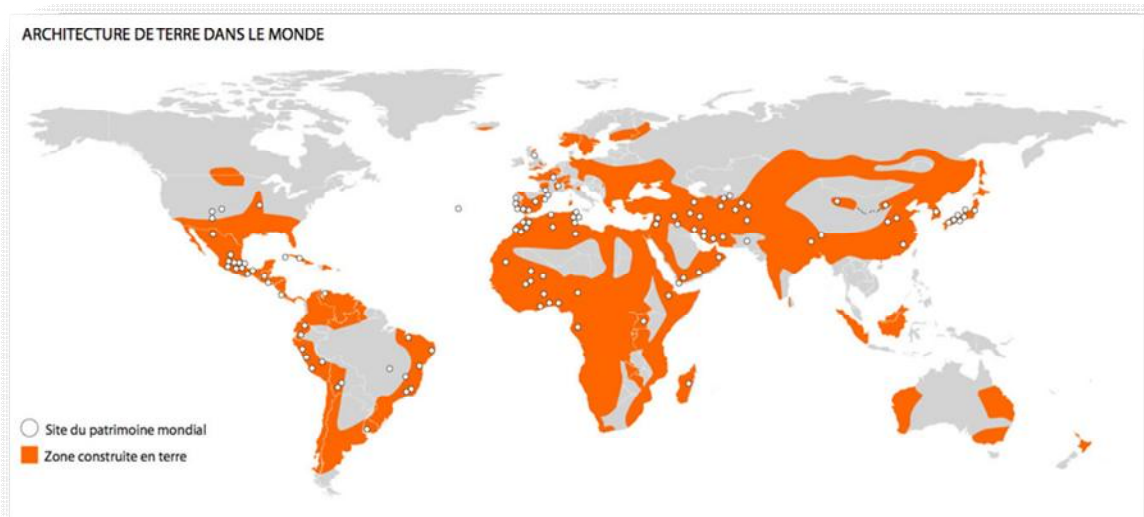


Figure 1 : Architecture de terre dans le monde

(Source : [http://www.craterre.org/accueil:galerie-des-images/default/gallery/38/gallery\\_view/Gallery](http://www.craterre.org/accueil:galerie-des-images/default/gallery/38/gallery_view/Gallery))

### 2.2. Qualités constructives de la construction en terre :

La construction contemporaine est confrontée à de nombreux défis pour prouver qu'elle est capable de répondre aux exigences du développement durable et de la protection de l'environnement. De même, L'architecture contemporaine devrait s'appuyer sur les principes de l'architecture traditionnelle car celle-ci a déjà prouvé

qu'elle était appropriée pour l'environnement local. Il est ainsi possible de développer ses principes et les mettre en adéquation avec les technologies modernes pour la conception et la réalisation de nos maisons contemporaines. Les technologies modernes peuvent rendre l'utilisation de l'architecture traditionnelle plus accessible et efficace afin d'atteindre les objectifs de la construction durable.

### **2.2.1. Construction durable**

La construction durable, dite aussi éco-construction, s'inscrit dans la démarche du développement durable qui prend en charge les questions environnementales (protection de l'environnement, utilisation des ressources naturelles renouvelables et lutte contre la pollution).

Les bâtiments doivent être conçus avec des matériaux de construction respectueux de l'environnement, réduisant la consommation d'énergie et misant sur la durabilité. Les matériaux de construction doivent être issus des matières premières se trouvant à proximité des sites de construction. Les nouvelles technologies sont utilisées dans le but d'économiser l'énergie.

### **2.2.2. Construction bioclimatique**

Une éco-construction vise à consommer peu d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude. Elle a des qualités de performance énergétique. Sa conception bioclimatique et la composition de ses parois lui permettent de consommer le moins possible d'énergies d'appoint, optimisant les apports solaires, les déphasages et une ventilation bien dimensionnée. Notons qu'une maison BBC (bâtiment basse consommation) ou HQE (haute qualité environnementale) n'est pas forcément éco construite : elle peut être isolée en laine de verre ce qui augmente nettement son coût en énergie grise, et peut diminuer son efficacité d'isolation en été. Une éco-construction bien réalisée tendrait à stocker ses surplus d'énergie produits pendant les périodes creuses afin de pouvoir les utiliser lors des pics de consommation.

### **2.2.3. Construction vernaculaire**

La construction vernaculaire est le moyen traditionnel et naturel par lequel les communautés créent leur habitat. C'est un processus en évolution nécessitant des

changements et une adaptation constante en réponse aux contraintes sociales et environnementales.



Photo 3 : Oasis Rouge, Timimoun

(Source : Catalogue de l'Exposition "De terre et d'argile",  
Yasmine Terki, Ministère de la Culture, p.51)

### Conclusion

La construction en terre est une construction vernaculaire, bioclimatique et durable à la fois. Aujourd'hui, la construction de tout bâtiment devrait prendre en compte le non-épuisement des matières premières pour les générations futures et éviter la consommation excessive d'énergie. Sans oublier de se ressourcer localement en techniques traditionnelles et en matériaux locaux pour rester en accord avec l'environnement socio-culturel et écologique qui particularise chaque région

## Chapitre 3 : La construction en terre à Adrar

---

### 3.1. Localisation

La wilaya d'Adrar est située dans le sud-ouest de l'Algérie, à 1500 km d'Alger, bordée par les wilayas d'El Bayadh, Béchar, Tindouf, Tamanrasset, Ghardaïa et aux frontières sud par le Mali et le Niger. Sa superficie est de 427 968 km<sup>2</sup> et sa population est estimée à 350 000 habitants. Elle comprend 11 Daïra, 28 Communes et 299 ksars (villages). Elle est constituée de trois régions, la province de Touat, du Gourara et du Tidikelt.

### 3.2. Histoire

L'appellation d'origine berbère Adrar signifie montagne. Elle a été donnée à la ville coloniale qui a été fondée aux abords des ksour du Timmi au début du XX<sup>e</sup> siècle. Aujourd'hui, Adrar est une vaste Wilaya qui inclut les trois provinces historiques du Touat, Gourara et Tidikelt.

La ville d'Adrar est une oasis de verdure qui jouissait d'une position stratégique, au carrefour des pistes qui traversaient le désert vers les marchés de l'Afrique subsaharienne et ce depuis le début de la conquête islamique de l'Afrique du Nord.

La région a été témoin de la migration de nombreuses tribus fuyant les guerres et les conflits et la cruauté des rois jusqu'au 18<sup>ème</sup> siècle. Tamentit, lieu de savoir et de religion est la première cité urbaine qui fut capitale de la province.

Toute la région du Touat, s'est enrichie d'un patrimoine culturel important, issu d'une interaction culturelle et civilisationnelle avec différents apports extérieurs.

Cette région située entre les 30°/26° Nord et la longitude 4° ouest à 1° Est, comprend le nombre important de plus de 350 oasis et leurs ksour, riches de leurs Khizanate (bibliothèques) emplies de manuscrits anciens ainsi que de monuments culturels contribuant à en faire des sites culturels et touristiques intéressants.



Photo 4 : Ksar Ighzer, Timimoun

(Source : Catalogue de l'Exposition "De terre et d'argile",  
Yasmine Terki, Ministère de la Culture, p.152)

### 3.3. Le patrimoine architectural construit en terre à Adrar

#### 3.3.1. Analyse architecturale et urbaine des ksour

Plusieurs éléments structurants participent à dessiner l'espace architectural et urbain des cités oasiennes. Ces ksour sont disposés en général de l'extérieur de la manière suivante selon la description de Djaafri A. (Djaafri A., 2010)<sup>1</sup>

- **La tranchée autour des murs (El Khandek, ahfir)** : est parfois remplie d'eau pour contrer l'ennemi, et parfois sans eau.
- **Le pont (El Qantara)** : Le passage extérieur qui coupe la tranchée à l'entrée du ksar, est faite de bois et de la ferronnerie serrée avec des cordes épaisses de fibres de palmiers.
- **Les remparts, l'enceinte de la forteresse ou fortifications (El Sour)**: Murs extérieurs défensifs ponctués de meurtrières (petites ouvertures), d'une épaisseur très importante d'environ 50 centimètres et plus, permettant en plus de l'aspect défensif une isolation de la chaleur externe.

<sup>1</sup> <http://www.taouat.net/main/index.php/2014-10-23-10-12-39/307-2014-10-24-10-06-38>



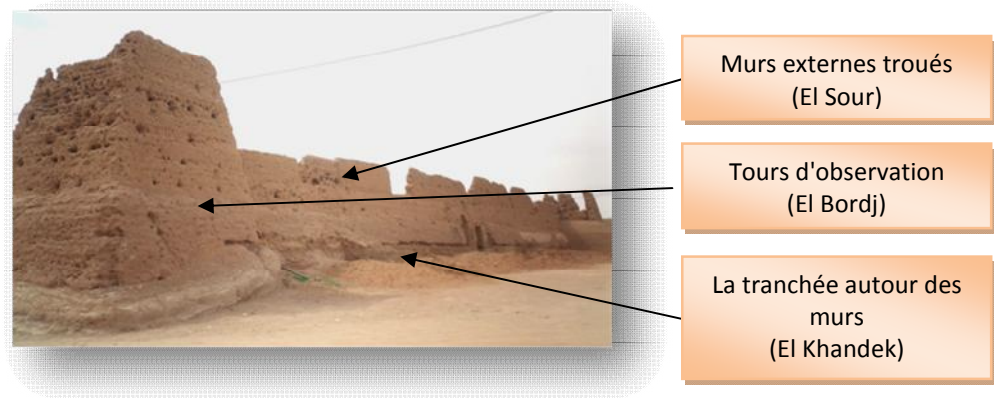


Photo 5 : Ksar de Tamentit, Adrar

(Source: B. Medjdi et B. Boudjamâa, Architecture Traditionnelle du Touat, Cas d'étude Tamentit, Mémoire de fin d'études, 2010)

- **Tours d'observation (Bordj)** : Une tour dans chacun des quatre angles du ksar, d'une grande hauteur et au centre évidé.
- **L'entrée principale** : C'est une très grande porte en bois connue localement par l'entrée du ksar et tirée par des troncs de palmiers et d'une ferronnerie pour les fixations à la base. Egalement une serrure en ferronnerie artisanale en forme de peigne et appelée "Afker".
- **Maisons** : elles se composent d'une porte d'entrée en bois et de trois à quatre chambres et d'une cuisine, une cour appelée Rahba, ouverte en haut au milieu de la maison et fournit l'élément d'éclairage et de ventilation pour toutes les pièces.
- **Rues principales** : Ce sont de grands corridors publics qui se croisent dans le ksar et relient ses principaux ouvrages tels que la porte extérieure, la mosquée, le puits.



Photo 6 : Rue principale en 2010



Photo 7 : Rue principale en 2018

(Source : B .Medjdi et B.Boudjamâa, Architecture ancienne du Touat, Cas d'étude Tamentit, Mémoire de fin d'études, 2010)

- **Les ruelles ("Zgag", azika) :** ruelles étroites qui relient l'accès aux rues principales et sont généralement entourées de petits seuils en forme de sièges le long de la ruelle.



Photo 8 : Ruelles (zgag)

( source : à gauche auteur, 2018 et à droite B .medjdi et B.Boudjamâa, Architecture ancienne du Touat, Cas d'étude Tamentit, Mémoire de fin d'études, 2010)

- **La mosquée :** c'est le bâtiment le plus important du ksar, il prend son centre et sa façade vers la qibla. Elle a sa propre architecture composée d'arcs séparés par des arcs, le nombre d'arcs dépend de la longueur des couloirs.



Photo 9 : Mosquée

(Source : B.medjdi et B.Boudjamâa, Architecture ancienne du Touat, Cas d'étude Tamentit, Mémoire de fin d'études, 2010)

- **Puits d'eau :** C'est une réserve pendant les temps de guerre, quant on ferme La Porte du ksar pendant une longue période qui peut être prolongée ou limitée selon les circonstances de la guerre.



- **Foggara** : (pour boire et l'irrigation). C'est un groupe continu de puits réalisés et reliés entre eux de manière progressive en passant par le ksar et déversant dans les vergers selon un système de partage précis.



Photo 10 : Foggara, centre-ville d'Adrar

(Source : Auteur, 2018)

- **Le magasin extérieur** : appelé *mishar*, qui est parfois séparé de la maison, et qui est entouré d'un mur de terre, à moitié ouvert et couvert et où sont conservés les produits annuels des dattes, des plantations, du blé et divers aliments.
- **Étable** : Un petit bâtiment sur le côté de la maison que se compose de deux espaces principaux, le premier couvert et le second sans abri, et destiné à abriter les animaux qui servent pour la viande, le lait , les œufs et de la laine pour le tissage des tapis.

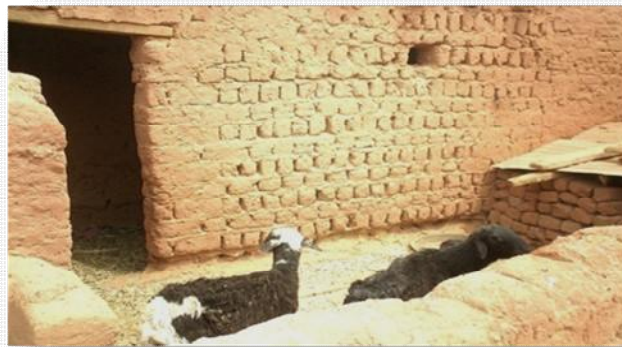


Photo 11 : Étable

(Source : B .medjdi et B.Boudjamâa, Architecture ancienne du Touat, Cas d'étude Tamentit, Mémoire de fin d'études, 2010)

- **Tunnel ou grotte (Naffak ou Ghar) :** C'est un grand et large tunnel réalisé grâce à la coopération des membres de la communauté du ksar pour ses fouilles et ses travaux d'ingénierie. Il est très profond et a une épaisse couche de séparation entre lui et la base du ksar. Il est également appelé foggara pour les habitants du ksar en été en raison de la fraîcheur de l'atmosphère.
- **Aire de prière de l'aïd (M'sallah) :** C'est un espace ouvert et indéterminé pour que la congrégation prie pour l'Aïd et écoute la khotba. Elle est libre de toute forme de construction sauf de la chaire semi-circulaire au milieu pour désigner la qibla.
- **Marchés :** Ce sont seulement dans certains grands ksour dont le territoire avait une activité commerciale distinctive.



Photo 12 : Ancien espace du marché, Rahba Toufaghi

(Source : auteur, 2018)

- **Le cimetière :** Ce sont des fosses communes du groupe du ksar ou de la kasbah pour enterrer leurs morts, sans architecture spécifique. Il peut y avoir de nombreuses tombes à l'intérieur du ksar.



Photo 13 : Ancien cimetière de Haï Bouslah à Tamentit

(Source : auteur)

- **Les mausolées (Koubbas) :** Ce sont des bâtiments sous forme de dômes dont les méthodes de construction et d'ingénierie diffèrent d'une région à l'autre. Les mausolées sont l'un des types d'architecture les plus importants qui ont été construits par les habitants du Touat pour sanctifier leurs hommes saints et savants après leur décès. Ces mausolées diffèrent par leurs conceptions d'une région à l'autre, mais ils ont un caractère général qui est souvent uni par un bâtiment voûté ou circulaire avec une petite entrée. Ces tombeaux ou dômes sont décorés avec des extrusions de petites pierres qui aident à atteindre le sommet du dôme (la koubba) pour l'entretien, la restauration et autres.



Photo 14 : Mausolée à Tamentit

(Source : auteur, 2018)

### 3.3.2. Bâtiments remarquables (Mosquées, mausolées)

Les bâtiments les plus importants dans les ksour de la région d'Adrar sont les mosquées, les mausolées et les écoles coraniques.

Ils jouissent d'une architecture plus élaborée que celle des habitations, sur le plan de la composition volumétrique, spatiale et décorative, souvent enrichies par la présence d'arcades. Ces arcs participent aujourd'hui sur le plan urbain dans la ville contemporaine à donner un cachet pittoresque à la ville d'Adrar et à ses communes.



