



Guide de réhabilitation de l'habitat en terre à Timimoun

Yasmine Terki, Bakonirina Rakotomamonjy, Mourad Hacini, Touhami Benhachmi, Mourad Henous, Alaeddine Belouaar, Abderrahim Eldjouzi, Sébastien Moriset, Chaker Okbaoui, Abdelkader Almama, et al.

► To cite this version:

Yasmine Terki, Bakonirina Rakotomamonjy, Mourad Hacini, Touhami Benhachmi, Mourad Henous, et al.. Guide de réhabilitation de l'habitat en terre à Timimoun. [Rapport Technique] CRATERRE; CAPTERRE. 2019, 52 p. hal-02498416

HAL Id: hal-02498416

<https://hal.science/hal-02498416>

Submitted on 4 Mar 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



الجمهورية الجزائرية
الديمقراطية الشعبية
وزارة الثقافة
المركز الجزائري
للتراث الثقافي
المبني بالطين



République Algérienne
Démocratique et Populaire
Ministère de la Culture
Centre Algérien
du Patrimoine Culturel
Bâti en Terre

Guide de | de l'habitat en terre à réhabilitation Timimoun



Guide réalisé par le CAPTERRE et CRATERRE-ENSAG en 2019
dans le cadre du programme PROFAS C+



Auteurs

Direction scientifique du projet PROFAS C+ : Yasmine Terki, Directrice du CAPTERRE et Bakonirina Rakotomamonjy, architecte chercheur ENSAG / AE&CC/ Laboratoire CRAterre

Rédaction et graphisme : Le guide a été rédigé et mis en forme par Sébastien Moriset avec les contributions de Yasmine Terki, Mourad Hacini, Touhami Benhachmi, Mourad Henous, Alaeddine Belouaar, Abderrahim Eldjouzi, Chaker Okbaoui, Abdelkader Almama, et Nuria Sanchez Munoz, architectes, Smaïl Nasri et Majid Hajmirbaba, ingénieurs, David Gandreau, archéologue, et Sylvie Wheeler, artisane décoratrice.

Photos : Les photos illustrant ce manuel sont de Mourad Henous, Alaeddine Belouaar, Abdelrahim Eldjouzi, Abdelkader Almama, Smaïl Nasri, Chaker Okbaoui, Younes Kassou, Sébastien Moriset, Nuria Sanchez Munoz, David Gandreau et Majid Hajmirbaba.

Cadre

Ce guide a été réalisé dans le cadre du projet de partenariat institutionnel 2017-2020 entre le centre algérien du patrimoine culturel bâti en terre, CAPTERRE, Timimoun, Algérie et le centre mondial de la construction en terre CRAterre-ENSAG, Grenoble, France. Inscrit au programme PROFAS C+ de coopération bilatérale Algérie France et intitulé « Renforcement des capacités des corps techniques du CAPTERRE en matière d'architectures de terre », ce projet avait pour objectif dans sa phase 2018-2020 le renforcement des capacités opérationnelles du personnel technique du CAPTERRE à travers un projet pilote de réhabilitation d'une maison en adobe. La maison de réception « Dar Zaouia » de Sidi Ahmed O' Athmane fils du Saint patron de Timimoun, Sidi Othmane, située au cœur du centre historique « Ksar » de Timimoun, en a été l'objet. Le chantier s'est déroulé de novembre 2018 à novembre 2019. Ce guide est le fruit des enseignements qui en ont été tirés. Egalement disponible en langue arabe, il détaille les techniques de réhabilitation mises en œuvre sur ce chantier et les bonnes pratiques partagées par de nombreux spécialistes de la construction en terre.

La réhabilitation de Dar Ezzaouia a été réalisée avec la participation de Mourad Hacini, Alaeddine Belouaar, Mourad Henous, Hicham Karimi, Touhami Benhachmi, Younes Kassou, Abderrahim Eldjouzi, Chaker Okbaoui, Hassane Sitouhami, Abdelkader Almama, Miguel Ferreira Mendes, Jean Marie Letiec, Sébastien Moriset, Nuria Sánchez Muñoz, Marco Sonderegger, **architectes**, David Gandreau, **archéologue**, Sylvie Wheeler, **artisane décoratrice**, Smaïl Nasri, Majid Hajmirbaba, **ingénieurs**, Abdelkader Naka, Mohammed Arifi, **artisans décorateurs**, Abdallah Yousfi, **plombier**, Abdelaziz Baha, **menuisier**, Amrane Talhaoui, **électricien**, Omar Messaoudi, Saïd Taouenzi, Messaoud Nadjmi, Mohammed Abd Brahim, Moustapha Belahouache, **maçons**, Essaddiq Oustani, Mohammed Bahakkou, **volontaires**, Boufedja Arifi, Ahmed Eldjouzi, Abderrahman Bahada, Tahar Lebgaa, Abdelali Oulhadj, **équipe de soutien logistique**.

Remerciements

Les auteurs de ce guide tiennent à remercier madame Yasmine Terki, Directrice du CAPTERRE et madame Bakonirina Rakotomamonjy, Chef de projet du laboratoire CRAterre de l'ENSAG pour la conception du projet PROFAS+ sans lequel ce travail n'aurait pu être réalisé. Nous remercions d'autre part le Ministère algérien des affaires étrangères, l'Ambassade de France en Algérie et le Ministère algérien de la Culture qui ont soutenu et financé le projet. Un grand merci à Dassidi El Haj Abdessalam, Cheikh de la Zaouia, son frère Si M'Hammed Dassidi et leurs familles pour l'accueil toujours chaleureux ainsi qu'à Abdelhadi Emery pour sa contribution à la concrétisation du projet. Un grand merci au personnel administratif du CAPTERRE et de l'ENSAG pour la mise en place administrative et financière des activités. Merci pour leur collaboration à Ibrahim Tadmaiti, Ahmed Riati, Ahmed Sidi Moussa, Mohammed Laaredj, Abdelkader Aghiat, voisins et à Abderrahmane Belahouache, volontaire. Merci également pour leur aide sur l'utilisation de la chaux à Kamel Ramdane, directeur de l'OPVM, Bahmed Lallout, architecte de l'OPVM et Youcef Meghnine, président de l'Association El Amel pour la Jeunesse, Ghardaïa. Pour finir, nous remercions vivement les habitants du Ksar pour l'intérêt porté à ce chantier pilote.

Contacts



CAPTERRE

Centre Algérien du Patrimoine Culturel Bâti en Terre
Ex hôtel Oasis Rouge - Avenue du 1er novembre. Timimoun - Algérie
B.P. 668 Timimoun - Algérie
Tel: +213 49 30 02 82 Fax :+213 49 30 02 83
e-mail: capterre.timimoun@gmail.com
Page Facebook: CAPTERRE

Le CAPTERRE est membre du réseau UNITWIN de la Chaire UNESCO "Architecture de terre, cultures constructives et développement durable" de l'Ecole Nationale Supérieure d'architecture de Grenoble, laboratoire CRAterre.



CRAterre-ENSAG

Centre international de la construction en terre
Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble
Adresse: 60, avenue de Constantine, B.P. 2636
38036 GRENOBLE CEDEX 2
Tel: +33 (0)4 76 69 83 35
e-mail: craterre@grenoble.archi.fr

Sommaire

INTRODUCTION 4



DÉCISION

Pourquoi garder son habitat en terre ?	5
Identification des facteurs de dégradation	8
Diagnostic.....	10
Conception du projet de réhabilitation	11



PRÉPARATION

Organisation du chantier	12
Décrouantage des murs	13
Observation des murs dénudés	14
Choix des terres	15
Essais d'enduits	16
Production d'adobes	17



TRAVAUX D'URGENCE

Traitement des fissures	19
Reprise des bases de murs	20
Remplacement d'un linteau	21
Entretien des toitures	22
Protection des sommets de murs exposés	23



RÉHABILITATION

Préparation des mortiers et enduits	25
Construction de murs en adobes	26
Intégration de piliers de reprise de charges	28
Drainage et évacuation des eaux de pluie	30
Réfection d'une toiture palmier-terre	32
Réalisation d'une fenêtre	35
Réalisation d'une niche	36
Percement d'une porte	37
Electricité, plomberie	38
Dressage de murs par enduit épais	40
Enduit intérieur de finition terre-sable-argile	41
Réalisation de décorations	43
Enduit extérieur de finition sable-terre-chaux	45
Habillage d'éléments en béton	47



CAPTERRE

Qui sommes-nous ?	49
-------------------------	----

Introduction

Ce guide s'adresse à toutes les personnes qui s'intéressent au patrimoine architectural en terre de Timimoun. Que vous soyez propriétaire d'une maison ancienne dans le *Ksar*, artisan, architecte ou ingénieur en génie civil, vous trouverez dans ce guide des réponses techniques pour entretenir, conserver et réhabiliter les architectures de terre.

Le guide comprend 4 parties :

-  **Décision** : Cette première partie doit vous aider à analyser votre bien et prendre des décisions clairement réfléchies pour votre projet.
-  **Préparation** : La seconde partie détaille quelques étapes préliminaires aux interventions.
-  **Travaux d'urgence** : La troisième partie propose des travaux permettant de diminuer les risques de destruction en attendant la réhabilitation.
-  **Réhabilitation** : La dernière partie explique les différentes étapes d'une réhabilitation, de l'intervention sur le gros œuvre jusqu'aux finitions.

Cet ouvrage s'inscrit dans le cadre du projet de partenariat institutionnel 2017-2020 entre le centre algérien du patrimoine culturel bâti en terre, CAPTERRE, Timimoun, Algérie, et le centre international de la construction en terre CRAterre-ENSAG, Grenoble, France. Inscrit au programme PROFAS C+ de coopération bilatérale Algérie France et intitulé « Renforcement des capacités des corps techniques du CAPTERRE en matière d'architectures de terre », ce projet avait pour objectif dans sa phase 2018-2020 le renforcement des capacités opérationnelles du personnel technique du CAPTERRE à travers un projet pilote de réhabilitation d'une maison en adobe. C'est la Dar zaouia de Sidi Ahmed O'Athmane qui a été choisie par le CAPTERRE pour en être l'objet. Cela parce qu'en sa qualité de maison de réception ouverte à tous, la maison de la zaouia « Dar Zaouia » du fils du Saint patron de Timimoun, Sidi Othmane, située au cœur du Ksar (centre historique) de Timimoun et qui reçoit chaque année une partie des festivités du Sbuâ, l'un des rituels religieux les plus importants du pays (classé sur la liste du patrimoine mondial immatériel de l'Unesco en 2015), offre une visibilité exceptionnelle au projet pilote de réhabilitation. Le chantier s'est déroulé de novembre 2018 à novembre 2019 et a mobilisé plus de 40 architectes, ingénieurs et artisans familiers de la construction en terre. Ce guide richement illustré propose de partager les recettes éprouvées qu'ils ont mis en œuvre.