Photo 15 : Mausolée de Sidi Slimane à Ouled Ouchen

(Source : <https://www.facebook.com/TouatAdrarNews/>)



Photo 16 : Bab Timimoun, Place des Martyrs, Adrar

(Source : auteur, 2018)



Photo 17 : Maison de la culture, Place des Martyrs, Adrar

(Source : auteur)





Photo 18 : Casbah de Melouka, Adrar

(Source : <https://www.facebook.com/TouatAdrarNews/>)

### **3.3.3. Matériaux de construction traditionnels locaux**

#### **3.3.3.1. Toub (brique de terre crue ou adobe)**

L'adobe est un matériau de construction fait d'un mélange de terre, d'eau et de chaume ou de paille. La terre utilisée doit contenir une proportion déterminée d'argile et de sable. Chaque élément du mélange joue un rôle. Le sable réduit la probabilité de microfissures dans le bloc de terre, l'argile agglutine les particules et le chaume de blé, quant à lui, donne un certain grade de flexibilité à l'ensemble.

La terre est présente partout sauf l'argile "rouge ou jaune " qu'il faut rechercher et extraire des différents gisements.

D'abord, creuser un trou et pétrir ces matériaux (sable+argile), tous utilisés à 50% et mélangés avec de l'eau. Avec l'ajout de paille, ce mélange devient une forme lâche. Laisser pendant une semaine ou plus les réactions chimiques se faire et puis repétrir après avoir ajouté de l'eau. Ensuite, ils sont extraits du trou pour former les briques sous forme cubique ou rectangulaire. Presser et enlever le moule pour laisser sécher les briques pendant 4 à 5 jours en été et 15 à 20 jours en hiver.

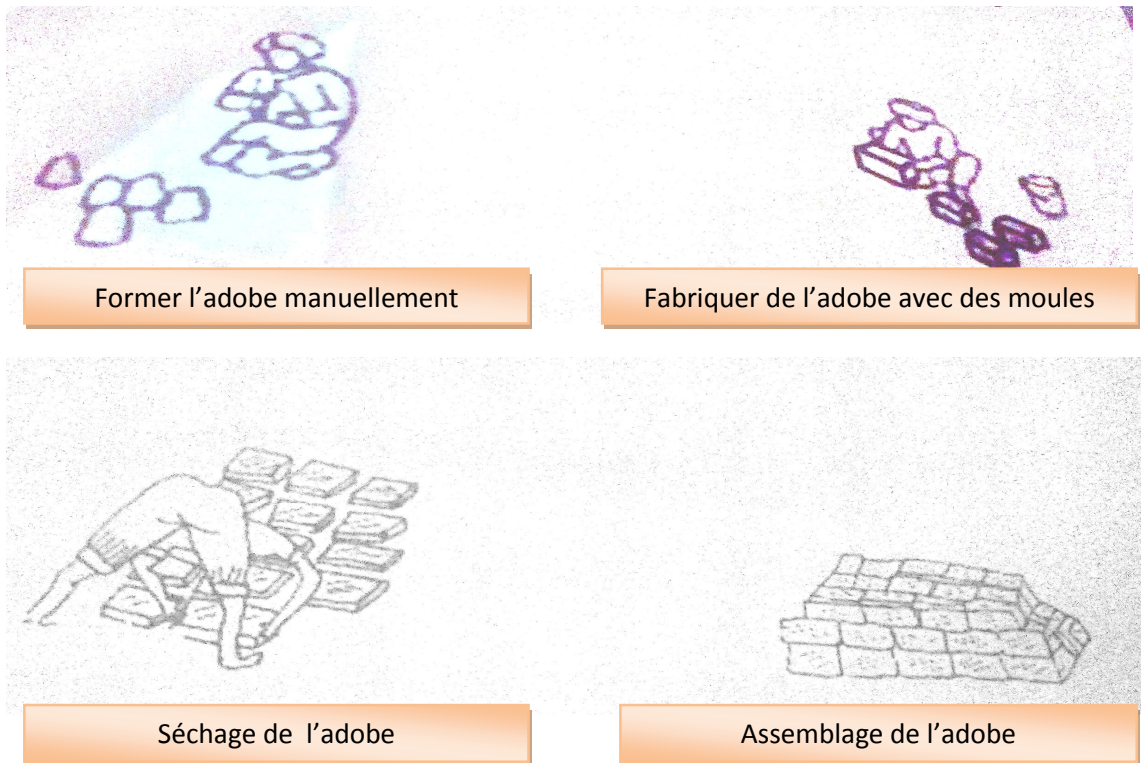


Figure 2 : Technique de fabrication de l'adobe

(Source : L'architecture islamique à Tamentit, Mohamed Ben Souissi, 2013, p. 304)

### 3.3.3.2. Troncs de palmier (khachba)

Ces éléments sont obtenus en divisant le tronc de palmier en 2 ou 4 coupes longitudinales. Après, ils sont laissés à sécher pendant plusieurs jours. Ils ne sont pas obligatoirement de forme droite et leur longueur ne dépasse pas deux mètres et demi au maximum, ce qui détermine les dimensions des espaces qu'ils auront à structurer.



Photo 19 : Khachba (Tronc de palmier)

(Source : auteur, 2018)

### 3.3.3.3. El Kernaf

C'est la partie inférieure des feuilles se présentant sous une forme conique. Ses dimensions sont de 20 x 25 cm.

### 3.3.3.4. El Fdam (fibre)

C'est un tissu organique. La fibre entoure le palmier. Il est utilisé sur El Kernaf après humidification avec de l'eau dans le processus de couverture.

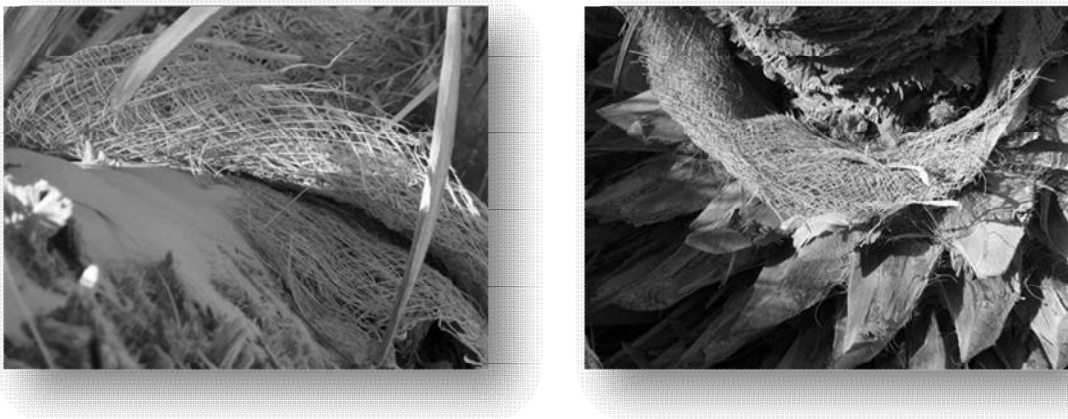


Photo 20 : El fdam, fibres de palmier

(Source : Kh. Aït Hammouda-Kalloum)

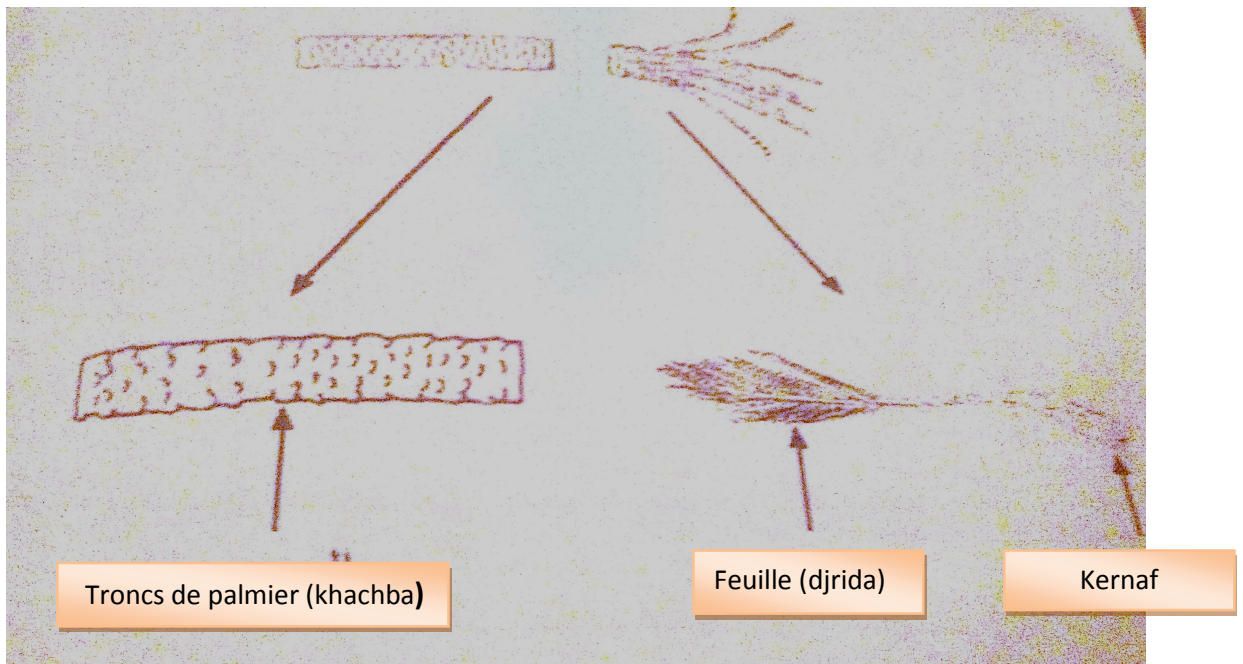


Figure 3 : Composition du palmier

(Source : L'architecture islamique à Tamentit, Mohamed Ben Souissi, 2013, p. 306)

### 3.3.4. Techniques de construction traditionnelle locales

Les techniques dépendent de chaque ksar. Elles ne sont pas arbitraires, mais sont le résultat de l'accumulation de longues expériences à travers les âges, en tenant compte des différents aspects comme suit :

#### 3.3.4.1. Fondations

La fouille est effectuée jusqu'à ce que la couche solide soit atteinte et à partir de laquelle les murs sont construits et élevés. Dans le cas où la couche superficielle de la terre est composée de Tafza, la construction est faite sans creuser les fondations.

#### 3.3.4.2. Murs

Après avoir creusé les fondations de chaque mur à construire, les briques sont placées dans un moule de forme régulière. Ensuite, mettre la boue molle, et ainsi de suite jusqu'à ce que les murs atteignent le sommet. Les murs de façade sont généralement hauts de manière à ce qu'un homme debout ne puisse voir l'intérieur.



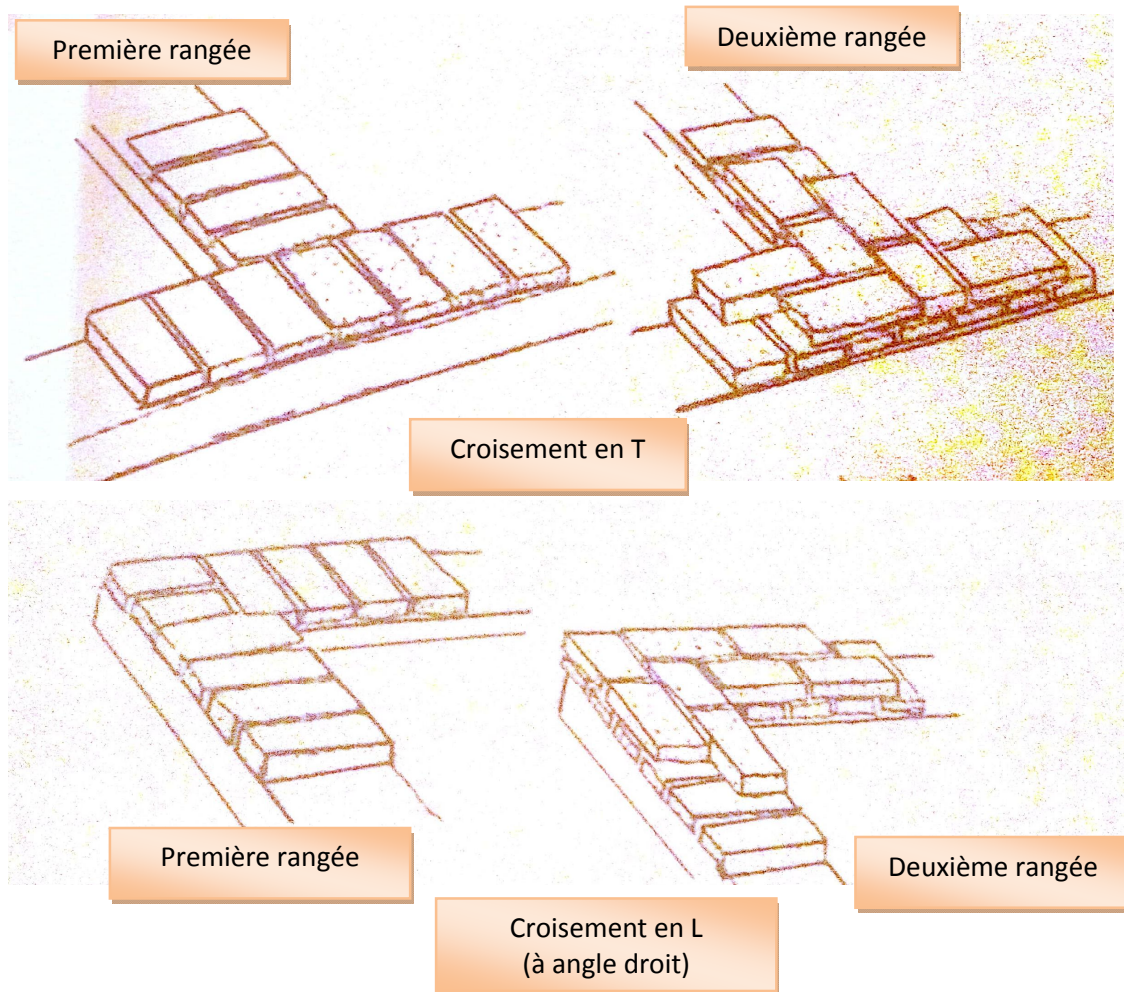


Figure 4 : Technique de construction fondations et murs

(Source : L'architecture islamique à Tamentit, Mohamed Ben Souissi, 2013, p.308)

### 3.3.4.3. Planchers et escaliers

Les troncs de palmier sont alignés au-dessus des murs parallèles et espacés de 20 à 25 cm, et reliés par «alkarnaf» dans le sens perpendiculaire, lui donnant un bel aspect. Au-dessus est disposée la fibre végétale appelée «*alfdam*» renforcée parfois par des tiges de blé broyées appelé «*albromi*». Le rôle de ce système est d'empêcher les fuites d'eau du plafond vers le bas en le recouvrant d'une couche d'argile molle. Celle-ci doit être épaisse pour empêcher le transfert de chaleur de l'extérieur vers l'espace intérieur. Il a également la fonction de garder la maison au chaud en hiver. Le plafond contient les ouvertures de «*el-coua*» permettant la ventilation de la maison et la pénétration des rayons de soleil.

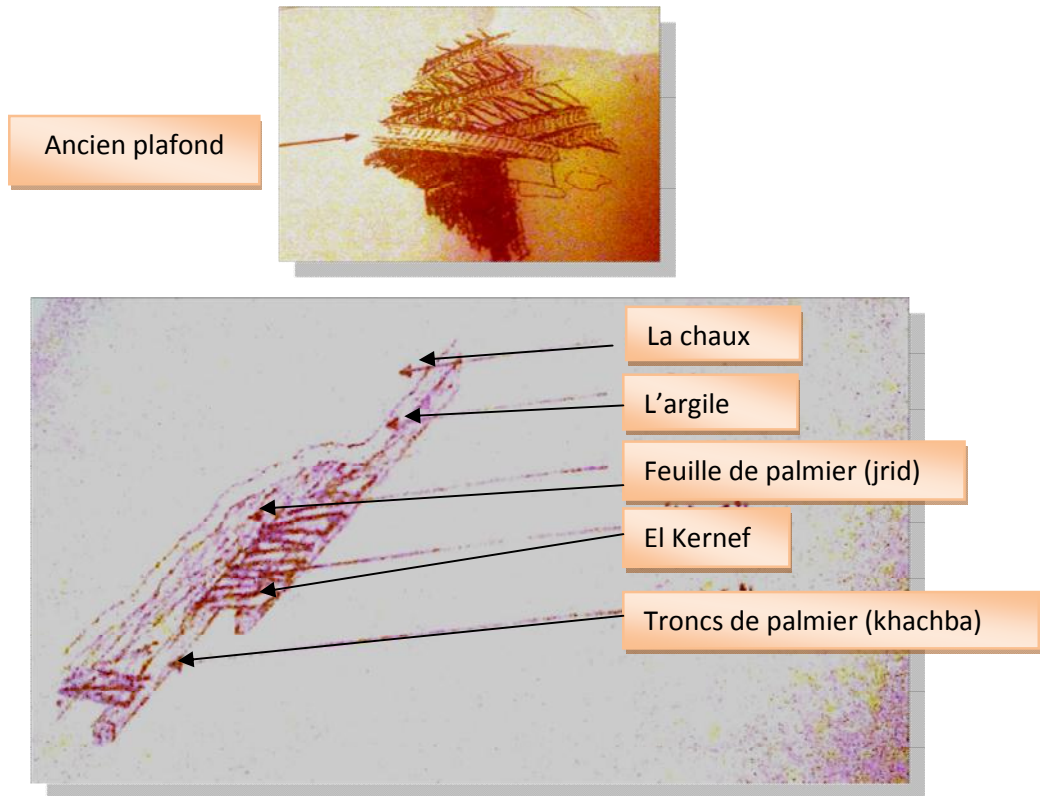


Figure 5 : Schéma de disposition d'un plancher ancien

(Source : L'architecture islamique à Tamentit, Mohamed Ben Souissi 2013, p. 307)

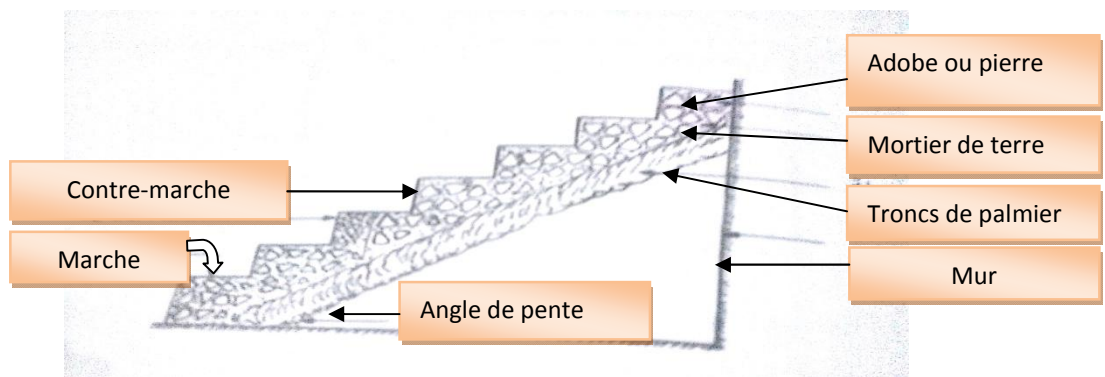


Figure 6 : Technique de réalisation traditionnelle des escaliers

(Source : L'architecture islamique à Tamentit, Mohamed Ben Souissi 2013, p.309)

#### 3.3.4.4. Ouvertures (portes)

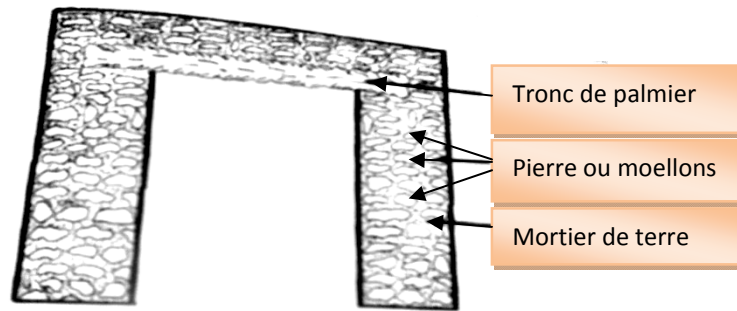


Figure 7 : Technique de réalisation des portes

(Source : L'architecture islamique à Tamentit, Mohamed Ben Souissi 2013, p.310)

### Conclusion

L'analyse présentée ci-dessus, nous a permis d'approcher les techniques de construction traditionnelles locales et de voir comment les habitants d'Adrar ont procédé pendant des siècles et jusqu'à nos jours afin de trouver des solutions techniques simples, inspirées de la nature environnante et répondant aux dures conditions climatiques de la région saharienne.

Dans le but de sauvegarder cette architecture locale, il est nécessaire de maîtriser ces techniques afin de remédier aux dégradations subies par les constructions ksouriennes car, pour restaurer et réhabiliter ce bâti ancien, il nous faudra dans la mesure du possible et selon le degré de dégradation, réutiliser ces mêmes procédés constructifs traditionnels, ou alors de les améliorer.

## Chapitre 4 : Pathologies et traitement

---

### 4.1. Inventaire des pathologies courantes sur les constructions bâties en terre

Les bâtiments en briques de terre crue sont sujets à de nombreux problèmes, détériorations et perturbations, en raison de leur sensibilité à l'eau.

Et donc doit surveiller et analyser les symptômes et ensuite déterminer le diagnostic des causes de maladies et le développement de troubles et de risques et l'accès à des traitements appropriés, Il existe deux types de pathologie définie en CRATerre «pathologies humides» dues au ruissellement et à l'humidité et "pathologies structurelles" dues à la surcharge et aux causes des fissures et dont nous allons chercher à montrer les pathologies courantes dans la boue de construction en général et dans les sanctuaires en particulier.[Mémoire Hafsa laâmourî 2014]

#### 4.1.1. Pathologies humides des constructions en briques de terre crue

Comme son nom l'indique, elles sont liées à l'action de l'eau, et dues soit à l'exposition d'une surface du bâtiment à l'action d'eau, ou à l'existence des ouvertures (fenêtres, fissures) dans cette dernière, qui permet l'infiltration des eaux, ou bien la présence d'une force de pression ou capillaire qui fait pénétrer l'eau à l'intérieur du bâtiment.

##### 4.1.1.1. Les différents types d'humidité

Nous distinguons quatre types d'humidité :

##### - Humidité ascensionnelle ou remontée capillaire:

Elle est due à l'effet de la remontée capillaire, et parfois à cause des fuites de canalisations.

L'humidité pénètre et remonte à l'intérieur de mur par l'effet de capillarité.

La remontée capillaire se fait de bas en haut, du froid vers le chaud, et se manifeste dans les murs dont le pourcentage de porosité est très élevé. Elle se fait d'autant mieux que les pores des matériaux constitutifs du mur sont nombreux, minces et communiquent entre eux.

### - Les infiltrations des eaux de pluie :

Elles sont dues aux fissurations, aux dégradations de mortier des joints et des enduits, etc. Ce type est très remarquable dans les façades à enduit fissuré imperméable exposées directement à la pluie.

### - Humidité de condensation :

On peut la trouver dans les locaux non ventilés, soit superficielle sous forme de gouttelettes sur la surface interne des murs, soit interne dans l'épaisseur même du mur lorsque la vapeur d'eau atteint son point de condensation à l'intérieur des parois.

### - Humidité d'origine accidentelle :

Elle est due aux infiltrations d'eau accidentelles.

#### 4.1.1.2. Les pathologies liées à l'humidité

Elles sont groupées en quatre catégories en fonction du rôle de l'humidité, ainsi nous distinguons les altérations suivantes:

### - Les altérations liées à l'action propre de l'humidité :

Lorsque la vapeur d'eau ou l'eau liquide se transfère à travers les parois, leurs propriétés physiques subissent des modifications. Ces modifications peuvent se présenter dans la variation des dimensions lorsque l'eau et la vapeur d'eau remplissent les vides, jusqu'à la diminution de la résistance mécanique à la compression.

Cette résistance est dépendante de la teneur en eau des matériaux. Plus le taux d'humidité augmente plus la résistance mécanique diminue.

Beck Kevin montre suite à des expériences que la résistance à la compression diminue de 55% entre l'état sec à l'état de saturation.

L'explication de ce phénomène donnée par R. Collombet est la suivante :

*« lorsqu'on exerce une compression sur un matériau humide, l'eau tend à s'en échapper, développant ainsi une pression qui s'ajoute à la contrainte exercée sur le matériau diminuant ainsi sa contrainte de compression admissible, causant la rupture du matériau. »*

### - Le gel dégel des matériaux :

Lorsque l'eau présente dans les vides se transforme en glace, celle-ci va exercer des pressions sur les autres pores provoquant la destruction et l'éclatement du mur en briques.

### - Phénomène d'origine chimique : cristallisation des sels

Après l'évaporation des eaux traversant les murs, on remarque souvent des taches blanches, c'est la formation des cristaux de sel qu'on appelle « le salpêtre ». Les sels les plus fréquents à la surface des murs en terre crue sont : les chlorures de sodium, les sulfates de magnésium, de sodium et de calcium. Ils peuvent avoir pour origines les eaux souterraines, et les gaz atmosphériques. La cristallisation peut avoir lieu à la surface (efflorescence), ou dans la paroi (su florescence). Dans les deux cas, elle provoque l'effritement et le décrochement des briques, plus grave encore, l'affaiblissement de la cohésion, qui désintègre le matériau, augmente la taille des pores et pulvérise la brique d'adobe.[Mémoire Hafsa laâmouri 2014].

### - Les altérations se développant en milieu humide :

On distingue :

- **Des dégradations biologiques** : l'apparition des moisissures et des champignons tel que « la mэрule ». Les dégâts observés sont la pourriture des parties en bois affectées par l'eau en particulier celles encastrées dans le mur, ainsi que les fissures et la perte de solidité.

- **Les creux** : sur les murs subissent des remontées capillaires, l'action de l'eau, le vent, les oiseaux,... peuvent provoquer des creux sur les murs.

### Le diagnostic :

Pour prémunir notre construction en terre crue des manifestations d'humidité, il faut connaître les causes des phénomènes que l'on observe, soit l'apparition des tâches blanches sur le mur, les franges continues ou discontinues en bas de mur, etc.

Puis choisir le traitement adéquat. Cette opération est appelée « le diagnostic » et se divise en deux étapes : « le pré-diagnostic » et qui consiste à collecter des informations sur les manifestations, c'est-à-dire les causes, la nature, et l'importance des dégâts. La deuxième est une étape complémentaire à la première, si celle-ci ne suffit pas, et qui s'articule sur les mesures instrumentales.

R. Collombet (1993) résume pour l'agence nationale pour l'amélioration de l'habitat en France les observations nécessaires pour établir un diagnostic des constructions en terre crue, rassemblées dans le tableau suivant et ce afin d'établir les remèdes adéquats.



Tableau 1 : Tableau récapitulatif des éléments de diagnostic des constructions en terre crue

	Nature des manifestations de l'humidité	Causes probables	Observations nécessaires pour établir le pré-diagnostic
Extérieur du bâtiment	Frange humide discontinue à la base des murs	Remontée capillaire	Permanence du phénomène, Humidité des parements intérieurs des murs concernés, Humidité des bâtiments voisins.
	Frange humide discontinue à la base des murs	1) Humidité d'origine accidentelle. 2) Rejaillissement de la pluie. 3) Remontée capillaire.	Etat des ouvrages d'écoulement d'eau ; Absence de gouttière au bord des toits ; Nature du sol au pied du mur concerné; Relation entre la pluie et l'apparition du phénomène; Hétérogénéité de la construction ; Recherche l'origine de l'eau.
	Auréoles ou efflorescences isolées ou à tout niveau du mur.	1) Squelette d'une ancienne invasion d'humidité. 2) Humidification superficielle.	Permanence du phénomène ; hétérogénéité des matériaux; Relation entre l'humidité ambiante et l'apparition du phénomène.
	Taches humides à tous niveau du mur.	1) Squelette d'une ancienne invasion d'humidité. 2) Humidification superficielle.	Etat des ouvrages d'écoulement d'eau; capillarité des matériaux ; défectuosité ponctuelle (fissures)
Intérieur du bâtiment	Frange humide continue à la base des murs ou humidité intéressant toute la hauteur des murs	Remontées capillaires.	Permanence du phénomène ; humidité des murs de refond.
	Frange humide discontinue à la base d'un mur ou humidité intéressant toute la hauteur d'un mur.	1) Humidité d'origine accidentelle. 2) Remontées capillaires. 3) Condensation.	Etat des canalisations d'eau; Recherche de l'origine d'eau; Caractère intermittent du phénomène; Stagnation de l'air; Existence d'un pont thermique et d'une paroi froide.
	Humidité des planchers sur toute leur surface ou sous forme de taches humides.	1) Remontées capillaires. 2) Condensation.	Permanence du phénomène ; Humidité de la base des murs ; caractère intermittent du phénomène
Tout niveau	Humidité d'un ou plusieurs murs sur toute leur surface ou sous forme de taches ponctuelles.	1) Condensation. 2) Infiltration latérale. 3) Humidité d'origine accidentelle.	Localisation des manifestations ; Caractère intermittent du phénomène; Existence d'une paroi froide ou d'un pont thermique; Stagnation de l'air; Relation entre la pluie et l'apparition du phénomène; Façade non abritée exposée à la pluie; défectuosité de cette façade; état des canalisations et des « points d'eau ».

(Source : Idir Lydia, « Présentation d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine architecturale en terre en Algérie », Mémoire de magister, Université de Tizi Ouzou, 2013)



## 4.2. Pathologies structurelles des constructions en briques de terre crue

### 4.2.1.1. Pathologies coplanaires des parements du mur

Leur principale caractéristique réside dans le fait que les dommages, sous forme de lézardes, de fissures ou de tassements, apparaissent sur les parements superficiels et traversent généralement un élément de part en part. Elles sont parfois, les conséquences des pathologies humides. [Mémoire Hafsa laâmouri 2014]

#### a. Pathologie due à une trop forte compression sur une large partie du mur

Les fractures se forment généralement au niveau des parties supportant la plus forte charge, coïncident avec la partie inférieure du mur et se forment, généralement, au niveau des zones pleines où les poussées de charge entre les ouvertures sont à leur maximum.

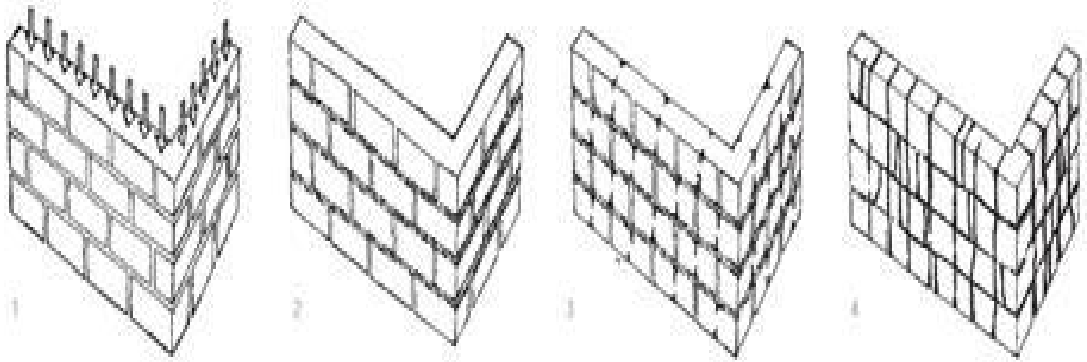


Figure 8 : Fractures au niveau d'une large partie du mur supportant une forte charge

(Source : CésarDíaz Gómez, « Les désordres structurels des bâtiments dans l'architecture méditerranéenne », p. 196. Cit. (mémoire final hafsa lamouri(2014))

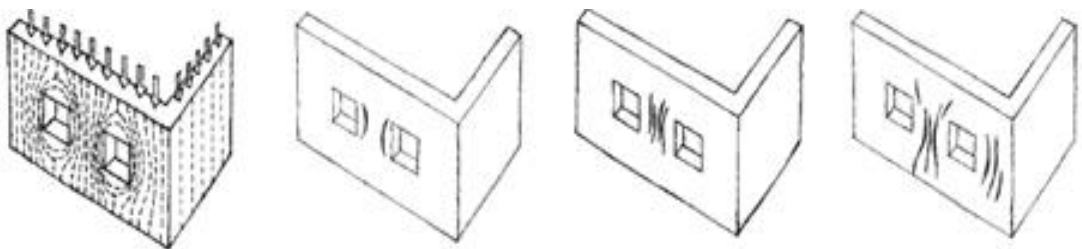


Figure 9 : Fractures dans la zone pleine (entre les ouvertures) dues à une forte compression sur une large partie du mur

(Source : CésarDíaz Gómez, « Les désordres structurels des bâtiments dans l'architecture méditerranéenne », p. 196. Cit. (mémoire final hafsa lamouri(2014))

**b. Désordres dues à des charges ponctuelles**

Les fissures sont inclinées par rapport aux côtés de l'élément à l'origine de la charge –généralement une poutre ou une poutrelle– ou bien elles suivent une ligne verticale sous l'élément en question.