A l'heure où l'humanité tente de réinventer l'architecture pour revenir à des pratiques plus respectueuses de l'Homme, de sa Culture et de son Environnement, le matériau terre redevient populaire. L'industrie écotouristique de Timimoun se le réapproprie déjà pour offrir une architecture saine et culturellement irremplaçable à ses clients. Mais ces pratiques restent marginales et il revient à nous tous de les revitaliser, en préservant le riche patrimoine architectural bâti en terre dont regorge notre pays.

Nous espérons que ce guide répondra aux questions que votre projet soulève. N'hésitez pas à rendre visite aux techniciens du CAPTERRE pour partager vos interrogations et recueillir des informations supplémentaires. Ils peuvent notamment vous apporter leur assistance technique ou vous orienter vers des artisans qualifiés. Le CAPTERRE possède d'autre part une bibliothèque très fournie qui vous aidera à enrichir votre projet.

Pourquoi garder son habitat en terre ?

Construire une architecture de qualité à Timimoun avec les seules ressources locales paraît compliqué au vu du paysage désertique. Les bâtisseurs œuvrant depuis des siècles dans la région ont pourtant prouvé que c'est possible et nous laissent un patrimoine remarquable. Le confort et la richesse esthétique de certaines constructions attirent les architectes du monde entier, fascinés par l'intelligence de ces réalisations alliant savoir, habileté et économie de ressources. Terre, eau et palmier peuvent se combiner à merveille pour nous offrir une infinité de solutions.



La perte de cette intelligence constructive vernaculaire entraîne un déclin inexorable des bâtiments en terre qui laissent la place à des constructions en ossature béton et parpaings. Cette option satisfait de nombreux propriétaires mais est-ce bien la meilleure ? Est-il judicieux de raser sa maison, dépenser de l'énergie et des ressources financières pour évacuer les gravats et ramener des matériaux industriels coûteux et malsains ? Est-il sage de construire des maisons qui ne sont vivables que si elles sont climatisées artificiellement ? Les études prouvent que c'est un mauvais calcul à long terme, tant pour les finances, la santé, la culture que pour l'environnement.



Profiter de la sagesse des ancêtres en réhabilitant son habitat en terre évite le gaspillage des ressources et permet de profiter pleinement du confort thermique dans une architecture immédiatement reconnaissable. La terre est le matériau de la transformation par excellence. Réhabiliter ne signifie pas conserver à l'identique mais adapter ces anciennes bâtisses à certaines exigences contemporaines de confort, d'hygiène et de luminosité. Aucun autre matériau n'offre cette possibilité de remodelage à l'infini, en ajoutant simplement de l'eau. Les travaux de Dar Ezzaouïa qui illustrent ce guide le prouvent. Plusieurs mètres cubes de gravats ont donné naissance à des murs flambants neufs et des décorations admirables. Réhabiliter la terre garde tout son sens si l'on considère les avantages socio-économiques, culturels et environnementaux.

Qu'est-ce qui est moins coûteux, détruire ou réhabiliter ?

Le tableau ci-contre compare deux options d'intervention sur une maison en terre de 45 m² du Ksar :

1. Sa démolition et sa reconstruction en béton.
2. Sa réhabilitation avec de les matériaux traditionnels.

Les calculs sont basés sur la réhabilitation d'une maison présentant de fortes pathologies, avec des murs effondrés, des bases fortement érodées, tous les réseaux à refaire, les portes et fenêtres à changer et la totalité des murs à réenduire.

Les temps de main d'œuvre pour la réhabilitation sont basés sur la réalité de terrain observée lors du chantier de Dar Ezzaouiä.

Le tableau montre que la reconstruction coûte le double financièrement. A ces dépenses doivent être ajoutées le coût environnemental et l'impact patrimonial désastreux que représente un remplacement par du béton.

Il est donc beaucoup plus intéressant de réhabiliter, mais il faut confier les travaux à des artisans expérimentés pour que les travaux soient bien faits avec des matériaux compatibles qui protègent durablement le patrimoine.



Désignation	Unité	Prix unitaire	Reconstruction béton		Réhabilitation terre	
			Quantité	Montant	Quantité	Montant
Travaux de démolition maison 45m ²	1 maçon-2 ouvriers	4 000 DZD	30	120 000 DZD	3	12 000 DZD
Démolition partielle des planchers et sommets de murs abimés	1 maçon-2 ouvriers	4 000 DZD		0 DZD	5	20 000 DZD
Evacuation des gravats	m ³	750 DZD	39	29 250 DZD		0 DZD
Reprise des bases de murs en maçonnerie pierres	m ³	20 000 DZD		0 DZD	0,36	7 200 DZD
Fouilles en puits	m ³	1 250 DZD	21	26 250 DZD		0 DZD
Fouilles en rigoles	m ³	1 250 DZD	3,48	4 350 DZD		0 DZD
Béton de propreté	m ³	7 000 DZD	3,65	25 550 DZD		0 DZD
Regards 40 x 40 cm	unité	7 000 DZD	2	14 000 DZD	2	14 000 DZD
Regards 60 x 60 cm	unité	14 000 DZD	1	14 000 DZD	1	14 000 DZD
Tuyaux PVC assainissement diamètre 110 mm	m linéaire	450 DZD	3,5	1 575 DZD	3,5	1 575 DZD
Tuyaux PVC assainissement diamètre 60 mm	m linéaire	350 DZD	5	1 750 DZD	5	1 750 DZD
Hérissou de pierres sèches compacté	m ³	1 800 DZD	48,35	87 030 DZD		0 DZD
Béton armé pour poteaux, poutres et chaînage	m ³	18 000 DZD	7,52	135 360 DZD		0 DZD
Plancher en tronc de palmier, tiges, feuilles et terre	m ²	2 000 DZD		0 DZD	40	80 000 DZD
Poutres IPN pour renforcer les planchers	m linéaire	2 400 DZD		0 DZD	16	38 400 DZD
Plancher en hourdis de 16 et chape de 4 cm	m ²	1 200 DZD	47,15	56 580 DZD	1	200 DZD
Escalier et pailasse en béton	unité	28 000 DZD	1	28 000 DZD		0 DZD
Chape sable-chaux sur les marches d'escalier	m ²	11 000 DZD		0 DZD	0,1	1 100 DZD
Maçonnerie en adobes de 15 cm (adobes 32 x 15 x 9 cm)	m ²	3 100 DZD		0 DZD	10	31 000 DZD
Maçonnerie en parpaings de 20 cm	m ²	700 DZD	105,32	73 724 DZD		0 DZD
Maçonnerie en parpaings de 15 cm	m ²	650 DZD	133,47	86 756 DZD		0 DZD
Enduit intérieur terre 3 couches - rattraper les murs	m ²	812 DZD		0 DZD	97	78 764 DZD
Enduit extérieur terre stabilisée à la chaux 1 façade	m ²	16 000 DZD		0 DZD	1,32	21 120 DZD
Enduit intérieur ciment	m ²	430 DZD	97	41 710 DZD		0 DZD
Enduit extérieur ciment projeté	m ²	400 DZD	162,35	64 940 DZD		0 DZD
Enduit extérieur ciment lisse sur une façade	m ²	430 DZD	26,35	11 331 DZD		0 DZD
Claustrat en éléments préfabriqués	m linéaire	600 DZD	6,5	3 900 DZD		0 DZD
Claustras en adobes, niches et décorations (3 jours de travail)	unité	12 000 DZD		0 DZD	1	12 000 DZD
Chappe multicouche grillagée sable-chaux sur terrasses	m ²	16 000 DZD		0 DZD	2,1	33 600 DZD
Etanchéité de terrasse	m ²	450 DZD	52,32	23 544 DZD		0 DZD
Relevé d'étanchéité	m linéaire	200 DZD	18,66	3 732 DZD		0 DZD
Gueulard (béton)	unité	600 DZD	1	600 DZD		0 DZD
Gargouilles (bois de palmier)	unité	3 000 DZD		0 DZD	3	9 000 DZD
Porte bois fabriquée sur mesure et traitée	unité	26 000 DZD		0 DZD	4	104 000 DZD
Fenêtre bois fabriquée sur mesure et traitée	unité	9 500 DZD		0 DZD	3	28 500 DZD
Porte métallique de 95 x 220 cm	unité	54 000 DZD	1	54 000 DZD		0 DZD
Porte isopleine de 84 x 210 cm	unité	10 500 DZD	2	21 000 DZD		0 DZD
Porte isopleine de 74 x 210 cm	unité	9 500 DZD	1	9 500 DZD		0 DZD
Fenêtre métallique avec persiennes 80 x 100 cm	unité	9 000 DZD	2	18 000 DZD		0 DZD
Chassis ouvrant de 50 x 50 cm	unité	4 000 DZD	1	4 000 DZD		0 DZD
Peinture murs extérieurs ocre	m ²	300 DZD	160	48 000 DZD		0 DZD
Lot électricité	lot	34 000 DZD	1	34 000 DZD	1	34 000 DZD
Lot plomberie	lot	42 000 DZD	1	42 000 DZD	1	42 000 DZD
			Reconstruction béton		Réhabilitation terre	
			TOTAL			
			1 042 431 DZD		542 009 DZD	

-50%

Valeurs des architectures de terre

SOCIO-ÉCONOMIE

La simplicité de la construction en terre et l'accessibilité de la ressource permet de maîtriser l'acte de bâtir (11). Utiliser la terre permet d'investir dans sa communauté proche plutôt que dans des lieux éloignés de production (12). La diminution des déplacements rendent les réhabilitations moins fastidieuses que les destructions-reconstructions en ciment (13). La facilité de recyclage et la malléabilité infinie de la terre facilite les transformations et adaptations à de nouveaux usages. Les bâtiments peuvent ainsi servir plus longtemps (14). Construire en terre évite le recours aux matériaux commerciaux gourmands en énergie, tant lors de la construction qu'à l'usage (15).