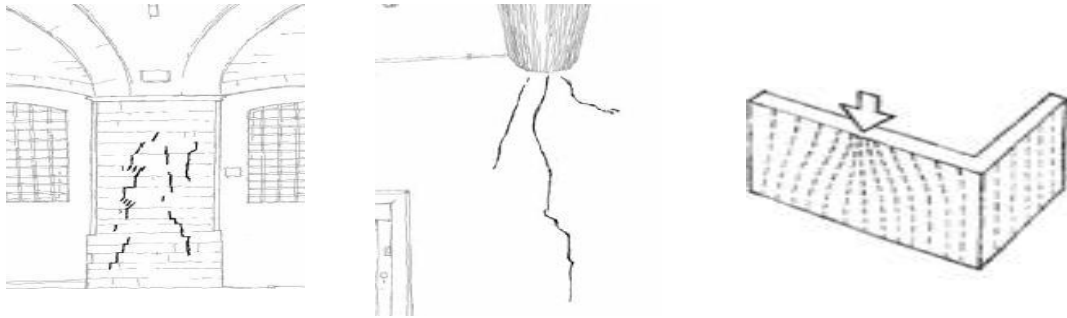


Figure 10 : Désordres dus à une charge ponctuelle, cas du poids propre d'une poutre ou poutrelle

(Source : César Díaz Gómez, « Les désordres structurels des bâtiments dans l'architecture méditerranéenne », p. 197.) (mémoire final hafsamour(2014))

**c. Pathologie due à des manques de rigidité des éléments collaborant**

La déformabilité de certains éléments qui sont censés d'une extrême rigidité, est la cause de la déformation des schémas singuliers de fracture. On donne deux exemples :

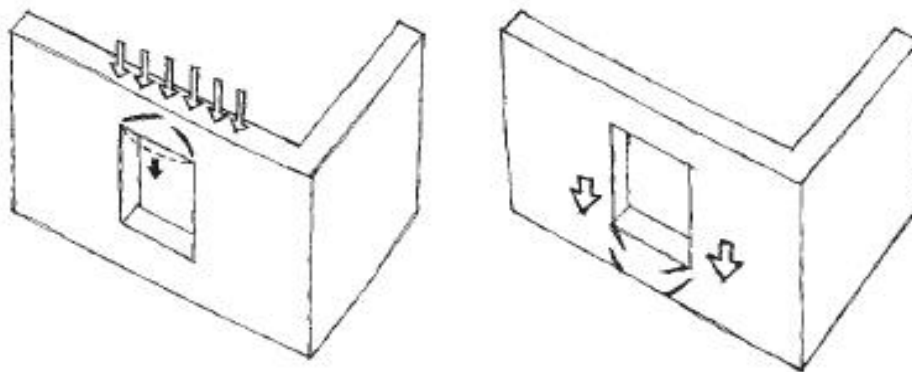


Figure 11 : Fissures dues à la déformabilité d'un linteau

(Source : César Díaz Gómez, « Les désordres structurels des bâtiments dans l'architecture méditerranéenne », p. 198.)

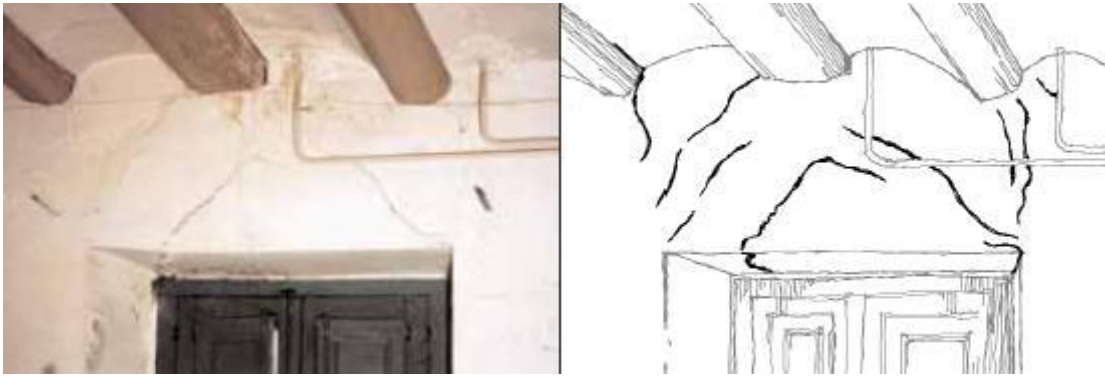


Figure 12 : Fissures dues à la déformabilité des poutres constituant le plancher

(Source : César Díaz Gómez, « Les désordres structurels des bâtiments dans l'architecture méditerranéenne », P 198.), Op.Cit. (mémoire final hafsa lamouri(2014))

**d. Pathologie due à des différences de charges entre les murs transversaux**

La formation d'une fracture verticale dans l'angle formé par le mur supportant la charge des planchers et le mur transversal est un phénomène fréquent. La perte de continuité des murs entraîne une baisse de leur monolithisme.

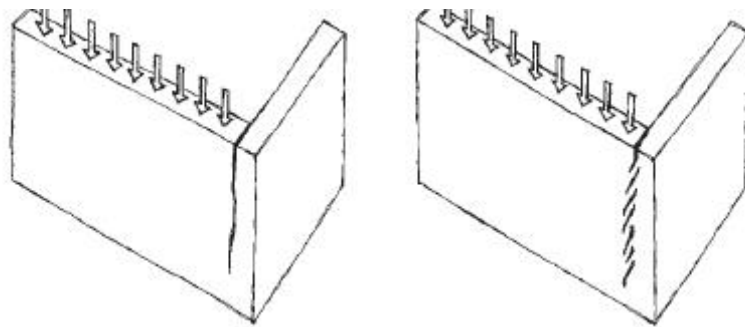


Figure 13 : Fracture verticale entre le mur supportant la charge du plancher et le mur traversant, due à une différence de charges entre les deux

(Source : César Díaz Gómez, « Les désordres structurels des bâtiments dans l'architecture méditerranéenne », P 198.), Op.Cit. (mémoire final hafsa lamouri(2014))

**e. Pathologie due aux mouvements différentiels des fondations**

Les causes d'un mouvement différentiel des fondations sont :

- Hétérogénéité du sol porteur (sol présentant une différence de résistance et de perméabilité) ;
- Surcharge du bâtiment ;
- Surélévation tardive augmente la charge sur le sol ;
- Modification de la descente des charges suite à une nouvelle charge concentrée ;

- Cisaillement de la semelle de fondation suite au passage de nouvelles canalisations ;
- Accroissement de la teneur en eau du sol.

L'affaissement d'un sol peut se produire soit à l'angle (soit au milieu du mur). Dans le premier cas, la fissuration est caractérisée par « un angle  $\alpha$  », dont le point le plus haut atteint le faitage du mur. Dans le deuxième cas, l'affaissement génère une série de fissures dans la situation où le mur comporte des ouvertures, celle-ci sont dérivées vers les parties offrant une faible résistance à la rupture.

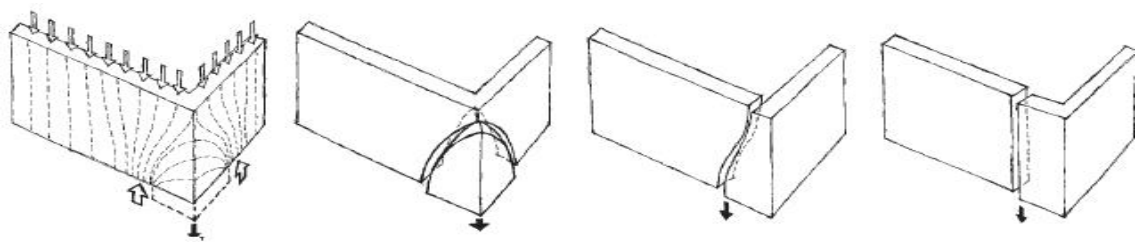


Figure 14 : Fissurations à l'angle du mur dues à un mouvement du sol

(Source : César Díaz Gómez, « Les désordres structurels des bâtiments dans l'architecture méditerranéenne », p. 201), Op.Cit. (mémoire final hafsa lamouri(2014))

### 4.2.1.2. Pathologie structurelle des planchers faits de poutres et de poutrelles

Les causes principales des désordres dans les planchers sont :

- **Défauts de conception** : tel que le sous dimensionnement des poutres et poutrelles, leurs longueur de pénétration dans le mur est insuffisante.
- **Les surcharges** : viennent des modifications effectuées au cours du temps, ou différentes utilisations, et qu'elles surchargent la structure.
- **L'humidité** : à cause de leurs sensibilité à l'eau, les poutres et poutrelles (en bois) constituant le plancher, subissent des dégradation au niveau des appuis quand les murs sont humides, qui provoquent leur pourrissement, menant à la diminution de la résistance du bois, et donc celle du plancher.
- **Action des parasites** : les éléments en bois du plancher sont sujets à l'attaque des insectes et champignons.

Les poutres et les poutrelles en bois constituant les éléments structurels porteurs du plancher présentent trois types de pathologies : les déformations, les fissures et les attaques biotiques.

### a. Les déformations

Il n'est pas rare que les planchers des bâtiments anciens soient fortement gondolés du fait de la forte fluence à laquelle sont soumis les éléments en bois qui les composent. La fluence n'est rien d'autre que la qualité d'un matériau à se déformer progressivement sous l'effet des charges supportées, sans qu'il ne soit nécessaire que ces charges augmentent. Ce phénomène est typique du bois qui travaille et qui gondole, ce qui a pour conséquence de diminuer la capacité de résistance de l'élément qui compose le plancher, et cette diminution doit être évaluée au cas par cas en fonction des caractéristiques mécaniques du bois, de la charge supportée par le plancher et de la flèche existante.

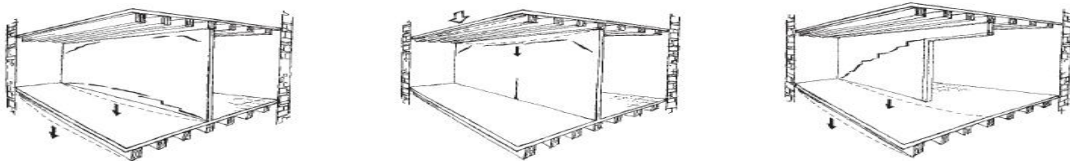


Figure 15 : Déformation des éléments du plancher quelle entraine la dégradation des éléments du bâtiment

(Source : César Díaz Gómez, « Les désordres structurels des bâtiments dans l'architecture méditerranéenne », p. 204), Op.Cit. (mémoire final hafsa lamouri(2014))



Photo 21 : Fléchissement d'un plancher

(Source : Idir Lydia, « Présentation d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine architecturale en terre en Algérie », Mémoire de magister, (mémoire final hafsa lamouri(2014))

### b. La présence de fissures

La présence de fissures n'est généralement pas due aux actions mécaniques supportées par le plancher, mais à des causes en rapport avec le séchage du bois ou aux cycles d'humidité ambiante.

### c. Les attaques biotiques

La diminution de la surface utilisable des éléments d'un plancher due à l'action des insectes et champignons, entraîne la diminution de la résistance du système porteur.



Photo 22 : Rupture d'une poutre par attaque d'insectes

(Source : Idir Lydia, « Présentation d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine architecturale en terre en Algérie », Mémoire de magister.)

### 4.1.2. Les principaux lieux et causes de désordres

#### 4.2.2.1. Les principaux lieux de désordres

Pour mieux profiter des avantages des constructions en briques de terre crue, il est important de connaître leurs performances, afin de les prévenir de certaines pathologies. Ces dernières sont généralement localisées:

- A la base des murs, à cause de la remontée capillaire, l'eau d'arrosage, ... ;
- Aux bords supérieurs des murs, à cause des eaux de pluie et de rejaillissement ;
- A des endroits précis tels que les ouvertures.

#### 4.2.2.2. Les principales causes de désordres

Les systèmes constructifs en briques de terre crue ne résistent qu'aux efforts de compression, ce qui oblige à éviter leur exposition aux efforts de traction et de flexion, et plusieurs d'autres causes de désordres qui sont :

- Les fortes pathologies humides telles que : les eaux de pluie, de ruissellement, la remontée capillaire, etc ;
- Mauvais choix du terrain de construction tels que : les terrains gonflants, de faible résistance, instables, etc.
- La mauvaise conception et réalisation des bâtiments : sous dimensionnement et excentricité des fondations, murs trop percés d'ouvertures, charges trop élevées non reprises par les chainages, mauvais choix de terre, adobes mal appareillés, mauvais ancrage des poutres de planchers dans les murs, etc. [Mémoire Hafsa laâmouri 2014]
- L'action du vent et les objets qui sont transportés sur le haut et le bas des murs.

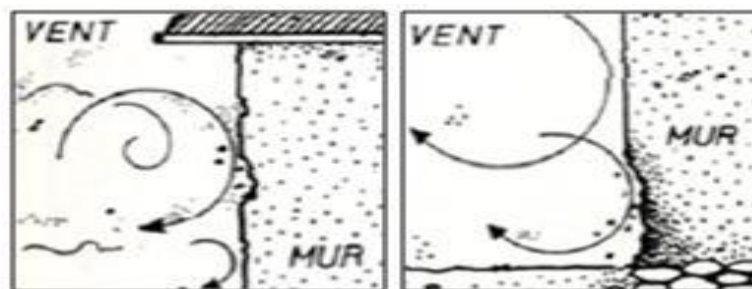


Figure 16 : Action du vent en haut et bas d'un mur en adobe

(Source: Ahmed Ali, mémoire de magister, Juin 2011(mémoire hafsa laâmouri 2014.))

## 4.2. Techniques de réhabilitation et traitements préconisés

### 4.2.1. Réhabilitation des structures atteintes

#### 4.2.2.3. Techniques de consolidation

Une fois l'évaluation effectuée, on procède à la stabilisation des parties endommagées au moyen d'étais, qui doivent les soutenir tout au long de l'intervention. Si nécessaire, il convient de limiter l'accès à l'habitation pendant cette période afin d'éviter les accidents.



#### 4.2.2.4. Réhabiliter les fondations et les soubassements

L'une des causes de détérioration des murs est que ceux-ci sont en contact direct avec le sol, deux solutions existent.

#### 4.2.2.5. Nettoyage et mise à niveau

Dans le cas où les fondations et le soubassement sont en bon état, la solution consiste juste à éliminer la terre qui recouvre le mur jusqu'au soubassement et laisser le niveau du sol 10 cm au minimum au-dessous des soubassements.

#### 4.2.2.6. Reprise des fondations

Si la base du mur présente des écroulements qui mettent en danger la stabilité de l'édifice, ou que l'on a constaté un défaut de fondations, la solution est d'étayer au préalable le mur, de démolir la partie endommagée, ensuite, on procède à une reprise de fondations et la reconstruction du mur.