ENVIRONNEMENT

Les constructions en terre ont un faible impact environnemental sur l'ensemble du cycle de vie des structures, de l'extraction des ressources jusqu'à l'abandon des bâtiments. Leur densité limite l'emprise de l'homme sur le territoire (1)* Leur implantation surélevée est judicieuse par rapport à la gestion des eaux (*foggaras*), du vent et du soleil (2). L'usage des matériaux naturels diminue la pollution car toutes les ressources prélevées sont utiles (3). L'habitat en terre préserve la santé des usagers en régulant humidité et température. La terre et les palmiers n'émettent pas de composés volatiles nocifs pour les habitants. Le matériau fait également le bonheur des artisans, car il est très agréable à utiliser (4). Par leur structures lourdes, ces constructions protègent efficacement des températures extrêmes et des vents violents (5).

SOCIO-CULTURE

Les constructions en terre se fondent dans le paysage (6) et assurent la transmission des savoirs développés au fil des siècles. Réhabiliter des constructions en terre ou en construire de nouvelles entretient un savoir longtemps mûri (7). La diversité des décorations et leur évolution montrent que la terre est un vecteur inépuisable de créativité accessible à tous (8). Ce style de décoration est la marque de fabrique des architectures de Timimoun. Il attire les visiteurs du monde entier (9). Construire en terre nécessite une forte mobilisation qui concourt à la cohésion sociale, par la pratique des *twizas* notamment, ces travaux où des volontaires participent à la construction/entretien en échange d'un repas (10).



* Les numéros font référence à l'illustration au centre de la page : Roue VERSUS proposant 15 principes de durabilité (www.esg.pt/versus)

Identification des facteurs de dégradation

Les architectures de terre peuvent résister des siècles si elles sont protégées des facteurs de dégradation par un entretien régulier. Aucun facteur n'agit seul, tous les facteurs décrits page suivante agissent ensemble, c'est ce que l'on appelle l'effet domino :



tassement et fissuration de murs reposant sur un sol humide



poutres et porte Infestées de termites



déformations et fuites en toiture



effondrement partiel

La conservation des architectures de terre repose sur la compréhension de ces mécanismes en chaîne. Bien les comprendre permet de les ralentir en pratiquant un entretien approprié (enduits de toiture ou nettoyage des évacuations d'eau par exemple) et en appliquant des mesures préventives adaptées à la nature du matériau. L'objectif de l'entretien est de maintenir les structures sèches en permettant à l'humidité de s'évaporer.

Bien des dégradations sont liées à des mauvaises habitudes dues à l'ignorance de ces migrations d'humidité dans les structures. La pratique courante des enduits ciment pour protéger la terre est contreproductive. Elle part de l'idée louable d'offrir une couche de protection contre les gouttes de pluie, mais elle piège au contraire l'humidité contenue dans le mur.



Facteurs naturels de détérioration

Pluie

Les murs en terre ont la capacité d'absorber d'importantes quantités d'eau en surface avant de perdre leur cohésion. Seules les pluies longues et répétées peuvent ramollir la surface d'un mur et emporter de la matière. À Timimoun, l'impact direct de la pluie est cependant plus marqué sur les façades exposées à l'ouest et les sommets de murs, où toute l'attention doit être portée à la protection.

Les véritables détériorations liées à la pluie surviennent dès que l'eau commence à ruisseler en surface, stagner par endroit et s'infiltrer dans les structures.

Stagnation et remontées capillaires

La première protection des architectures de terre est le drainage, à l'échelle de la maison comme à celle du quartier. Presque toutes les pathologies liées à l'humidité proviennent de l'absence d'attention portée à l'écoulement des eaux et leur évacuation vers la palmeraie. Si l'eau stagne et s'infiltrer dans les sols, elle remonte ensuite dans les murs et réduit leur cohésion, entraînant des érosions de surface, des cristallisations de sel ou des effondrements. Maîtriser les écoulements de la maison vers l'extérieur est indispensable pour se prémunir des effets de l'humidité.

Termites

Les termites se plaisent à nicher dans les murs en terre humides, faciles à forer. Il est rare de les voir dans les murs sains et secs. Les termites transitent dans les murs pour s'attaquer à toutes les sources de cellulose : les troncs de palmier qui soutiennent les planchers et toitures et les cadres de portes.



Facteurs humains de détérioration

Animaux domestiques

Si les chèvres, poules et moutons ne s'attaquent pas aux murs, leurs urines, chargées de sels solubles deviennent des facteurs de dégradation lorsqu'elles remontent par capillarité dans les murs.

Réseaux d'eau

Les détériorations dues à l'humidité proviennent souvent d'une mauvaise gestion des réseaux d'eau. Des arrivées qui fuient ou des évacuations mal gérées peuvent rapidement saturer un mur en eau et lui faire perdre toute sa capacité de supporter des charges. Les eaux usées chargées d'urines notamment accélèrent les érosions de surface par la cristallisation des sels qu'elles contiennent.

Enduits et sols étanches

Les enduits ciment et les peintures étanches sont un facteur aggravant des remontées capillaires car elles piègent l'humidité dans les murs, qui ne peuvent plus respirer. L'excès d'humidité fait gonfler les bases de murs qui perdent leur capacité de cohésion. Ils peuvent alors se déformer ou s'effondrer. Cette humidité accélère d'autre part la prolifération des termites.

L'étanchéification des sols et des toitures par des chappes ciment et du carrelage entraîne également des pathologies. Ces surfaces dures et cassantes n'ont pas la souplesse de la terre et finissent par fissurer, laissant les eaux de ruissellement s'infiltrer. Une fois piégée sous la surface étanche, l'eau ne peut plus s'évaporer. Au niveau des dalles et des toitures, cela entraîne l'humidification des poutres de palmier et leur détérioration par les termites.

Manque d'entretien

Le manque d'entretien des enduits de toitures et des drainages, l'abandon des maisons voire leur destruction volontaire sont d'importants facteurs de dégradation dans le Ksar de Timimoun. Dès qu'une toiture laisse entrer l'eau ou qu'un mur s'effondre, l'eau pénètre alors dans la maison entraînant stagnation, remontées capillaires et déformations.

Pertes de savoir

L'influence des matériaux industriels pousse les artisans à l'erreur. En appliquant des traitements étanches aux murs ou toitures ou en les soumettant à des efforts de cisaillement, de flexion (balcons) ou de compression trop importants (rajout d'étages), ils favorisent leur dégradation au lieu de les protéger.

Diagnostic

Le diagnostic est une phase d'analyse importante qui permet de comprendre comment les structures tiennent et comment elles ont évolué dans le temps. Le diagnostic nécessite une lecture à plusieurs échelles :

- A l'**échelle du quartier** pour comprendre ce qui se passe dans le Ksar autour de la maison diagnostiquée. Cette lecture globale peut permettre d'identifier des facteurs dangereux dans l'environnement proche de sa maison : structures prenant appui sur sa propre maison, ruissellements et stagnations le long des murs de sa maison, fuites de canalisation, élevage d'animaux, etc.
- A l'**échelle de la structure** de la maison, afin de bien comprendre comment s'effectue la descente des charges d'une part, et comment s'écoulent/migrent les eaux d'autre part. L'étude de la descente des charges (que portent les murs et les poteaux) est cruciale car elle permet de rapidement identifier les éléments les plus sollicités qui mériteraient d'être soulagés. L'étude des écoulements et migrations d'eau permet quant à elle d'identifier toutes les zones où l'eau est piégée ou absorbée par la structure. Pour parvenir à réaliser cette étude, il faut partir de la toiture et regarder par où les eaux descendent et s'assurer qu'elles ont la possibilité de s'évacuer vers la palmeraie. Le croisement de cette double étude structure + eaux suffit bien souvent à identifier les causes des pathologies observées.
- A l'**échelle des éléments** : murs, toitures de la maison. Une fois que le fonctionnement structurel et hydrique est compris, une lecture détaillée de chaque élément permet de relever l'ensemble des pathologies, fissures, décollements, tassements, mur par mur et dalle par dalle.

Il est recommandé d'effectuer le diagnostic avec des personnes familières de la maison, même si elles ne sont pas professionnelles de la construction. Elles peuvent entre autres fournir des données sur l'évolution de la maison dans le temps, les éléments qui ont été modifiés, les changements qui se sont opérés dans le quartier au fil des ans. Toutes ces informations peuvent aider à expliquer certains tassements, des déformations et des fissures. Comprendre comment la maison a évolué peut expliquer la présence de fissures à la jonction entre des corps de bâtiment datant d'époques différentes. Les habitants savent aussi quels usages ont été faits de la maison. La présence à certaines périodes d'animaux dans une cour par exemple peut expliquer la présence accrue de sel dans un mur et pas dans les autres.

Il est également recommandé de diagnostiquer la maison en période de pluie. Une visite à sec ne permet pas toujours d'imaginer ce qui se passe quand il pleut, dans quel sens s'écoulent les pluies et par où s'effectuent les infiltrations. Tout cela est parfaitement clair en temps de pluie, où les surprises sont nombreuses. Il faut toutefois rester prudent, une visite sous la pluie est à éviter si la structure est très détériorée. Dans ce cas mieux vaut attendre qu'elle soit la plus sèche possible.

Observations complémentaires

En cas de doute sur une fissure, il est utile d'effectuer des études complémentaires en plaçant des témoins qui montreront les mouvements éventuels. Il peut également être nécessaire de décroûter un mur pour vérifier son état de délabrement sous l'enduit.