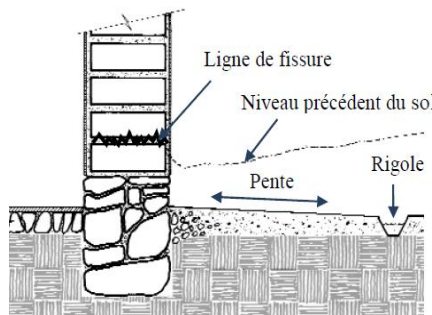


Figure 17 : Nettoyage et mise à niveau

(Source: CRATerre)

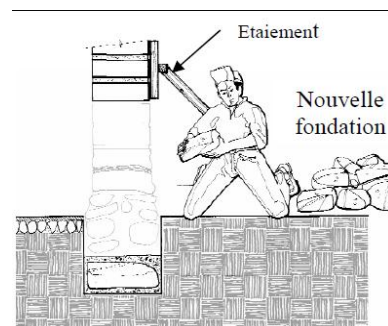


Figure 18 : Reprise des fondations

(Source : Kadoui and Dahli CIAT, 2015)

#### 4.2.2.7. Consolidation des murs

##### a. Renforcer un mur par un chaînage

Une des techniques réparatrices des problèmes d'inclinaison et de séparation des murs consiste à les renforcer par l'ajout d'un système de chaînage.

Pour cela, il faut consulter un expert pour le détail du ferrailage et le béton à employer selon l'état et la taille de l'édifice, l'exécution se fera suivant ses indications. Les matériaux employés, le bois, l'acier ou le béton armé doivent avoir une bonne adhérence avec la terre pour assurer l'efficacité du chaînage.



Les chainages en bois sont posés dans l'épaisseur des murs, ancrés par des aciers et des colliers métalliques, le tout coulé dans un bain de mortier. Cependant, le bois demeure sensible à l'eau et aux termites. Pour cela, il est conseillé d'employer des bois traités et secs, débarrassés de leur écorce. Concernant les chainages en acier, ces derniers doivent être convenablement ligaturés et suffisamment enrobés de mortier et de béton.

Il est conseillé de couler le chaînage sur une couche de terre stabilisée pour assurer une bonne adhérence du béton à la terre et éviter une détérioration par le contact avec le matériau humide (Figure 19).

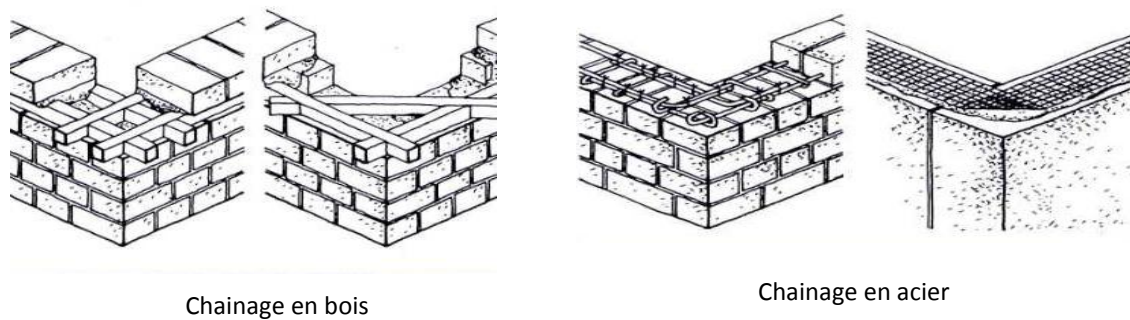


Figure 19 : Renforcement d'un mur avec un chaînage

(Source : CRATerre, Kadoui and Dahli CIAT2015)

### b. Liaison d'angle

Il existe de nombreuses solutions de traitement des angles en employant la pierre, la brique cuite, le mortier de chaux.

Ces matériaux sont incorporés dans l'angle extérieur exposé à l'érosion, lors de la mise en oeuvre (Figure 20). La méthode convient surtout pour les constructions en pisé, elle consiste à réaliser un harpage qui assure une bonne liaison entre le matériau et la terre crue.

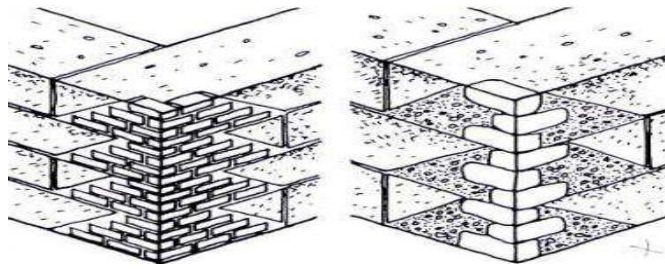


Figure 20 : Angles maçonnées en matériaux durs

(Source : CRATerre, *Idir Kadoui and Dahli CIAT*, 2015)

### c. Renforcement des angles au moyen de clé

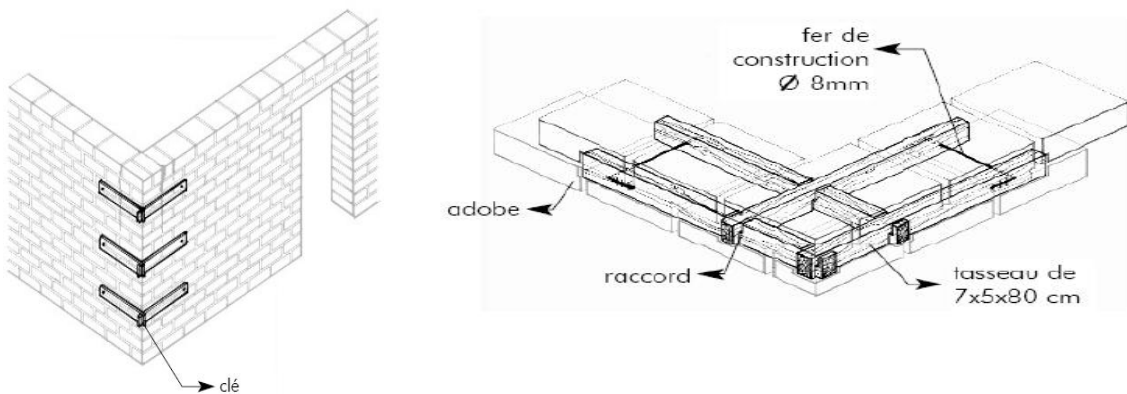


Figure 21 : Détail de la clé en bois

(Source : CRATerre, *Idir Kadoui and Dahli CIAT*, 2015)

Il est recommandé de les installer à intervalle égale, la figure 21 illustre le détail de la clé, il est réalisé en bois, constitué par des chevillages mâle et femelle. Une fois les clés sont installées on rebouche les fissures, ensuite on recouvre le tout d'un mortier de terre et de paille en prenant le soin de remplir les espaces restants entre la clé et le mur.

### d. Mise en place de tirants

Un tirant est un appareillage métallique qui retient deux murs opposés ayant tendance à s'écarter. Cette méthode consiste à fixer des câbles en acier sur deux murs opposés pour éviter qu'ils s'écartent d'avantage. Les câbles doivent être posés de telle manière qu'ils ne nuisent pas à l'activité humaine à l'intérieur de la maison. Il convient également de prévoir que l'un des deux éléments d'ancrage admette le réglage périodique de la tension pour compenser les effets de l'allongement éventuel du tirant. Ils existent plusieurs types de tirant permettant de stopper l'écartement des murs, la figure 22, nous illustre :

-A gauche : un exemple de tirant réalisé avec des têtes d'ancrage métalliques à l'extérieur, pour chaîner les murs à l'angle ;

-A droite : nous avons un exemple de tirant réalisé avec étrier et tête d'ancrage métallique, placé à chaque chevron.

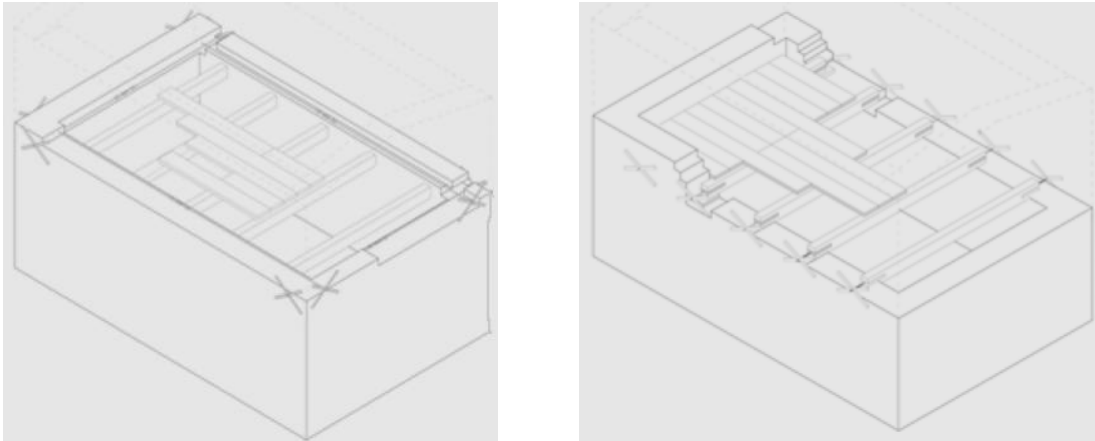


Figure 22 : Les tirants métalliques

(Source : CRATerre, *Idir Kadoui and Dahli CIAT*, 2015)

### e. Contreforts en maçonnerie

Ils remplacent les tirants lorsque le bâtiment n'est pas suffisamment rigide pour absorber les tensions ponctuelles créées aux points d'ancrage des tirants. Dans ce cas, le rôle des contreforts consiste à absorber les sollicitations que subissent les murs et de les transmettre au sol.



Photo 23 : Contrefort, Ksar Témachine

(Source : *Idir Kadoui and Dahli CIAT*, 2015)

#### 4.2.2.8. Réparer un mur en brique de terre crue

##### a. Réparation d'une détérioration partielle (déchaussement)

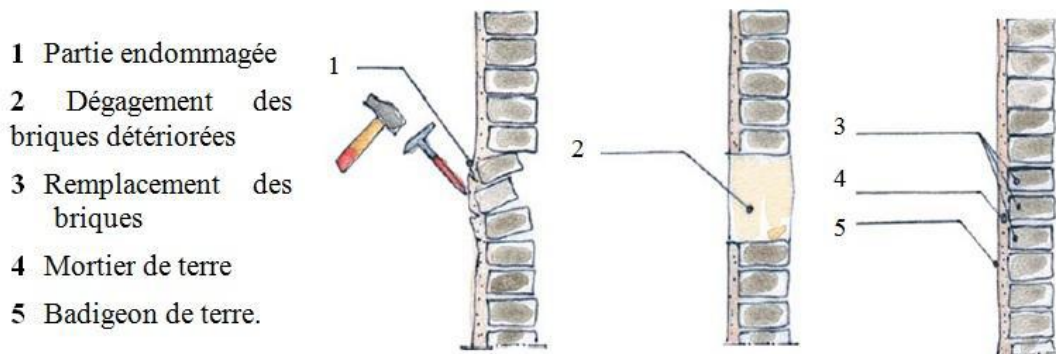


Photo 24 : Méthode de réparation partielle d'un mur en brique de terre crue

(Source : Architecture Traditionnelle Méditerranéenne)

Avant d'entreprendre les travaux de réparation il faut, tout d'abord prévoir des mesures de sécurité par la consolidation avec des étalements des parties du bâtiment au contact direct avec la partie du mur à réparer, ensuite identifier et réparer en priorité la cause des dégâts.

Quand il faut remplacer les briques déchaussées (figure 24), on procède par les étapes suivantes :

- Fabriquer des unités de briques aussi proche que possible des origines, à défaut, on peut trouver des modules similaires en brique de terre cuite ;
- Enlever l'enduit et les briques de terre endommagées ;
- Remplacer les briques dégagés par des nouvelles unités, les appareiller ensuite avec un mortier de liaison à la chaux ;
- Couvrir la surface avec un mortier de terre fabriqué avec la même terre qui a servi à la fabrication des briques de Thoub. Le mortier peut être stabilisé, dans ce cas il faut proscrire le ciment trop rigide et étanche, et utiliser une chaux hydraulique.

##### b. Réparation d'une détérioration entière

L'opération consiste à démonter une grande partie ou le mur en entier et le reconstruire à nouveau.

Pour entreprendre une telle réparation il faut suivre les étapes suivantes :

- Fabriquer des briques de terre (tout comme dans le cas d'une détérioration partielle) ;
- Vérifier au préalable, la solidité des fondations, renforcer les endroits affaiblis avec des pierres additionnelles, réparer le toit et concevoir un système d'évacuation des eaux pour écarter toute source d'humidité ;
- Procéder à la reconstruction selon la type du mur, rejointoyer avec mortier à base de chaux hydraulique ;
- Couvrir le mur avec un enduit de terre préparé dans les règles de l'art.

### **4.3.6.1. Réparer les fissures et décollements de l'enduit**

#### **a. Remplacer un enduit au ciment**

Les enduits épais à base de ciment doivent être enlevés et remplacés par des enduits qui laissent le mur respirer. L'opération consiste à décrouter le mur, le laisser plusieurs jours voir plusieurs semaines à l'air libre pour sécher en profondeur avant d'effectuer les réparations et de l'enduire à nouveau avec un enduit de terre ou de chaux.

#### **b. Réparer un enduit de terre et de chaux**

L'intervention consiste à décoller toute la partie de l'enduit endommagée, il est recommandé de dépasser de quelques centimètres les limites des surfaces endommagées. Ces dernières doivent être nettoyées, dépoussiérées et humidifiées et pour finir réappliquer un nouvel enduit (terre ou chaux). L'opération nécessite de raccorder les surfaces nouvelles au même niveau que les surfaces anciennes existantes, en s'appliquant à retrouver la même texture en surface et laisser sécher dans les meilleurs conditions. Dans tous les cas, il est conseillé de faire des essais avant d'appliquer de grandes surfaces d'enduit. Lors de la réfection de l'enduit, à ne pas faire d'arête à angle droit, mais plutôt à pan coupé afin de réduire les surcharges d'enduit et d'éviter la fragilité d'un angle droit.

### **4.3.1.1. Traiter les efflorescences**

La lutte contre les efflorescences passe d'abord par le traitement de l'humidité capillaire ensuite, on applique un enduit qu'on renouvelle à intervalle de temps

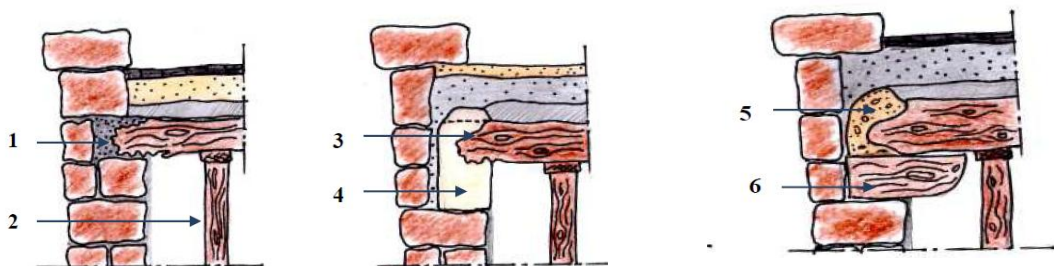
régulier au fil des altérations, jusqu'à disparition du phénomène. C'est ce qu'on appelle « enduit sacrifié ».

### 4.3.1.2. Interventions sur les planchers

#### a. Réparer un appui de plancher au niveau du mur

Cette technique est utilisée dans le cas où seul l'appui est abimé et se résume comme suit :

- Etayer la poutre pourrie à l'appui ;
- Dégager soigneusement les briques autour de l'encastrement ;
- Nettoyer le bois pourri jusqu'au bois sain. Dépoussiérer l'extrémité après nettoyage ;
- Encastrer et seller dans la maçonnerie du mur un corbeau en bois sain au dessous de la poutrelle qui servira de nouveau support et doit dépasser la partie pourrie de la poutrelle ;
- Combler l'extrémité pourrie de la poutre par un mortier de chaux hydraulique ;
- Une pièce en bois peut remplacer la partie endommagée. Les deux pièces seront attachées par des plaques en acier boulonnées.