Conception du projet de réhabilitation

La conception du projet de réhabilitation doit concilier la nature du bâtiment, son environnement et les aspirations des futurs usagers. Transformer une maison ancienne en un espace propre, lumineux et confortable est parfaitement possible du moment que les matériaux utilisés ne s'opposent pas à la nature même du bâtiment. La réhabilitation de Dar Ezzaouïa dans le Ksar de Timimoun le montre. Tous les revêtements de surface doivent rester respirants pour que la structure reste saine et que les usagers profitent de cette capacité de régulation hygrothermique qu'offre la terre.

Respecter la structure

Le diagnostic structurel permet de fixer les contraintes architecturales à respecter, tel que la possibilité ou non d'ajouter un niveau supplémentaire. Il dit aussi à quel endroit il est judicieux d'ajouter des piliers de décharge ou des poutres supplémentaires pour soulager la structure de contraintes trop importantes. Certaines faiblesses structurelles peuvent devenir des opportunités à exploiter : Une fissure peut être élargie pour devenir une porte ou un passage entre deux espaces. Un mur partiellement effondré peut être abattu puis recyclé en briques de terre ou en enduits.

Garder la patine

La conception du projet de réhabilitation doit si possible garder les traces du patrimoine. Il est tentant d'utiliser des matériaux industriels pour accélérer les réparations, mais ce choix est souvent incohérent tant sur le plan technique qu'esthétique. Evitez par exemple les reprises de murs en parpaings ou l'usage de portes en PVC ou métal qui esthétiquement se marient mal à la terre. Il faut tant que possible garder tout ce qui est ancien pour ne pas effacer des traces historiques précieuses. Une porte en bois abîmée peut être restaurée plutôt que d'être remplacée par une neuve qui n'aura jamais la même patine.

Penser au chantier

L'avantage des réhabilitations par rapport aux destructions-reconstructions en béton est qu'elles minimisent les mouvements de matériaux. Réutiliser les ressources du site représente en effet un réel avantage en zone urbaine dense car cela évite les complexités logistiques d'évacuation des gravats et d'acheminement de nouveaux matériaux. Cela évite aussi les nuisances d'encombrement des ruelles pour le voisinage. Les chantiers requièrent beaucoup de main d'œuvre mais peu de matériaux. Il faut cependant bien planifier l'intervention pour ne pas mettre la structure en danger en cas de pluie. Bien des accidents surviennent sur les chantiers de réhabilitation car l'eau se trouve piégée par des tas de matériaux entreposés au milieu des allées. La question du drainage est donc cruciale, et doit être constamment gardée à l'esprit du début jusqu'à la fin du chantier.



Organisation du chantier



Deux jours en début de chantier, puis
30 minutes quotidiennement



Pelles, brouettes, gants, piochons,
camion pour évacuer et
approvisionner



Approvisionnement des matériaux en
fonction des quantitatifs réalisés



3 ouvriers, 1 chef de chantier

Comment faire?

Bien organiser en amont le chantier permet de gagner du temps et de travailler en toute sécurité jusqu'à la fin des travaux. Les points clés sont :

- Évacuer dès le départ les éléments qui ont été stockés par les usagers et qui encombrant les espaces, en s'accordant avec le propriétaire sur un lieu de rangement provisoire ou sur une mise en déchèterie.
- Évacuer dès le départ les remblais accumulés au fil du temps qui alourdissent les structures et/ou gêneront la mise en œuvre des travaux.
- Trier les matériaux qui sont issus des phases de démolition et stocker sur place ceux qui pourront être réemployés durant le chantier.
- Évacuer régulièrement les déblais non réutilisables.
- Toujours laisser les passages libres pour faciliter les circulations des équipes.
- Approvisionner régulièrement le chantier en matériaux (terre, bois, etc). Avoir en permanence un mélange de terre prêt à l'emploi et une réserve de matériaux sur le site.

Difficultés techniques

- Le maintien du chantier propre demande une réelle discipline de chaque ouvrier.
- La gestion des stockages ne doit en aucun cas provoquer des zones de stagnation en cas de pluie.



6

5

4

3

2

1



Approvisionnements

Briques de terre déposées
sur le site en anticipation des
travaux de maçonnerie
prévus les jours suivants.



Circulations

Veiller à laisser un chantier
propre et libre de circulation
chaque soir. S'assurer qu'en
cas de pluie l'eau ne stagnera
nulle part.



Évacuation des déblais

Les déblais non réutilisables
provenant du piquage des
enduits ciments sont évacués
en décharge.



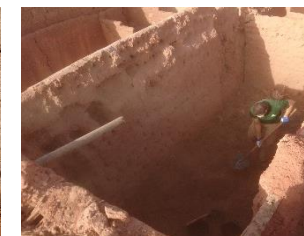
Tri des matériaux recyclables

Mélange préparé
directement avec la terre
provenant des percements
réalisés dans les murs.



Tri des matériaux recyclables

Poutres de palmier et
madriers provenant des
toitures démontées.



Évacuation des remblais

Retrait des couches de terre
et de fumier accumulées en
surépaisseur dans les pièces
hautes.

Décrouantage des murs



20 m² par jour



Mini pioche/marteau de maçon
Chaussures de sécurité
Masques anti poussières
Pelle
Seaux
Brosse métallique
Echafaudage



Aucun



1 ouvrier pour casser les enduits
1 ouvrier pour évacuer les gravats

Afin de compléter le diagnostic et l'étude de la bâtisse il faut dénuder les murs aux endroits où des désordres semblent apparaître pour analyser l'état de la maçonnerie et les raisons de ces désordres, et enlever les enduits de ciment :

Comment faire ?

- Enlever l'enduit en ciment.
- Enlever les enduits en terre uniquement s'il y a des désordres visibles ou s'ils sont trop endommagés.
- Humidifier puis broser les murs.
- Trier les gravats pour réutiliser la terre si elle n'est pas saturée en sel.
- Evacuer le reste des gravats à l'extérieur du bâtiment.

Difficultés techniques

- Vérifier les réseaux électriques et couper le courant.
- Se protéger de la poussière mais aussi des éventuels effondrements de parties friables. La présence d'un professionnel chevronné est indispensable à cette étape.
- Trouver un lieu pour jeter les gravats.



5

4

3

2

1



Réaliser de premières reprises minimales s'il y a urgence de renforcer le mur.



Evacuer les gravats.



Brosser pour mettre en évidence les adobes.



Enlever les enduits de terre aux endroits où des désordres apparaissent ou s'ils sont très endommagés.



Enlever l'enduit en ciment.

Observation des murs dénudés



Environ 20 minutes par m²



Piochon, truelle, masque



Échafaudage pour les parties hautes



1 ouvrier

Suivi par un architecte ou un archéologue

Comment faire?

De nombreuses pièces intérieures de la maison ont été recouvertes d'enduits contenant du ciment. Dans une démarche d'authenticité liée à la valeur patrimoniale du lieu et à la nécessité de protéger les murs des désordres provoqués par l'utilisation d'un enduit qui les empêche de respirer, il a été décidé de retirer ces enduits et de les remplacer par des enduits en terre non stabilisée au ciment. La dépose de ces enduits laisse apparaître les murs en brique crue. Ceci permet de faire de nouvelles observations, telles que les reprises de maçonneries, les modes de jonction entre les murs, la mise en œuvre de matériaux différents, des bouchages d'ouvertures, ou à l'inverse des percements de murs, et même de découvrir de nouvelles pathologies jusqu'alors dissimulées. Autant d'informations utiles à la compréhension de l'évolution de la maison depuis des dizaines d'années, mais aussi à l'affinage du diagnostic technique réalisé au préalable !

Certains murs pourront être laissés nus pour témoigner de leur richesse historique ou constructive.

Difficultés techniques

L'observation du bâti nécessite une certaine habitude qui s'acquiert rapidement avec l'expérience. Il est parfois difficile d'interpréter certaines pathologies si l'on ne connaît pas l'histoire des étapes de construction et la succession d'usages qui s'y sont déroulés.



6



Pathologies dissimulées

Certaines pathologies peuvent être dissimulées sous les enduits ciments. Leur retrait permet de bien les observer et d'affiner le diagnostic.

5



Bouchages et percements

Vérifier que les bouchages d'ouvertures ou les percements de murs n'ont pas créé de désordre structurel.

4



Différence de matériaux

Différents matériaux et modes de mise en œuvre sont visibles sous les enduits. Ceci peut témoigner de phases de construction successives.

3



Jonction des murs

Dans les angles, les maçonneries en adobes n'ont pas systématiquement été harpées. Des fissures peuvent apparaître aux jonctions des murs.

2



Reprises de maçonneries

Les reprises de maçonneries comme ce jambage en moellon sont fréquentes dans Dar Ezzaouïa.

1



Dépose des enduits

Les enduits ciments sont piqués au piochon afin de laisser une surface d'accroche rugueuse pour les enduits en terre.

Choix des terres

Qu'est-ce qu'une bonne terre à bâtir ?

La terre est un ensemble de grains (cailloux, sables, limons), liés par une colle très fine : l'argile, le ciment naturel ! Une terre de construction idéale comporte un squelette de grains de taille variée et un pourcentage d'argile suffisant pour les agglomérer en briques, mortiers ou enduits résistants.

Les terres de Timimoun

Les terres que l'on trouve autour de Timimoun ne sont pas utilisables à l'état brut car elles sont trop sableuses. Il faut systématiquement les amender en argile, présente en grande quantité dans la région. La pratique traditionnelle consiste à réaliser un trou proche du site de construction/réhabilitation pour extraire la terre locale, généralement sableuse, donc manquant de cohésion. La cavité réalisée sert de bassin dans lequel des mottes d'argiles issues de carrières appelées *Tgazza* sont trempées jusqu'à ce qu'elles se transforment en pâte molle. A cette pâte est ensuite ajoutée la terre initialement extraite du trou pour obtenir un mélange uniforme et suffisamment cohésif pour être utilisé.

La recherche de carrières d'argile n'est pas indispensable. Il suffit de se renseigner auprès des professionnels pour se faire livrer la qualité et quantité nécessaire par des fournisseurs. Cela peut faire gagner beaucoup de temps.

Réutilisation de terres de ruines

Les murs en ruines offrent bien souvent des terres réutilisables tant qu'elles n'ont pas été polluées par des déjections animales ou humaines. Réutiliser la terre de ruines permet d'autre part d'économiser du transport et de nettoyer des lieux potentiellement dangereux. Il faut toutefois tester les terres pour s'assurer qu'elles ne sont pas saturées de sel, ce qui entraînerait l'apparition d'efflorescences en surface des murs, et les amender en argile en fonction des besoins révélés par les tests de terrain.

Le choix des terres qui constitueront le mélange final se fait en trois étapes principales :

1 Collecte de matériaux

Les professionnels peuvent livrer de l'argile mais vous pouvez également explorer des sources vous-même.



2 Tests de terrain

Quelques tests de terrain permettent de choisir les mélanges terre/argile/sable offrant la qualité requise.



3 Tests de matériaux

Cette étape permet de valider les résultats en réalisant une première production.



Essais d'enduits



02 jrs



truelle
gamatte
Seau d'eau



Plusieurs terres
sable
chaux
ciment
eau



1 architecte
1 ouvrier

Comment faire ?

Avant de s'engager à enduire de grandes surfaces, il faut tester différents mélanges en produisant de petits échantillons d'enduit. Pour les enduits, tous les matériaux sont tamisés à 5 mm pour éviter de se retrouver avec des grains. Comme expliqué sur la page précédente, il faut tout d'abord mélanger terre sableuse + argile pour obtenir un premier mélange agréable à travailler. Ce mélange doit être souple et malléable, suffisamment collant pour bien adhérer aux supports mais pas trop argileux pour éviter les fissures. Il servira principalement à réaliser les couches de dressage des murs. Il est rare de trouver le bon mélange du premier coup, deux séries d'essais sont généralement nécessaires, la seconde série permettant d'affiner les résultats de la première.

Au premier mélange terre sableuse + argile peut être ajouté d'autres terres ou sables pour modifier la couleur par exemple, s'il s'agit de couches décoratives. Dans le cas d'enduits appliqués en extérieur, il faudra ajouter de la chaux éteinte en pâte au mélange de terre pour assurer sa résistance à l'eau.

Les paramètres qui permettent de faire les choix sont multiples et dépendent des exigences du projet : facilité de préparation, maniabilité du mortier, couleur, fissuration, résistance à l'abrasion, adhérence au support, etc.

Les terres de ruines (murs cassées, briques abandonnées) peuvent être récupérées pour réaliser des enduits. Il faut les tamiser et de les tester pour vérifier leur cohésion et s'assurer de l'absence de sel.



6



Observer le comportement des différentes compositions notamment en termes de cohésion et friabilité puis choisir selon les besoins du projet.

5



Appliquer les mélanges sur le support et de la même façon (un carré 25x25cm et 1cm d'épaisseur par exemple). Faire plusieurs tests s'il y a des supports différents.

4



Corriger le comportement de la terre soit en ajoutant du sable ou des fibres, et éventuellement utiliser un stabilisant (préférer un stabilisant naturel).

3



Réaliser des tests de terrain afin d'observer le comportement de la terre.

2



Afin d'avoir un échantillon significatif il faut creuser et mélanger les couches présentes.

1



Choix de gisement de matériaux en particulier pour les « belles » terres aux couleurs plus rares ou simple livraison d'argile sur conseil des professionnels.

Production d'adobes



200 adobes de taille moyenne (32 x 15 x 9 cm) par équipe de 3 personnes par jour



Fûts pour stocker l'eau et Tuyau
Moule
Bassin de trempage
Bâches pour éviter le séchage des
Palettes de stockage



terre argileuse
sable
eau



3 ouvriers

Comment faire ?

Les adobes peuvent être produites avec la terre récupérée des maisons en ruine du Ksar ou d'un mur que vous devez démolir dans votre projet. Si vous optez pour une nouvelle terre, il faudra procéder à un mélange de terre sableuse et argile. Un bon squelette de grains de tailles différentes (sables et petits cailloux) vous donnera des briques très résistantes. Des essais simples de terrain permettent de comparer plusieurs mélanges terre-argile avant de produire des premiers échantillons de briques.

Le bon mélange terre sableuse + argile doit présenter peu de retrait (test de la pastille), et une cohésion moyenne (cigare de 7 à 15 cm).

Difficultés techniques

- Certaines terres argileuses sont difficiles à utiliser et nécessitent un ajout de sable.
- Certaines terres sont salées et blanchissent au séchage.
- Il faut laisser tremper longtemps le mélange dans l'eau et remuer régulièrement pour obtenir une production uniforme.
- Trop d'eau produit un mélange trop plastique et les adobes se déforment.



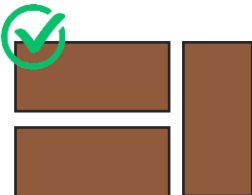
6	5	4	3	2	1
					
Zone de production : préparer une surface plate et exposée au soleil avec un lit de sable pour empêcher le collage des adobes au sol.	Une fois la terre identifiée, réaliser et tester une petite production pour vérifier qu'elle convient.	Test du cigare. En poussant un cigare de terre, il doit casser en formant des morceaux de 7 cm au moins et 15 cm au plus. Au-delà, la terre est trop argileuse.	Test de la pastille. Les pastilles sèches ne doivent pas présenter trop de retrait mais doivent être non friables. Si trop friable, la terre manque d'argile.		Choix de terre : Recycler des murs effondrés ou chercher une carrière de terre argileuse avec bonne structure granulaire. Éviter les terres salées.

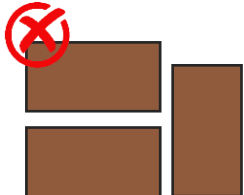
12	11	10	9	8	7
					
Moulage : Projeter la terre dans le moule en enfonçant la terre dans les coins. Démouler lentement et verticalement pour éviter les déformations.	Remélanger régulièrement pour que le mélange soit le plus homogène possible.	Mélanger terre et eau dans des bassins et laisser macérer 24h minimum, 3 jours est idéal. Couvrir les bassins et ajouter régulièrement de l'eau si nécessaire.	Préparer des bassins de trempage de la terre.	Stockage de la matière première : stocker la terre nécessaire près de l'aire de production pour faciliter le travail.	Prévoir un stockage d'eau conséquent, car il faut environ 2 litres d'eau par adobe produite.

Dimension du moule

Attention à la dimension de vos moules car ils doivent permettre l'appareillage des briques pour faire des piliers notamment. La longueur du bloc doit être égale à deux largeurs plus une épaisseur de mortier :

Longueur = 2 largeurs + épaisseur du joint





16	15	14	13
			
Stockage sur palettes pour éviter l'humidification par le sol et les remontées de sel. Protection avec une bâche ou des feuilles pour éviter l'érosion par la pluie.	Test des briques sèches : une bonne brique ne doit pas céder sous le poids d'une personne.	Test des briques sèches : une bonne brique ne doit pas se casser en chutant de 2 m sur un sol sableux.	Tourner les adobes le lendemain pour assurer un séchage homogène.

Traitement des fissures



Environ 1 h par "point de suture"



Seau (pour l'eau), marteau, truelle, gamatte, scie à bois



Morceaux de bois de palmier
Mortier avec fibre de palmier
Chaux-naphtaline-soufre



1 maçon
1 ouvrier

Comment faire ?

Une fois la cause de la fissure traitée, il est possible de refermer la fissure en insérant des clés en bois jouant le rôle de "points de suture":

- Nettoyer la fissure pour éliminer la poussière.
- Tailler le mur pour loger la clé en bois qui viendra souder la fissure (la taille du morceau de bois dépend de la taille de la fissure).
- Humidifier le mur pour éviter un séchage trop rapide du mortier.
- Insérer la clé en bois, à au moins 15 cm de profondeur dans le mur.
- Le bois doit être traité contre les termites (trempé dans un lait de chaux par exemple ou badigeonné de naphtaline et de soufre).
- Pour éviter la fissuration de l'enduit au niveau de la fissure, il est possible de l'armer avec un treillis (de toile ou synthétique ou des roseaux).

Difficultés techniques

Il n'est pas évident de tailler un mur fragile. Le mur doit être creusé délicatement ou scié pour éviter de le déstabiliser ou de provoquer la chute de gravats.



6	5	4	3	2	1
					
Couvrir la fissure avec un enduit de terre renforcé avec des fibres.	Couvrir le bois de terre fibrée et de morceaux d'adobes là où le volume à combler est important.	Insérer le bois de palmier et l'enfoncer dans le mortier frais.	Humidifier le mur. Projeter du mortier fibré au fond de la fissure.	Nettoyer la fissure et enlever toutes les parties meubles. Ouvrir une saignée horizontale pour l'insertion de la clé en bois.	Avant de traiter la fissure, installer un témoin et observer durant quelques mois. S'il y a mouvement, traiter la cause avant de traiter la fissure.

Reprise des bases de murs



Environ 2 h par mètre linéaire



Seau (pour l'eau), marteau, truelle, gamatte, niveau à bulle



Pierre

Mortier chaux

Mortier en terre

Adobe



1 maçon

1 ouvrier

Avant d'intervenir, il faut comprendre pourquoi la base s'est érodée et supprimer les causes de cette de dégradation. Il s'agit bien souvent de problèmes de stagnations, fuites et remontées capillaires dans les murs. Traiter ces problèmes et assurer que les bases des murs sont bien drainées est donc essentiel.

Comment faire?

- Étayer le mur si la base est très érodée et qu'il pourrait basculer.
- Nettoyer la base pour supprimer toute la partie pulvérulente (qui part en poudre).
- Remaçonner avec de la pierre ou de la brique cuite pour faire barrière capillaire sur les premiers rangs.
- Mettre une protection pour le bas du mur qui servira de masse d'usure, (ex : solin en chaux ou doublage en pierre).
- Drainer la base du mur.

Difficultés techniques

Il est indispensable d'arrêter la cause de la dégradation et corriger la pente vers l'extérieur, loin du bas des murs.

Étayer les murs.

Choisir des matériaux résistants à l'eau, comme un mortier de chaux hydraulique.

Assurer la liaison entre l'ancienne et la nouvelle maçonnerie.



6



Drainer la base du mur.

5



Un banc en bas de mur constitue une bonne masse d'usure. L'assise doit être légèrement en pente pour évacuer l'eau côté rue et pas contre le mur.