1-Pourriture de la poutre en bois

3- Nettoyage

5- Mortier de chaux

2- Etalement

4-Dégagement autour du bois

6- Corbeau en bois

Figure 23 : Descriptif de la méthode de réparation d'un appui de plancher

#### b. Poser un montant intermédiaire

La solution consiste à réduire les tensions de flexion et les déformations dues aux fluages du bois.



Pour cela, on emploie des poutres en bois, disposées en travers de la poutre à renforcer. Cependant, pour garantir de bonnes conditions d'appui pour le montant, il faut, soit monté des murs perpendiculairement aux murs porteurs dont la résistance a affaibli, ou à défaut, des piliers spécifiques avec une bonne assise sur le terrain pour pouvoir lui transférer les charges correctement.



Figure 24 : d'un montant en bois, Témacine

(Source : Idir)

### 4.3.1.3. Interventions sur les toitures

En général, il est conseillé de remplacer les toitures détériorées, toutefois, on peut procéder à leur consolidation lorsque leur état général le permet. Parmi les interventions à entreprendre, nous pouvons citer :

#### a. Le contrôle des assemblages

Il consiste à renforcer toutes les liaisons entre les pièces de bois de la charpente avec des pièces métalliques (cornières).

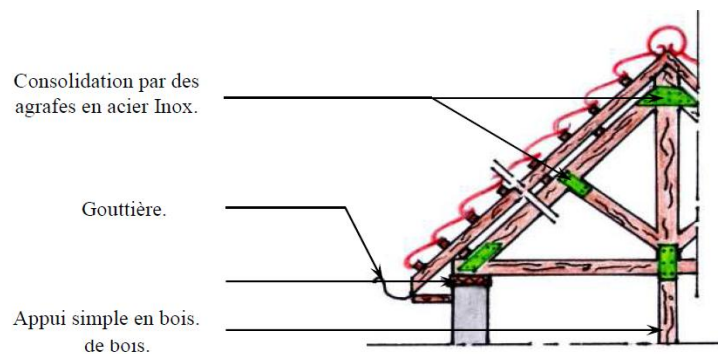


Figure 25 : Réparer les défauts d'assemblage de la charpente

(Source : Corpus-Levant, cité par Idir)

### **b. L'ajout de panne**

On peut renforcer la charpente à l'aide de pannes supplémentaires pour essayer de reprendre les poussées et les ramener dans un plan plus vertical.

### **c. Nettoyage et remplacement des éléments défectueux**

L'intervention consiste à remplacer les éléments de la toiture ayant subis des détériorations (remplacement des tuiles brisées), dans le but de stopper toute infiltration d'eau de pluie. Il faudra également, procéder au nettoyage des surfaces de toit envahis par les mousses par la pulvérisation d'un produit herbicide.

### **d. Réparer une toiture plate en terre**

L'humidité est le facteur principal dans la dégradation des toitures en terre. Son exposition aux intempéries favorise la dégradation de l'enduit, entraîne l'infiltration des eaux de pluie à l'intérieur, ce qui provoque le déséquilibre statique de l'ensemble structurel. Remédier à ces désordres consiste à améliorer l'étanchéité de la toiture par la réparation de l'acrotère, l'ajustement de la surface de la toiture en assurant une forme de pente vers les gouttières, pour évacuer les eaux pluviales. Prévoir une couche de feutre bitumé pour améliorer son étanchéité, combler les fissures et couvrir la terrasse avec un nouveau mortier de chaux.

#### **4.3.1.4. Intervention sur les ouvertures**

Rappelons-nous, les dommages affectant les ouvertures peuvent provenir de la mauvaise mise en oeuvre des montants, de l'affaiblissement de la base sur laquelle repose l'ouverture ou plus encore de l'obsolescence des matériaux utilisés (pourriture du bois, corrosion de la ferronnerie...). Dans ce cas, la réhabilitation implique des opérations ponctuelles et le remplacement de certaines parties. Quoi qu'il en soit, ces opérations doivent être effectuées à l'issue d'un étaieement préalable afin de garantir la stabilité de la structure située au dessus, et ce durant toute la durée de l'intervention

#### **4.3.1.5. Interventions sur les arcs, les voutes et les coupes**

Les solutions applicables à la consolidation des planchers (tirants, chainages...) peuvent également être utilisées pour la consolidation des arcs et des voûtes. La photo



25 prise à Ksar Témacine, illustre la mise en place d'un tirant métallique pour remédier à l'écartement des colonnes de l'arc.

En ce qui concerne les coupoles, si les fissures sont superficielles, un simple entretien suffit. Pour cela, il faut reprendre l'enduit de terre et appliquer par-dessus un badigeon de chaux protecteur contre les intempéries.

En revanche, si les fissures sont profondes et que l'on a constaté un effondrement partiel, dans ce cas, on procède à une de la coupole.

Il s'agit, de démonter et de remplacer la partie abîmée, selon le même procédé pour une nouvelle construction.



Photo 25 : Consolidation de la voûte par un tirant métallique, Témacine

(Source : Idir)

### 4.3.1.6. Intégration des nouvelles installations et les nouveaux équipements

Vivre dans une maison en terre ne signifie pas renoncer au confort de la modernité : l'électricité, l'eau courante, le gaz..., mais plutôt, il faut savoir les adaptés et les intégrés le plus savamment possible. Nous voulons dire par là, les intégrés sans pour autant perturber l'espace intérieur, ni porter atteinte à son caractère architectural et patrimonial.

- **L'électricité** : réaliser des gaines techniques dans des endroits peu visibles (au niveau du sol, au niveau du plafond) pour cacher les circuits ;
- **Le gaz** : assurer une ventilation pour éviter des concentrations accidentelles de gaz ;

- **La plomberie:** toute eau doit être cheminée à l'extérieur de la maison à l'écart des fondations. Le réseau de plomberie doit être centralisé pour faciliter le contrôle et l'entretien. Munir la cuisine, les sanitaires et la salle de bain avec des siphons de sol, avec une pente de drainage suffisante. Séparer, plus particulièrement, les équipements du type douche des murs de terre ;
- **L'assainissement:** le traitement des eaux usées est un élément très important dans les travaux de réhabilitation d'une maison en terre. Il faut veiller aux raccordements des conduites au réseau de collecte principal.

### 4.3.1.7. Technique traditionnelle du traitement des pathologies humides

On traite les pathologies humides en s'attaquant tout d'abord à leur cause. Pour le ruissellement, il peut s'agir, par exemple, de la rupture accidentelle d'une canalisation. On opérera ensuite une reprise de l'enduit avec de préférence un enduit lié à la chaux.

Si le ruissellement a creusé une cavité importante, on la comble avec un mélange de paille liée (ou de fibres végétales ou animales appropriées) au mortier de chaux ; on recouvre, ensuite l'ouvrage d'un enduit à la chaux. Dans le cas de pathologies liées à la condensation (affaiblissement de la structure de la maçonnerie), le plus souvent, il s'agit de rétablir le transfert hygrométrique en supprimant un enduit étanche récent. Dans celui des remontées capillaires, on peut avoir à remettre de niveau un sol extérieur qui aurait été involontairement relevé contre les adobes, ou drainer le sol à proximité du pied de mur. On passe ensuite un enduit lié à la chaux.

### 4.3.1.8. Traitement du déchaussement

Il faut aussi repositionner les blocs déchaussés. Quand il est nécessaire des les remplacer, le mieux est d'utiliser des blocs aussi proches que possibles des originaux ; à défaut, on peut trouver des modules similaires en terre cuite, que l'on appareillera avec un mortier de liaison à la chaux. Le mortier de liaison des blocs d'adobe est constitué d'une terre proche de celle qui a servi à confectionner les blocs d'origine : le même gisement fourni en effet souvent à la fois le mortier et les adobes. Le mortier

peu aussi être stabilisé : dans ce cas, il faut proscrire le ciment, trop étanche et trop rigide, et utiliser une chaux hydraulique.

### **4.3.1.9. Traitement des déformations**

Il faut avant tout supprimer la cause de la déformation, et rétablir la verticalité du mur : pour cela, il faut faire le diagnostic des désordres. . La plupart du temps, la reconstruction du mur s'impose ; mais quand l'ampleur du « ventre » du mur (sa partie bombée) est encore acceptable, on peut se contenter de poser un tirant. Là où une dépose de la charpente est possible, il peut être judicieux de positionner un chaînage en haut des murs.

## **Partie II : Approche pratique**

## **Chapitre 1: Elaboration d'un manuel de Diagnostic/Traitement des pathologies des constructions en terre des ksour d'Adrar**

---

### **1.1. État actuel des constructions bâties en terre à Tamentit**

La commune du Tamentit est une cité saharienne célèbre pour son architecture ancienne. D'anciens manuscrits comme celui de « El basait fi Akhbar Tamentit », la citent et la décrivent. On peut y relever plusieurs types de constructions qui représentent un patrimoine bâti varié, de l'habitation, aux bordj et aux mausolées. Ce patrimoine observe aujourd'hui un délabrement avancé.

C'est pour cela que nous avons décidé d'étudier les causes structurelles et constructives de ces dégradations au niveau du Ksar lui-même, puis d'observer particulièrement l'un des deux mausolées représentatifs de la cité de Tamentit, et de proposer après une lecture poussée de ces pathologies des solutions adéquates.

### **1.2. Dégradation et délabrement**

Au fil du temps, nous constatons que les bâtiments anciens sont menacés d'extinction en raison de négligences et de réparations mal exécutées, mais aussi en raison de facteurs climatiques tels que les pluies récentes et les vents forts qui mènent à l'effondrement et à l'augmentation des fissures.

Enfin, c'est l'invasion de bâtiments modernes en béton armé dans les tissus anciens qui mène à un état de délabrement et de disparition progressive des constructions en terre, par leur abandon ou leur démolition partielle ou totale afin de reconstruire sur leurs parcelles dégagées.



Photo 26 : Habitations abandonnées

(Source : auteur)



Photo 27 : Décrépissement des murs extérieurs par abandon de l'opération d'enduisage régulière

(Source : auteur)

### 1.3. Objectif de l'élaboration du manuel

D'après le Larousse, le manuel est *un ouvrage didactique ou scolaire, renfermant les notions essentielles d'un art, d'une science, d'une technique.*

Pour tous les travaux de restauration et de réhabilitation concernant les constructions en terre dans la région d'Adrar, il nous a semblé nécessaire de faire l'inventaire des dégradations atteignant ces constructions, de les diagnostiquer en précisant les causes de chaque cas relevé sur le site du ksar historique de Tamentit, représentatif des ksour de la région d'Adrar, et de proposer toutes les possibilités de traitement de ces dégradations. Ce manuel synthétique devrait être proposé aux

techniciens et ingénieurs qui pourraient être chargés d'opérations de réhabilitation ou de restauration.

C'est sur la base de ce manuel que nous ferons l'étude de réhabilitation et de restauration de notre cas d'étude, le mausolée de Sidi Ba Youcef M'hamed à Tamentit que nous présentons dans ce mémoire comme exemple d'application de ce manuel.

#### **1.4. Manuel de réhabilitation**

Dans les pages suivantes, nous présentons ce manuel sous forme de fiches techniques .

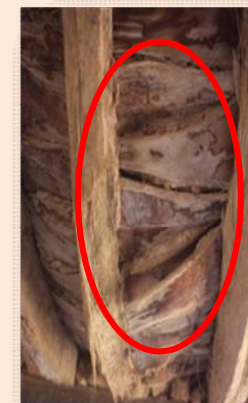
# **MANUEL DE RÉHABILITATION**

**Diagnostic/Traitement des pathologies des constructions  
ksouriennes en Terre**

**Proposé par : CHARIFA BENABDALLAH**



## Planchers



### Identification

- Érosion du bois
- Fléchissement de la dalle
- Rupture totale de la dalle du plancher

### Diagnostic

- - Vermoulure du bois à cause des insectes
- Charge permanente importante des structures
- Absence de traitement régulier
- Inoccupation des lieux, abandon.

### Traitements préconisés

- Faire des poteaux en adobe pour solidifier et stabiliser les poutrelles du palmier. Construire un poteau avec le même matériau à l'intérieur des dalles .
- Utiliser un bois traité pour éviter les insectes ou (entourer avec un film plastique). Faire un montant de bois pour stabilisation.



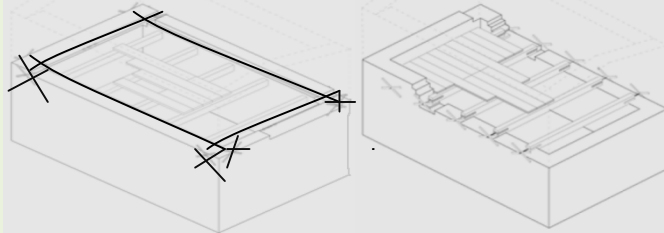
-faire un système de drainage de l'eau pour éviter l'humidité.

Solution moderne :

-Faire un tirant pour solidifier les poutres de palmier

-Traiter les bois de palmier avant l'utilisation

-Accrocher les murs par des tirant sur la poutre de palmier



-Respecter le dosage des matériaux pour daller les toitures:

-Réduire la distance d'appui des poutres de structure de plancher

## Murs



### Identification

- La corrosion des armatures
- Déformation du côté esthétique
- Érosion du mur en terre, altération de l'enduit en terre du mur de clôture de la maison moderne, causés par l'eau.

### Diagnostic

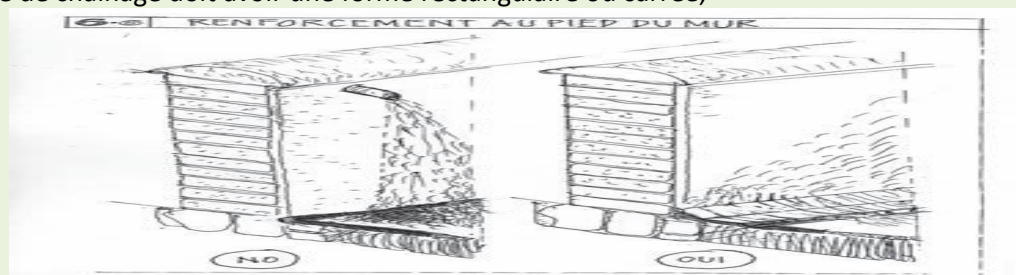
- L'humidité
- Sans respect la technique de pose du canal d'eau dans la terrasse
- Sans respecter la caractéristique du chaque matériaux de construction
- L'érosion pluviale de la couche de protection superficielle et l'infiltration de l'eau et de l'humidité dans la maison;
- L'abrasion de la couche de protection superficielle du fait de l'érosion éolienne ou de l'action humaine liée à l'utilisation, pour des fonctions d'habitation, des espaces des terrasses surtout pendant les nuits sahariennes;
- la perte de cohésion de la maçonnerie en terre et par conséquent la réduction de la résistance de la structure en terre;
- la séparation de l'enduit du mur en terre et la fissuration, la dégradation et le détachement partiel;
- la dégradation progressive du mur en terre qui peut aboutir à l'effondrement du mur même

## Traitements préconisés

- Faire un nouveau ferrailage pour les poutres en béton armé, respecte l'enrobage.
- Nettoyer et reconstruire les parties endommagées dans le mur
- La canalisation d'évacuation de l'eau de pluie : il faut respecter les normes de la construction en terre (comme l'exemple) Renforcement de la base des murs.

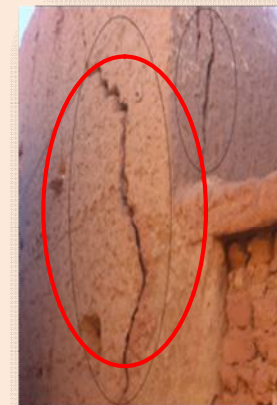
Généralement il est souhaitable:

- d'insérer des connexions en bois, préférables à l'utilisation d'éléments en béton ou en métal;
- d'utiliser des entretoises transversales qui créent des connexions entre deux façades opposées, favorisent la solidarisation globale de la structure d'une maison ou d'un bâtiment et permettent un meilleur comportement structurel;
- d'insérer un chaînage quand une structure a été divisée en différentes parties suite à des déformations importantes. Cela aide la solidarisation du bâtiment fissuré et dégradé. Le chaînage doit être continu, également dans les angles, et la poutre de chaînage doit avoir une forme rectangulaire ou carrée;



- d'entourer chaque pièce concernée par l'action de conservation d'un chaînage, de façon à garantir un comportement homogène de la structure réhabilitée, surtout en cas d'écroulement des fondations.