4



Epaissir éventuellement le bas de mur en ajoutant de la matière en surépaisseur qui servira de masse d'usure.

3



Assurer la liaison entre l'ancienne et la nouvelle maçonnerie.

2



Nettoyer la base abimée sur 1 mètre linéaire puis façonner un fond de fouille propre avec de la pierre et du mortier de sable-chaux.

1



Remplacement d'un linteau



1 journée pour changer un linteau
finitions et nettoyage compris



Seau (pour l'eau), marteau, truelle,
gamatte, niveau à bulle, étais, houe
pinceau



Pierres plates, mortier chaux
Poutres de palmier, produit de
traitement



1 maçon expérimenté
2 ouvriers

Les linteaux sont généralement composés de deux troncs de palmier jumelés. Leur remplacement est délicat car la partie supérieure du mur peut s'effondrer. Pour cette raison, le remplacement doit se faire en deux étapes, en remplaçant un tronc à la fois.

Comment faire ?

- Etayer les poutres qui reposent sur le mur porté par le linteau.
- Enlever l'enduit couvrant le linteau.
- Déposer le premier tronc de palmier et nettoyer le creux.
- Désinfecter le creux avec une solution de soufre et de naphthaline.
- Maçonner les pierres d'appuis de linteau de chaque côté avec un mortier sable-chaux.
- Placer le linteau en le faisant dépasser de 30 cm minimum de chaque côté.
- Insérer et caler le nouveau linteau de palmier traité avec des pierres et du mortier sable-chaux.
- Laisser sécher et répéter la même procédure pour le deuxième tronc.

Difficultés techniques

Ce travail délicat doit être confié à un maçon expérimenté capable d'anticiper les risques de déformation ou d'effondrement.



6	5	4	3	2	1
					
Linteau remplacé du premier côté. L'opération peut être répétée sur l'autre face du mur.	Calage du linteau avec des pierres maçonnées au mortier de chaux.	Insertion du nouveau linteau traité.	Dépose du linteau d'un côté seulement	Dépose de l'enduit couvrant le linteau.	Etayage de la toiture pour décharger la portion de mur portée par le linteau.

Entretien des toitures



Environ 2 jours par an



Seau (pour l'eau), truelle, taloche, pinceau à badigeon, gamatte, règle, niveau à bulle



Mortier chaux, mortier de terre, eau



1 maçon
1 ouvrier

Les toitures-terrasses sont les chapeaux des maisons. Elles méritent un soin particulier pour protéger la structure en terre qui se trouve en dessous. Un manque d'entretien entraîne rapidement un cycle irréversible de détérioration des toitures lié aux infiltrations et au pourrissement des troncs de palmier.

Comment faire?

- Vérifier l'état des toitures au moins une fois par an, si possible par temps de pluie, pour marquer les endroits où l'eau s'infiltré dans la maison.
- Désensabler les surfaces et les évacuations.
- Vider les regards le long des évacuations.
- Refaire les enduits de surface là où ils sont trop érodés.

Difficultés techniques

L'entretien n'est pas difficile s'il est fait annuellement. Il le devient si des dommages trop importants se produisent par manque d'entretien, et qu'il faut ouvrir la toiture pour changer des poutres.



6



Appliquer un enduit fin de sable-chaux.

5



Badigeonner d'un lait de chaux pour offrir une couche d'accroche à la dernière couche de sable-chaux.

4



Repasser une couche de terre fine pour combler les éventuelles fissures. Laisser complètement sécher.

3



Une fois terminé, laisser durcir jusqu'à séchage complet, ce qui peut prendre 2-3 jours.

2



Poursuivre la forme de pente en vérifiant les sens d'écoulement avec le niveau.

1



Nettoyer la surface de la toiture et l'humidifier. Appliquer une première couche de terre pour refaire les pentes d'écoulement.

Protection des sommets de murs exposés



10 à 20 mètres linéaires par jour en fonction de l'état et de la facilité d'accès au sommet de mur



Seau (pour l'eau), balayette, truelle, gamatte, seau d'eau, gants de protection, échelle, échafaudage



Terre, morceaux d'adobes, chaux, sable, eau



1 maçon
1 ouvrier

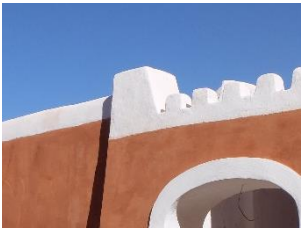
Comment faire?

- Décaper les parties de sommet fragiles.
- Décaper l'enduit de sommet de mur et dépoussiérer.
- Humidifier le mur et reconstruire la forme souhaitée là où il manque de la terre, en utilisant éventuellement des morceaux d'adobes.
- Donner une forme arrondie proche de la forme naturelle d'érosion.
- Terminer avec un mélange stabilisé à la chaux épais de 1 à 2 cm.

Difficultés techniques

Difficulté de s'appuyer avec une échelle sur des sommets de murs fragiles, obligation dans ce cas de travailler sur un échafaudage.



6	5	4	3	2	1
					
Protection par endroit avec des claustras qui limitent le ruissellement en retenant la pluie.	Finition des sommets avec mortier de sable-chaux.	Ajout de mortier au sommet pour créer une forme courbe d'érosion naturelle.	Ajout de briques là où le mur a perdu beaucoup de matière.	Appliquer une première couche de terre humide pour une meilleure accroche.	Brosser les sommets de murs pour dépoussiérer la surface.



AVANT

- Sommets de murs très érodés et en partie effondrés.
- Profondes ravines au niveau des ruissellements.
- Surfaces hétérogènes.
- Grande variété d'appareillages de briques et de matériaux.



APRÈS

- Murs entièrement remontés pour égaliser les sommets.
- Sommets protégés soit par du mortier de sable-chaux, soit par un lit de pierre, soit par des claustras de briques.

Préparation des mortiers et enduits

Mortiers

Mortier de pose des adobes à l'intérieur

- Tamiser la terre à 2 cm, surtout si la terre provient d'une ruine comportant divers gravats. Ajouter l'argile humidifiée en pâte.
- Humidifier généreusement et laisser le mélange reposer pour activer les argiles (2 ou 3 jours).
- Remélanger la terre à la houe avant de l'utiliser.

Mortier de pose des adobes à l'extérieur

- Les adobes sont généralement posées avec le même mortier que pour l'intérieur. Dans le cas d'un mur très exposé aux intempéries qui doit recevoir un enduit à la chaux, il est possible d'ajouter du lait de chaux au mélange (sac de 25 kg dilué dans un baril de 100 litres) pour une meilleure accroche de l'enduit stabilisé.

Tester la cohésion d'un mortier

Un bon mortier doit être facile à manier et suffisamment collant pour tenir une adobe collée contre un mur, ou tenir deux adobes fermement collées entre elles.

La cohésion du mortier doit permettre de coller des briques contre un mur.



Enduits

Enduits intérieurs

- Tamiser les matériaux (terre/argile) selon le type d'enduit : corps (20 mm), accrochage (10 mm), finition (5mm).
- Si de la paille est disponible, la couper en fibres courtes et la mélanger à la terre mouillée.
- Couvrir le mélange et le laisser reposer 2 - 3 jours minimum pour activer les argiles et libérer la cellulose de la paille.
- Pour la terre récupérée de ruines contenant des termites il est conseillé d'ajouter 5 % de lait de chaux à la terre.

Enduits extérieurs

- Tamiser la terre sableuse.
- Tamiser le sable (si du sable est nécessaire).
- Utiliser le sable pour les enduits blancs des sommets de murs et de la terre sableuse pour les enduits colorés.
- Ajoutez le lait de chaux (tamisé) : 1 sac de 25kg de chaux par baril de 100 litres d'eau, jusqu'à obtenir un mélange plastique agréable à travailler.

Tous les enduits s'appliquent sur des surfaces humidifiées.

Trempage de la chaux dans des futs avant utilisation.



Construction de murs en adobes



Environ 90 minutes par m²



Fil, niveau, truelle, pelle, marteau, gamatte, seau, planches, coffrages, serre-joints



Pierre
Mortier chaux
Mortier en terre
Adobe



1 maçon
2 ouvriers, un qui prépare le mortier, l'autre qui sert le maçon

Comment faire ?

- Stocker des briques sur le lieu de construction et les humidifier.
- Installer si possible des guides verticaux aux extrémités du mur à construire.
- Mouiller les adobes avant de les poser pour une bonne adhésion du mortier.
- Poser en premier les adobes des extrémités.
- Tirer une ficelle sur la longueur.
- Poser les autres adobes en mettant du mortier sur le mur, mais aussi sur l'extrémité de l'adobe précédente.
- Poser l'adobe vigoureusement dans le lit de mortier.
- Contrôler le remplissage des joints.
- Ajuster les niveaux.
- Retirer l'excédent de mortier.
- Passer à l'adobe suivante.

Difficultés techniques

Les maçons n'aiment pas humidifier les briques avant de les poser, ce qui entraîne un manque de cohésion entre adobes et mortier.



6	5	4	3	2	1
Prévoir des coffrages pour les maçonneries en arcs.	Prévoir un système stable d'échafaudage pour les parties hautes.	Installer des guides verticaux pour faciliter l'aplomb.	Monter le premier rang d'adobe. S'aider d'une règle ou d'une ficelle.	Préparer du mortier. La terre des ruines est parfaitement adaptée à la préparation de mortier.	Stocker des adobes à proximité du mur pour faciliter le travail.

Lien adobes-mortier

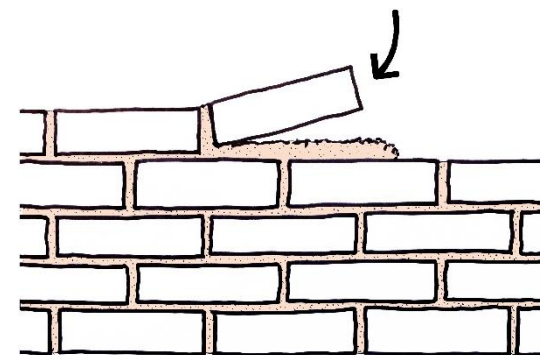
Un mur constitué d'éléments maçonnés comme des adobes transmet bien les charges auxquelles il est soumis s'il est parfaitement monolithique. Pour un comportement homogène du mur, le lien adobes - mortier doit être soigné en suivant des règles simples :

- Les adobes doivent être mouillées avant la pose pour réduire leur tendance à aspirer l'eau du mortier et augmenter leur cohésivité ;
- Le mortier doit être plastique et suffisamment liquide pour parfaitement coller aux adobes ;
- Tous les joints doivent être remplis avec soin, tant les joints horizontaux que les joints verticaux.

Appareillage

Un autre moyen d'assurer une résistance maximale des murs sans déformation est de soigner l'appareillage. L'appareillage désigne la manière dont les adobes sont superposées de sorte qu'elles aient un maximum de surface de chevauchement entre elles et que les joints verticaux des rangées successives ne se trouvent pas sur la même ligne verticale. Un alignement de joints verticaux ou un faible chevauchement entraînent un "coup de sabre", c'est-à-dire une fragilité de la maçonnerie qui résulte en une fissuration du mur.

Sur un chantier de réhabilitation, il est parfois difficile de respecter ce chevauchement, en particulier quand on reconstruit un nouveau mur contre un ancien mur partiellement effondré. Un moyen souvent employé sur le chantier de la Zaouïa Sidi Othmane de Timimoun pour éviter le coup de sabre a consisté à noyer des tiges de feuilles de palmier dans les lits de mortier pour mieux répartir les charges. Cela a suffi à éviter que le mur se rompe à la jonction mur ancien - mur nouveau.



Les joints verticaux doivent être décalés d'un rang à l'autre et remplis de mortier pour obtenir un mur monolithique répartissant bien les charges.

Harpage des angles

Les angles sont des points qui renforcent la solidité des murs en adobes, à condition qu'ils soient bien construits. Comme pour un mur droit, l'appareillage doit être soigné.

Harpage ancien-nouveau

Lorsqu'un mur fortement érodé doit être doublé, il faut l'évider par endroit pour pouvoir y insérer quelques-unes des adobes du nouveau mur. Il en est de même lorsque l'on souhaite allonger un ancien mur. L'ancien mur est alors préparé avec une découpe en créneau facilitant le harpage des nouvelles adobes dans l'ancien appareillage.

Pour toutes les opérations de construction contre de l'ancien, il est important de permettre au nouveau mur de se tasser tous les 4-5 rangs d'adobes maximum. Si l'on construit trop vite et trop haut le même jour, le nouveau mur se tasse de plusieurs centimètres et se désolidarise automatiquement de l'ancien.

Epaisseur

Les murs en adobe du Ksar de Timimoun ont une épaisseur minimale de 45-50 cm. Cela garantit une grande inertie thermique et un bon déphasage de température entre le jour et la nuit, appréciable en termes de confort. Il est donc impératif de maintenir ce principe de construction de murs épais. Seules quelques cloisons intérieures non porteuses peuvent être construites en 20 cm d'épaisseur, en particulier à l'étage pour alléger la charge. L'épaisseur est aussi un gage de durabilité pour les façades exposées à une lente érosion.

Pierres de répartition sous les poutres

Les maçonneries d'adobes supportent mal les efforts de poinçonnement, comme la charge ponctuelle d'une poutre. Une bonne répartition des charges ponctuelles peut être obtenue en plaçant des blocs de pierre plats sous ces lourdes charges. Il est conseillé de maçonner un lit complet de pierres plates sur le pourtour des pièces pour y poser plus facilement les poutres. Cela permet d'autre part de freiner la progression verticale des termites au cœur du mur.

Contreforts

L'ajout de contreforts est une pratique courante en réhabilitation. Ils viennent soutenir des murs ayant subi des basculements suite à l'une humidification accidentelle de la base du mur par exemple. Pour qu'un contrefort soutienne efficacement un mur, il faut qu'il fasse corps avec lui. Cela nécessite de le construire sur plusieurs jours pour le laisser se tasser, et de soigneusement l'appareiller avec le mur déformé. Il doit également être posé sur une fondation et un soubassement de pierres. Un contrefort construit directement sur le sol et adossé sans liaison à un mur est inefficace.

Intégration de piliers de reprise des charges



Fil à plomb, niveau à bulle, truelle, gamatte, seau d'eau, étais



Pierre, mortier de chaux, mortier de terre, adobes



1 maçon
1 ouvrier

Le diagnostic structurel des maisons fait parfois apparaître des incohérences en termes de distribution des efforts sur les murs. Certains murs ne sont pas sollicités alors que d'autres sont ponctuellement poinçonnés par des poutres surchargées. Pour soulager les murs, il est recommandé d'ajouter des poteaux reprenant les charges des poutres.

Comment faire?

- Etayer la toiture.
- Marquer l'emplacement du poteau à construire.
- Construire un soubassement en pierre de 40 cm.
- Construire le poteau en adobes en essayant au maximum de le harper avec le mur.
- Construire en 2 ou 3 jours pour permettre le tassement graduel de la maçonnerie.
- Terminer le poteau au sommet avec un lit de pierre sur lequel pose la poutre à porter.

Difficultés techniques

Il faut savoir s'arrêter tous les 1,2 m maximum pour laisser la maçonnerie se tasser. Pour s'assurer que la poutre pose effectivement sur le poteau créé, il est recommandé de légèrement soulever la poutre avec des étais pendant la construction du pilier et de redescendre la poutre sur le poteau une fois qu'il est sec.



4	3	2	1
			
Eriger le mur en adobes en plusieurs fois pour permettre à la maçonnerie de se tasser. Tailler et mouiller le mur pour que le poteau soit harpé avec le mur. Terminer le poteau avec un lit de grandes pierres plates au sommet. Une fois le poteau terminé et sec, retirer les étais.	Construire la base en pierres avec du mortier de chaux.	Marquer la position de la base du pilier au niveau. Ici au niveau laser.	Installer des étais pour soutenir et légèrement soulever la toiture.



AVANT

- Infiltrations généralisées par le plafond.
- Plus de la moitié des poutres du plafond détériorées par l'humidité et les termites.
- Moitié de la charge de la toiture portant sur un seul IPN avec fissuration des murs par poinçonnement à la verticale des IPN.



APRÈS

- Plus de fuites.
- Toutes les poutres endommagées remplacées et l'ensemble traité.
- Ajout de deux IPN supplémentaires pour mieux répartir les charges de la toiture.
- IPN central posant sur deux piliers nouveaux. Jonction IPN-Poteau équipée d'une pierre plate de répartition.
- Création d'un puits de lumière.

Drainage et évacuation des eaux de pluie



3 journées par terrasse environ
(création des formes de pente et
enduits)

Le plus long est la mise en place des
évacuations et des regards



Truelle, fil, règle, niveau à eau, pelle
et pioche



Tuyau PVC ø 110, colle PVC, Regards,
receveur 20 cm, mortier de sable-
chaux



1 maçon et 3 ouvriers

Les eaux de pluie et les eaux usées doivent être évacuées loin de la maison sans provoquer d'érosion. Cela requiert un plan d'évacuation bien dimensionné qui soit facile à entretenir et qui ne risque pas de déborder en cas de forte pluie.

Comment faire?

- Etudier les pentes de toiture
- Identifier les sorties possibles dans les rues
- Définir le plan d'évacuation des eaux, les sections de tuyaux nécessaires et l'emplacement des regards
- Construire les regards
- Construire les gargouilles et descentes d'eau
- Connecter l'ensemble
- Enduire les surfaces des terrasses

Difficultés techniques

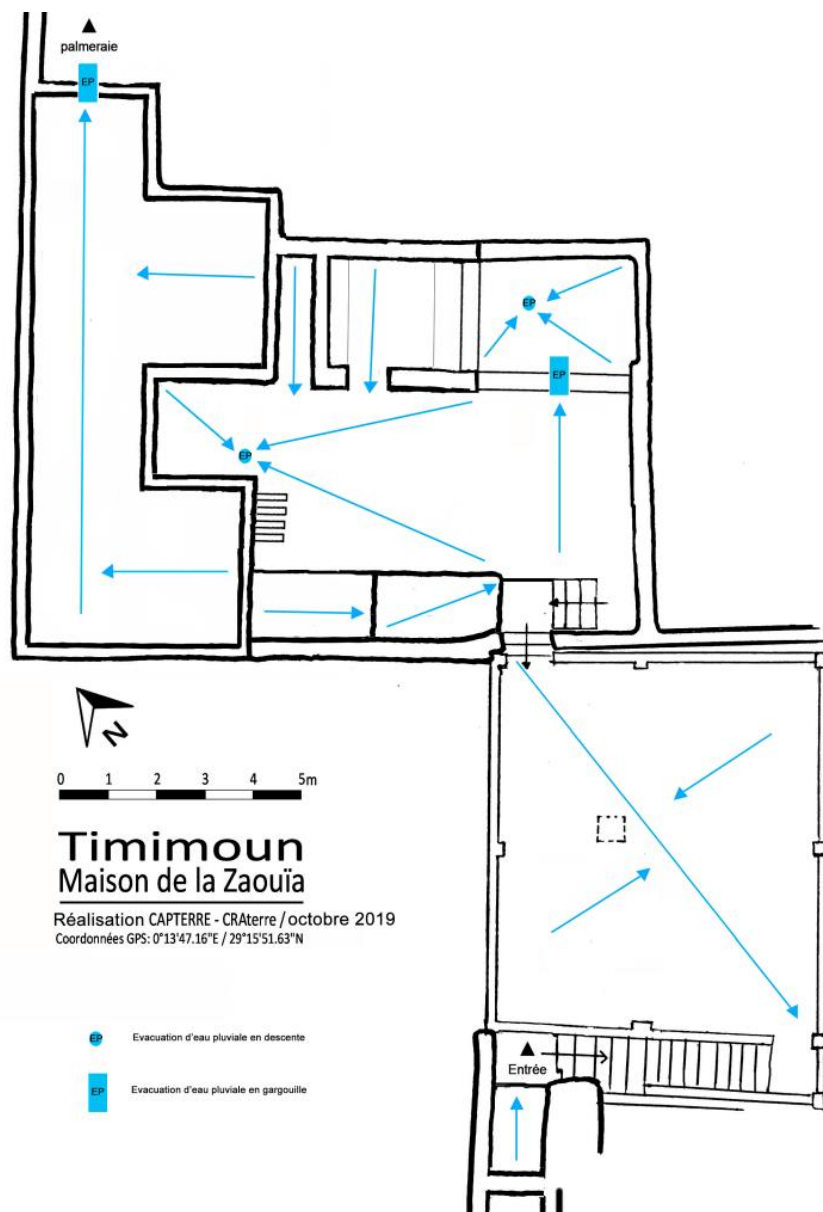
Le choix du type d'évacuation est parfois difficile. Les gargouilles peuvent éclabousser et éroder des murs. Leur position doit tenir compte des vents.