## Croisement des murs



### Identification

- Séparation du mur en terre par rapport au poteau en béton armé (mal exécutions)
- Érosion les matériaux des constructions et trous dans les murs
- Fissuration préjudiciable dans les coins croisés

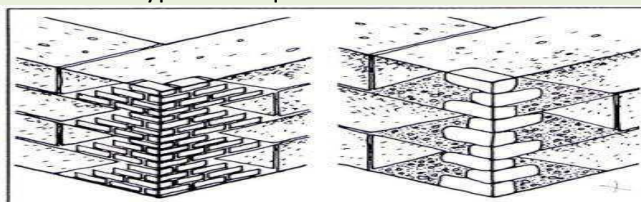
### Diagnostic

- Pas d'homogénéité entre les matériaux en terre et les matériaux modernes.
- Érosion les briques de terre à cause des mélanges non conformes aux normes dans le dosage avec les matériaux de construction (trop fort % de sable)
- la fissuration de la surface de protection de la terrasse à cause de fortes dilatations et contractions des surfaces des terrasses dues aux cycles thermiques chaud-froid et jour-nuit du climat saharien.
- Charge des planchers et le mur transversal est un phénomène fréquent
- Constructions non habitées

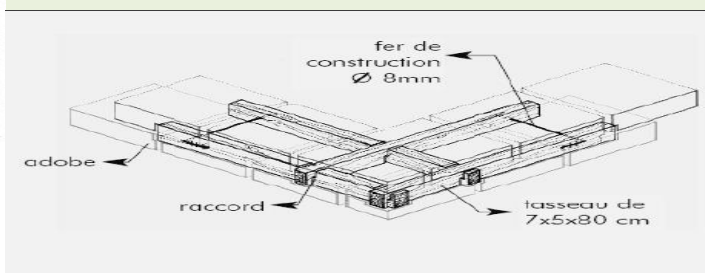
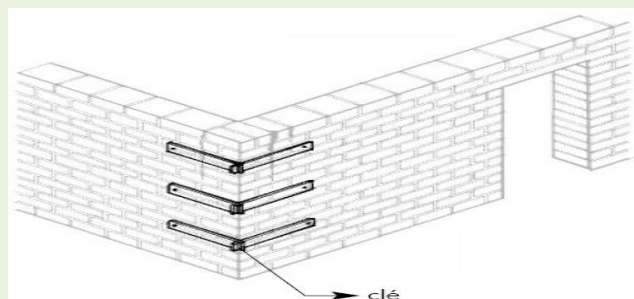


## Traitements préconisés

- Faire les coins par les croisement les brique (roche)
- Nettoyer les trous et reconstruire avec des briques en terre
- Étudier le type de brique avant l'utilisation



- Si la fissure est stopée, remplir les fissures par du mortier de terre.
- Sinon exécuter le chaînage en bois traité pour éviter l'humidité
- Ou faire une fixation avec en acier (plaque fixée par boulonnage)



Notes :

- Matériaux pour chaînage : bois, acier , béton
- En bois, il faut poser les chainages dans l'épaisseur des mur, avec un bain de mortier ou encrés par des colliers métalliques.
- En acier : doivent être convenablement ligaturés , suffisamment enrobés de mortier et de béton .
- C'est aussi des treillis métalliques, il faut couler les chaînage en béton armé sur une couche de terre stabilisée pour assurer une bonne adhérence du béton a la terre et pour éviter les détériorations par le contact avec le matériaux humide.

## ESCALIERS



### Identification

- Fissuration dans la marche d'escalier
- Dégradation dans les appuis qui conservent la stabilité des escaliers

### Diagnostic

- Mauvaise exécution du positionnement des briques de terre.
- Effets de l'humidité.
- Hauteur des escaliers.

### Traitements préconisés

#### Technique traditionnelle

- Disposer en croisées les briques en terre
- Changer les briques en terre par les petites roches pour éviter la grande charge au moment d'utilisation moderne
- Faire un chaînage en bois traité
- Utiliser les escaliers préfabriqués en métal

## OUVERTURES



### Identification

- Assemblage de l'ancien et du contemporain : le câble d'électricité passe devant l'ouverture

### Diagnostic

- Absence la connaissance d'utilisation les technique modernes
- Non- respect des caractéristiques du chaque matériaux

### Traitements préconisés

- Faire un traitement efficace sur les poteaux ce n'est pas tâtonner
- Reconstruire une nouvelle fondation et même les poteaux pour éviter les risques des ruptures
- Respect les techniques des constructions et les adhérences avec les matériaux modernes et traditionnels , utiliser le chaînage comme nous avons dit dans les cas précédents



## FONDATEIONS



### Identification

- Érosion et corrosion :
- dégradation des roches des fondations

### Diagnostic

- L'humidité
- La nature de la roche
- Les effets climatiques : vent et température
- La pollution de la terre

## Poteaux



### Identification

- Assemblage deux techniques de construction différentes (ancienne et moderne).
- Absence de fondations dans un moderne

### Diagnostic

- Absence la connaissance d'utilisation les technique modernes
- Non- respect des caractéristiques du chaque matériaux

### Traitements préconisés

- Faire un traitement efficace sur les poteaux ce n'est pas tâtonner
- Reconstruire une nouvelle fondation et même les poteaux pour éviter les risques des ruptures
- Respect les techniques des constructions et les adhérences avec les matériaux modernes et traditionnels , utiliser le chaînage comme nous avons dit dans les cas précédents

## Dégradations diverses



### Identification

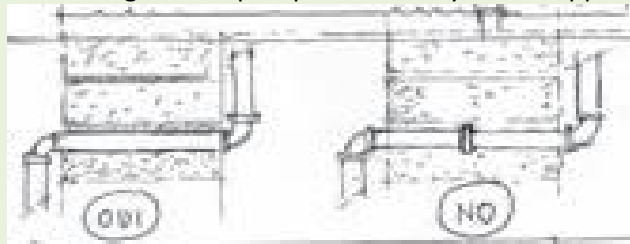
- Assemblage de deux techniques de construction
- Absence de fondations dans les nouvelles constructions qui ont été réalisées sur d'anciennes constructions

### Diagnostic

- Méconnaissance d'utilisation des technique modernes
- Non respect des caractéristiques de chaque matériaux lors des liaisons : mortier en terre entre les briques modernes.
- Des fuites d'eaux provenant de la tuyauterie peuvent causer des dégâts importants sur un mur,
- La longueur des murs provoquent des fissurations par la suite.

### Traitements préconisés

-Il est préférable d'utiliser une tuyauterie sans raccords de plomberie ni connexions à l'intérieur du mur, ou mieux de garder le plus possible la tuyauterie apparente pour faciliter l'entretien en cas de problèmes.



- Faire un contrefort dans les angles et chaque 1 m
- Accrocher les contreforts dans les murs soit : parallèlement des constructions avec les pièces métalliques

## RÉCOMMANDATIONS GÉNÉRALES

*Ces recommandations peuvent s'appliquer à toutes les constructions en terre selon [traité de construction en terre par CRATerre], y compris en zone aride saharienne et pour les constructions ksouriennes de la région d'Adrar.*



### Identification

- Assemblage deux techniques de construction différentes (ancienne et moderne).
- Absence les fondations dans un moderne
- Érosion des murs

### Diagnostic

- -Absence la connaissance d'utilisation les technique modernes
- -Non-respect des caractéristiques de chaque matériau
- -Il n'y a pas les protection avec les mortiers de terre pour inverser la chaleur en même temps protéger les constructions par le vent et la corrosion et la dilation thermique entre le jour et la nuit

### Traitements préconisés

Respecter les techniques des constructions (moderne ou traditionnel)  
Faire un revêtement de protection par le mur de terre avec un mortier de terre au la chaux .

<b>Formes et plans</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Préférer les formes rondes (dômes voûtes) et le cube au parallélépipède</li> <li>- Adopter les rapports : longueur/largeurs=1.5, hauteur/largeur=1</li> <li>- Écraser les volumes et réduire l'exposition des murs aux vents dominants</li> <li>- Orienter de préférence un angle à la direction d'attaque du vent.</li> </ul>
<b>Fondations</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Doivent permettre un bon ancrage de la structure de la maison.</li> <li>- Elles seront profondes pour ne pas être mises à nu par les vents et bâties en matériaux solides et durables (briques de terre stabilisée)</li> </ul>
<b>Murs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Élever les murs en droit des fondations</li> <li>- Assurer une bonne liaison entre les fondations et les murs.</li> <li>- Quel que soit le matériau employé, prévoir des armatures verticales ancrées aux fondations.</li> <li>- Prévoir des armatures horizontales, notamment les angles qui doivent être renforcés dans tous les plans.</li> <li>- Les murs en adobe seront si possible lourds et massifs</li> <li>- L'appareil est soigné pour éviter les fissures</li> <li>- Rigidité des structures des murs refends et chainages.</li> <li>- Employer le mortier de terre pour bâtir.</li> </ul>
<b>Poteaux ou piliers</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les colombages doivent être traités pour résister à la pourriture et aux insectes tels que les termites.</li> </ul>
<b>Ouvertures</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Éviter de positionner des ouvertures aux angles et à proximité du toit.</li> <li>- Pour ne pas affaiblir la structure, éviter de percer la façade exposée sous risque d'augmenter la pression interne.</li> <li>- Aligner les ouvertures en façades opposées pour éviter les pressions différentielles.</li> </ul>
<b>Toitures</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prévoir des pentes de 30° pour réduire les contraintes qui sont fortes pour les des pentes de 5 à 10° ou pour des terrasses .</li> <li>- L'acrotère réduit l'effet de succion sur les toits plats.</li> <li>- Éviter des débordements des toitures supérieurs à 50 cm.</li> <li>- Des aérateurs placés en faitage réduisent la pression interne.</li> <li>- S'assurer que les toitures légères (chaume) sont bien ancrées (filet /mortier)</li> </ul>



## Chapitre 2 : Proposition de réhabilitation du mausolée de Sidi Ba Youcef

### 2.1. Bref aperçu historique

Entre 1146 et 1147, poursuivis par les Obeidiyin et leur roi qui ont brisé leur royaume au Maroc et en Andalousie, les descendants du roi Yousef Ibn Tashfin se sont enfuis jusqu'à ce qu'ils atteignent la terre du Touat, où ils ont trouvé la paix et la sécurité. C'était aussi une terre riche en eau et palmier. Ils y ont construit leur premier ksar, le *ksar Tailout*, qui veut dire fournisseur en arabe, ensuite, ils ont construit un deuxième *ksar Ouled Yarkoub*.

Le mausolée abrite le tombeau d'un homme de religion considéré aussi comme une personnalité politique et un savant de grande importance du 7<sup>ème</sup> siècle de l'Hégire. Il se dresse en hauteur dans le quartier dénommé Haï Bouslah.

Aucune source exacte ne précise la date de construction de ce mausolée, mais son apparence confirme son ancienneté.



Photo 28 : Mausolée de Sidi Ba Youcef, Tamentit, Adrar

(Source : auteur, 2018)

## **2.2. Présentation des qualités architecturales et constructives du bâtiment**

### **2.2.1. Description de l'extérieur**

Il a un plan rectangulaire d'environ 8 m de longueur et de 5,50 m de largeur. Un mur entoure la mosquée et le mausolée de 2.5 de m hauteur. Il délimite la mosquée et le mausolée qui a été construit sur son côté oriental par un escalier d'une pente de 25 degrés, conduisant à l'étendue de la *rahba* sur son côté sud. Une volée de 12 marches mène à la terrasse du mausolée. Le dôme conique s'élève au-dessus de la chambre funéraire sur plus de 8,5 m de haut, orné d'une poterie et de rangées de bois de palme pour faciliter la peinture. Le dôme du mausolée est petit avec de petits murs de moins de 40 cm. Les escaliers à cinq marches permettent de l'atteindre.

### **2.2.2. Description de l'espace intérieur**

L'entrée se fait par une ouverture rectangulaire de 1 m de long et 45 cm de large avec une porte de bois et de fer. La chambre funéraire a deux entrées opposées : la première a une forme semi-circulaire, 1,1 m de long et 0,7 m de large ; La seconde se présente sous la forme d'un bouton en fer à cheval d'une longueur de 1,50 m et d'une largeur de 1 m, qui mène à l'un des couloirs entourant la chambre funéraire. La longueur de 2,60 m et la largeur de 1,6 m au milieu du tombeau, 2,2 m de long et 0,5 m de large, et le milieu de la pièce ouvrent sur une coupole conique entourée de 3 galeries nord et sud, sur plus de 1,3 m de largeur, qui sont recouvertes de dalles de pierre.



Photo 29 : Galerie dans le mausolée, autour de la chambre funéraire



Photo 30 : Dalles de pierre constituant le plafond (plancher supérieur) de la galerie



Photo 31 : Arcs d'entrée au tombeau



Photo 32 : Petit Mihrab

### 2.2.3. Matières premières pour la construction

Tous les matériaux de construction du mausolée se trouvent sur place. Les briques de terre crue (toub) ont été réalisées par le mélange d'argile, d'eau, de sable et la zone d'étude. Les pierres taillées sont aussi de la région de Tamentit. Et le palmier et ses dérivés (bois, fdam, krenaf, djrid). Kernaf et khchab pour les plafonds, ainsi que pour les menuiseries (portes).

### 2.2.4. Relevé architectural : plans, coupes, façades et volumétrie

Le relevé architectural a été effectué en février 2018 et comparé aux relevés existants dans les travaux de mémoire de projets de fin d'études de l'Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme d'Alger, réalisés dans les années quatre-vingt dix et dont les planches sont exposées au niveau du Bureau d'études de la Wilaya d'Adrar.



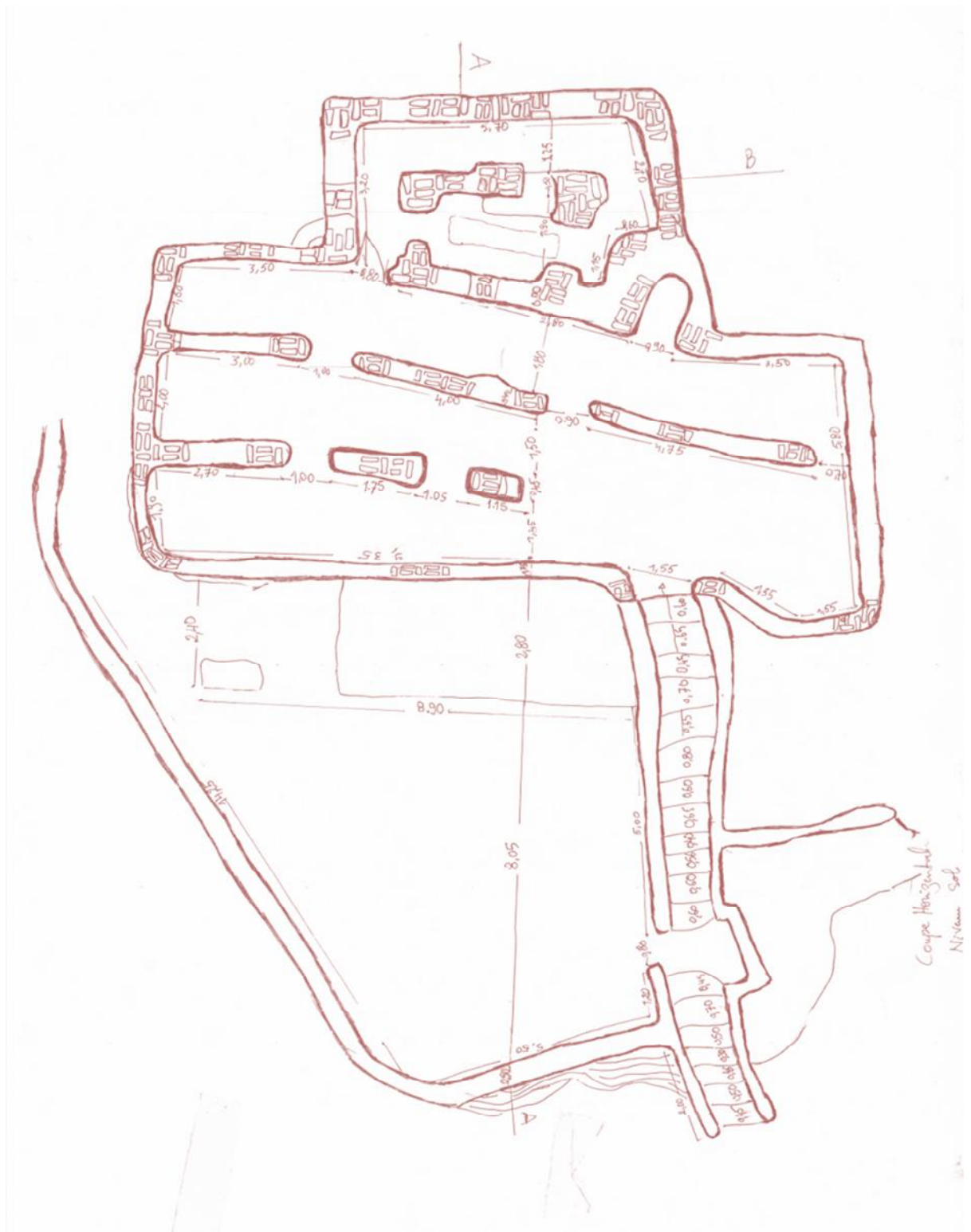


Figure 26 : Relevé architectural du mausolée Sidi Ba Youcef à Tamentit

(Source : Bureau d'études de la Wilaya d'Adrar)

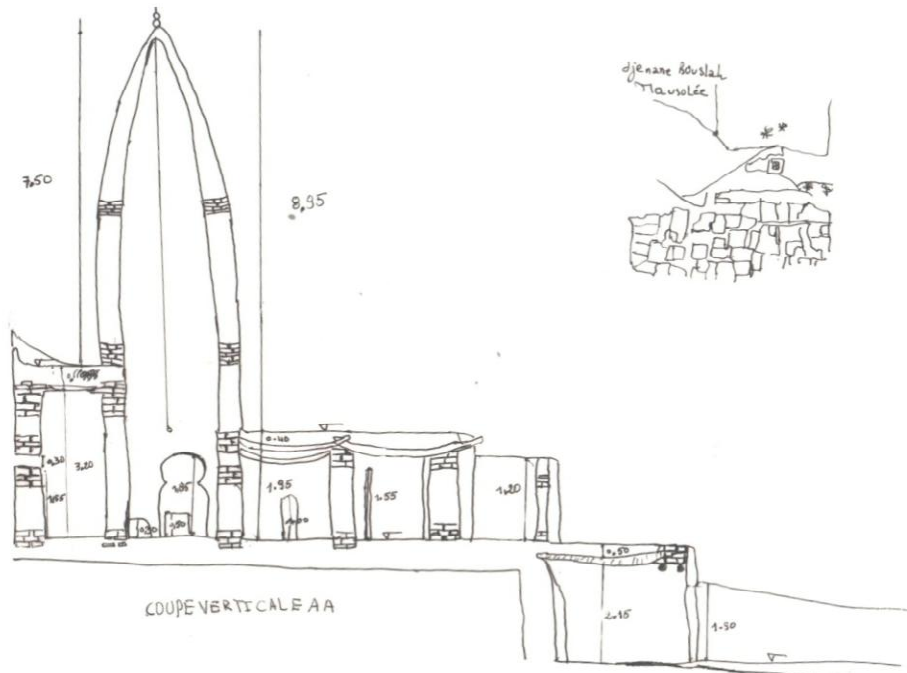


Figure 27 : Coupe A-A

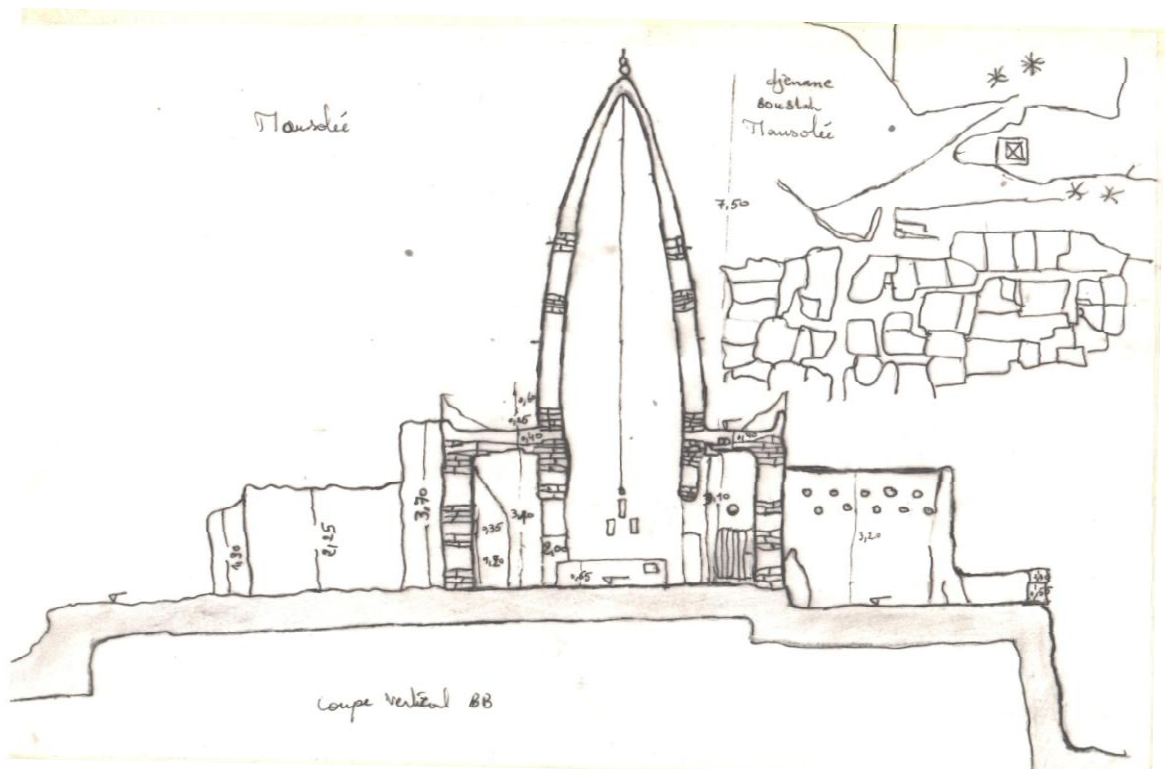



Figure 28 : Coupe B-B

(Source : Bureau d'études de la Wilaya d'Adrar)

## 2.3. Proposition de réhabilitation du mausolée

### 2.3.1. Identification et diagnostic des pathologies relevées sur le mausolée

Tableau 2 : Diagnostic des pathologies sur le Mausolée Sidi Ba Youcef

Mausolée Sidi Ba Youcef		
	Pathologie humide	Pathologie structurelle
Plancher	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Décollement des couches d'isolation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composants se détachant du plafond et provoquant des perforations</li> <li>- Décollement les couches d'isolation</li> </ul>
Escaliers	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pourrissement du bois</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fissuration sur les cages d'escalier</li> </ul>
Arcs et coupole		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gonflement et décollement des enduits</li> <li>- Fléchissements au niveau des linteaux des arcs.</li> </ul>
Murs		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fissurations d'inclinaison et de séparation des murs.</li> <li>- Fissurations</li> </ul>
Fondations	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erosion de quelques parties</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fissuration sur les roches</li> </ul>

# RÉHABILITATION DU MAUSOLÉE SIDI BA YUCEF A TAMENTIT

Proposée par : CHARIFA BENABDALLAH

## Plancher Terrasse



### Identification

- Éclatement de l'enduit, trous ou percements dans la toiture

### Diagnostic

- Les charges d'exploitation (visite du touriste)
- Les matériaux des enduits ne sont pas compatibles avec les matériaux de terre
- Les matériaux ne sont pas en dosage normalisé.

### Traitements préconisés

- Réaliser la forme de pente qui doit assurer l'écoulement de l'eau pluviale ;
- Choisir la couche de finition (en terre argileuse ou de chaux) qui doit garantir la protection de la surface extérieure de la toiture et en même temps permettre le comblement des petites fissures ;
- les poutres qui doivent soutenir le poids de la toiture(en remplir avec les mêmes techniques (kernaf+feuille du palmier+les Palm frondes+mortier d'argile)



**MURS,  
MURS  
D'ENCEINTE  
ET DE  
SOUTÈNEMENT**



**Identification**

- Rupture partielle d'un ancien contrefort, et fissuration à la liaison avec le mur
- Éclatement l'enduit de terre et fissuration
- Traitement un trou sans remplissage avec du mortier de terre

**Diagnostic**

- Cette pathologie est due à un appareillage non croisé sur le mur
- Absence de raidisseurs à intervalles réguliers qui diminuerait la portée du mur
- La hauteur importante du mur qui donne une charge supplémentaire et qui tend à affaisser le mur

**Traitements  
préconisés**

- Réaliser des contreforts de soutènements de type ârsat, tels que pratiquée sur les anciennes constructions. Son avantage est de garder un aspect fidèle à l'architecture d'origine et d'animer les murs de façade extérieure.
- Faire ou construire un contrefort tous les 1,5m et réaliser un crochage en métal entre le contrefort et le mur (comme le système L en charpente métallique) pour transférer la charge de la construction au contrefort et vers le sol. Faire une couche du revêtement en mortier de terre.

## ESCALIERS



### Identification

- Fissuration continue
- Arrachage des pierres
- Érosion des bois

### Diagnostic

- Mauvaise exécution des escaliers
- Usure due au temps
- Absence d'entretien

### Traitements préconisés

#### Technique traditionnelle :

- Pour obtenir une protection des fissures il faut choisir des agents stabilisants comme mortier de terre (avec même matériaux des constructions ) ou des agents comme la chaux et le plâtre
- Reconstruire les escaliers en matériaux des constructions locaux

#### Technique moderne :

- Réalisation d'un escalier métallique

## ARCS ET OUVERTURES



### Identification

- Fissuration sur les côtés.
- Gonflement et décollement des enduits.
- Trou dans les matériaux.

### Diagnostic

- Sans traitement renouvelable
- Charge des murs.

### Traitements préconisés

- Remplir les trous avec du mortier de terre, nettoyer les murs d'arc et faire un revêtement du mortier de la terre



## FONDATIONS



### Identification

- Érosion des roches de la fondation, fissurations

### Diagnostic

- L'humidité, l'eau de la fougara et du jardin,
- La charge sur la construction

### Traitements préconisés

#### Technique traditionnelle :

- Faire un traitement du sol (étude géotechnique)
- Faire un contrefort sur les murs pour distribuer les charges
- Drainages de l'eau d'agriculture.

#### Technique moderne :

- Faire un pieu en acier pour la stabilisation de la fondation en même temps renforcé les constructions.

# CONCLUSION GÉNÉRALE

## **Conclusion générale et perspectives de recherche**

La sauvegarde et la conservation sont les objectifs principaux de notre travail sur le patrimoine bâti ancien et plus particulièrement la construction en terre, en ce qui concerne notre étude.

Pourtant, aujourd'hui cette pratique est méconnue par les professionnels du bâtiment et de la construction et que ce soit au niveau des citoyens ou des décideurs et pouvoirs publics. L'habitant ksourien abandonne de plus en plus son ancien habitat ou le démolit partiellement, ou même totalement, pour reconstruire sur son assiette, un habitat «moderne» qui est loin de répondre aux impératifs climatiques et environnementaux de la région saharienne.

Nous avons vu dans cette étude, lors de notre relevé des pathologies des constructions en terre en prenant comme exemple Tamentit, que la majorité des dégradations qui avaient touché le patrimoine historique de la région était dû à l'absence d'entretien et à la méconnaissance des techniques de remise en état ou de réhabilitation par les habitants eux-mêmes. Ce qui vient confirmer notre première hypothèse de travail.

Par ailleurs, nous avançons comme deuxième hypothèse que les tentatives de réhabilitation effectuées récemment, ne respectaient pas les techniques de construction traditionnelles qui ont généré ces constructions.

. En effet, notre application sur le cas d'étude du mausolée de Sidi Ba Youcef, montre que les nouvelles interventions pour améliorer l'état de la construction étaient le plus souvent superficielles et n'accordaient aucune importance à la nature des matériaux de construction traditionnels auxquels on oppose aujourd'hui des matériaux standards dits «modernes». Leur mise en présence les uns les autres peut générer d'autres problèmes à cause de leur incompatibilité physico-chimique, par exemple. D'un autre côté, sur des sites à valeur historique et touristique qu'il faudrait préserver dans leur état d'origine, il serait dommageable de faire intervenir des matériaux «modernes» qui dénatureraient ces constructions remarquables et leur ferait perdre de leur pittoresque.

C'est pour cela qu'il faudrait privilégier la restauration des constructions à valeur historique en premier lieu comme dans le cas du Mausolée de Sidi Ba Youcef avant

d'envisager la réhabilitation en second lieu, quand il s'agit de constructions habitées, comme les maisons de Tamentit, mais en aucun cas, la rénovation, car elle est inadaptée pour la région d'Adrar et plus particulièrement du ksar de Tamentit qui a été consacré comme secteur sauvegardé par le décret n°16-137 du 164 avril 16016. (JO, n°167 du 04 mai 16016).

# BIBLIOGRAPHIE

## **Bibliographie**

1. BEKRI Madjdi, BADDA Boudjamâa, Architecture traditionnelle dans la région du Touat (cas d'étude Tamentit, Mémoire de fin d'études, Département d'Histoire et de Géographie, École Nationale Supérieure Bouzaréah, Alger.
16. BENSOUISSI Mohammed, L'Architecture islamique à Tamentit (en arabe), Ed. Makamat Editions et Diffusion, 16013.
3. BOUALLALA Djelloul et DAHMAN Noureddine, Centre du préservation du patrimoine matériel et immatériel de la ville de Tamentit (Adrar), Projet de fin d'études, École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, El Harrach, Alger.
4. CRATerre : HOUBEN Hugo, GUILLAUD Hubert, Traité de construction en terre, Ed. 16006, L'encyclopédie de la construction en terre. Vol. I, Éditions Parenthèses, 16006 (3ème édition).
5. GHETTI Pietro M. Apollonj, Étude sur les mausolées de TOMBOUCTOU, Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture, Centre du Patrimoine Mondial, 16014.
6. IDIR Lydia, Présentation d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine architectural en terre en Algérie, Mémoire de magister en architecture et développement durable, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 16013.
7. KADDOUR Idir L., DAHLI M., Réhabilitation du patrimoine architectural en terre, un héritage à sauvegarder, in Journal of Materials and Environmental Science Volume 7 n°10, 16016.
8. LAMOURI Hafsa, Étude comparative de la durabilité des adobes dans les constructions en terre anciennes et contemporaines à Timimoun, mémoire de master en Génie civil, Université d'Adrar, 16014.
9. MAURO Bertagnin et OULD SIDI Ali, Manuel pour la conservation de TOMBOUCTOU, Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture, 16014.
10. TERKI Yasmine, Catalogue de l'exposition «De terre et d'argile», Ministère de la Culture, Algérie, 16013.
11. YAMANI Lakhdar, Cours de construction (1), Office des Publication Universitaires, 1993.

## **Sitographie**

- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Terre\\_crue](http://fr.wikipedia.org/wiki/Terre_crue).  
<http://middleeastrevised.com/16014/03/116/shibam-the-mud-brick-beauty-of-yemen/>  
<https://fr-fr.facebook.com/pages/Touat-news-Algeria>.  
[https://www.craterre.org/accueil:galerie-des-images/default/gallery/38/gallery\\_view/Gallery](https://www.craterre.org/accueil:galerie-des-images/default/gallery/38/gallery_view/Gallery).