L'évacuation ne peut pas se faire par une façade mitoyenne qui donne sur la propriété d'autrui.

Il est parfois difficile de mettre en place une évacuation ne transitant pas par l'intérieur de la maison.



6	5	4	3	2	1
					
Une descente contre un mur est parfois préférable à une gargouille qui éclabousse les murs	Installer des descentes d'eau vers le centre des terrasses pour limiter les écoulements trop longs.	Concevoir la distribution des descentes et choisir entre gargouilles ou descentes ouvertes le long des murs.	Créer des regards en particulier au niveau des jonctions.	Créer un réseau d'évacuation avec regard tous les 3 m maximum.	Vérifier et corriger les pentes autour de la maison pour s'assurer que l'eau coule loin des murs.



9	8	7
 Evacuation de la cour intérieure Une fois l'eau évacuée sur le sol de la cour, elle est captée par une autre évacuation qui l'achemine par branchement souterrain vers l'extérieur où on trouve le réseau de drainage urbain.	 Pose des descentes ou des gargouilles Elles doivent avoir un diamètre suffisant pour éviter la stagnation de l'eau, les gargouilles doivent être suffisamment longues pour jeter l'eau loin du mur même s'il y a du vent.	 Pose de la couche d'étanchéité en chaux La chaux protège la terre tout en la laissant respirer. Cette couche doit couvrir une partie des receveurs pour éviter les infiltrations aux jonctions.

Réfection d'une toiture palmier-terre



6 jours pour 10m²



Pioche, Houe, Rateau, Bassin, Bâche, plastique, Tréteaux, Brosse à chaux, Fût 200 litres, Tronçonneuse à bois, Niveau à eau / laser, Echafaudage, Etais, Taloche, Seaux



Madrier, IPN, Terre argileuse, Terre sableuse, Chaux, sel, Troncs de palmier, Feuilles de palmier, Tige de feuille de palmier, Fibre de palmier (fedam)



2 maçons, 4 ouvriers

Comment faire?

- Déposer le plancher existant (retrait de la couche de terre et des troncs infestés de termites).
- Traiter l'ensemble des poutres avec une solution de naphtaline-soufre.
- Traiter à la chaux les extrémités des troncs.
- Nettoyer les feuilles de palmier.
- Installer des IPN de consolidation, si nécessaire uniquement (grandes portées ou fortes charges).
- Installer les nouvelles poutres de palmier traitées sur des pierres pour éviter le poinçonnement.
- Mettre en place les tiges, les feuilles puis les fibres de palmier.
- Mettre en œuvre une couche de 12 cm de mortier en terre (état plastique env.20% d'eau).
- Mettre en œuvre une couche de 10 cm de terre sableuse tassée avec une pente à 2% (2cm/m).
- Installer les évacuations d'eau pluviale.
- Badigeonner à la chaux pour faciliter l'accroche de l'enduit.
- Poser une chape en chaux-sable de 2 cm serrée à la lisseuse. On peut utiliser de la terre cuite pilée en partie pour remplacer les sables gros. Prévoir des joints de dilatation et des solins en périphérie.

Difficultés techniques

Choisir une essence de bois de palmier dur (Idéalement Tin Nacer, Tin medouel, Aadam Figuig, El micha ou Lahmira) et les poutres les plus droites possible. Surveiller le niveau supérieur des troncs pour pouvoir mettre les tiges de façon plane. Croiser les troncs et les tiges puis les tiges et les feuilles. Prévoir au moins 30 cm de recouvrement là où les tiges se touchent.



6



Traitement à la chaux des extrémités des troncs au pinceau.

5



Préparation d'un bassin de trempage pour les troncs.

4



Découpe des troncs à la bonne longueur.

3



Nettoyage des nouveaux troncs à la houe pour égaliser les faces.

2



Dépose du plancher existant et retrait des poutres endommagées en prenant soin de les isoler pour ne pas contaminer les poutres saines.

1



Dépose du plancher existant.

12	11	10	9	8	7
					
Vérification de l'alignement des troncs avec des ficelles.	Calage des troncs au bon niveau avec des pierres et du mortier de sable-chaux.	Installation d'un IPN sur deux poteaux en adobes pour raidir la toiture.	Traitement des poutres restées en place au lait de chaux.	Vérification de la qualité de l'imprégnation.	Cure des troncs traités pendant 72 heures minimum.
18	17	16	15	14	13
					
Battage avec des tiges de palmier pour combler les fissures.	Application de la chape sable-chaux en trois étapes. Cure d'une semaine après la première couche de 2-3 cm. La chaux est préparée une semaine à l'avance.	Préparation des sorties d'eau avant pose de la chape avec jupe métal.	Mise en place de la première couche de terre de 5 cm et séchage de 48 heures. Ajout ensuite d'une couche épaisse de 10-15 cm.	Pose des feuilles puis des fibres de palmier.	Pose des tiges de palmier.
				20	19
					
				Application d'une barbotine de lait de chaux.	Application d'une couche fine à la truelle et taloche après une semaine.

Toiture palmier-terre avant-après



AVANT

- Infiltrations généralisées, sol instable et très déformé.
- Plus de la moitié des poutres détériorées par l'humidité et les termites.
- Pentes de toiture ne permettant pas le drainage des eaux – stagnations.

APRÈS

- Pentes de drainage évacuant l'eau vers deux sorties.
- Toutes les poutres endommagées remplacées et l'ensemble traité.
- Ajout d'un IPN posant sur deux piliers pour raidir le plancher.
- Surface protégée par une chape sable-chaux.
- Création d'un puits de lumière.

Réalisation d'une fenêtre



Environ 2 h pour une simple
ouverture de ventilation
2 jours pour le percement d'une
ouverture avec linteau ou arc



Seau (pour l'eau), marteau, truelle,
gamatte, niveau à bulle



Pierres, Mortier de terre, Adobes



1 maçon, 1 ouvrier

Les fenêtres apportent ventilation et lumière aux pièces. Il est très simple de réaliser une fenêtre dans un mur en terre. Dans le cas d'un mur fissuré, la fenêtre peut prendre place à l'endroit de la fissure en l'agrandissant, ce qui évite des travaux compliqués de suture de la fissure. Pour les ouvertures étroites de moins de 40 cm de largeur, le linteau peut être constitué d'une pierre plate ou d'un arc en brique. Pour les ouvertures de grande portée, il est préférable de réaliser un linteau en poutre de palmier comme pour les portes.

Comment faire?

Pour les ouvertures avec cadre et vantail, sceller des pièces de bois traitées dans les jambages pour pouvoir y visser ensuite le cadre de la fenêtre.

Pour une simple ouverture de ventilation, un percement sans aucune forme de linteau peut être réalisé. Un claustra de briques remplace aussi idéalement une fenêtre de ventilation.

Difficultés techniques

La seule difficulté est de franchir l'ouverture si la fenêtre est large. Mais cela ne pose pas de difficulté majeure.



Fenêtre de ventilation sans linteau avec cadre décoré de céramiques récoltées au sol.



Fenêtre de ventilation sans linteau avec cadre décoré en terre sculptée.



Claustra d'adobes pouvant remplacer une fenêtre de ventilation.



Fenêtre de ventilation avec linteau en pierre.



Construction d'une nouvelle ouverture avec jambages en adobes.



Découpe d'une ouverture avec une scie et de l'eau.

Réalisation d'une niche



Environ 2 h pour une petite niche
Jusqu'à 4 heures pour une grande
niche décorée



Seau (pour l'eau), marteau, truelle,
hachette, gamatte, niveau à bulle,



Mortier de terre



1 maçon spécialiste des décorations

Les niches sont des éléments de décor très présents dans le Ksar de Timimoun, généralement entourées de décorations qui forment un cadre. Elles servent souvent de rangement pour le diffuseur d'encens. Dans le cas d'une réhabilitation, une niche apporte une réelle valeur supplémentaire à un mur simple sans fenêtre ni porte. Une niche arrange également bien un mur accidenté difficile à embellir par un simple enduit.

L'emplacement de la niche peut correspondre à un accident dans le mur, une fissure ou un trou existant pour éviter d'avoir à creuser un nouveau percement.

Comment faire ?

- Choisir un mur sur lequel une niche ou plusieurs niches peuvent apporter une valeur pratique (étagères) ou simplement décorative.
- S'assurer qu'aucun câble électrique ne passe à cet endroit.
- Tailler la cavité de la niche avec une hachette ou un marteau de maçon.
- Ajouter de l'épaisseur en surface si vous souhaitez créer un cadre à la niche.
- Lisser les bords au mortier de terre.

Difficultés techniques

La création d'une niche ne présente aucune difficulté, et nécessite peu de temps et presque pas de matière. Il serait donc dommage de s'en priver.



Double niche peu profonde
avec cadre sculpté en
palmier.



Petite niche avec cadre
simple.



Niche triangulaire avec cadre
sculpté réalisé en une heure.



Niche richement décorée à
l'oasis rouge de Timimoun.



Niche peu profonde avec
cadre sculpté.



Création de 3 petites niches
profitant de trois orifices
existants.

Percement d'une porte



1 jour pour percer l'ouverture, 1 jour pour installer la porte et son cadre



Perceuse, Crayon, Seau d'eau, Masse 1kg, burin, Masse 5kg, Pioche, Pelle, truelle



Terre pour les reprises



2 ouvriers

Comment faire?

Pour créer une porte il faut:

- Choisir un emplacement qui ne fragilisera pas la structure.
- Tracer les limites du percement sur le mur selon la dimension déterminée, avec un niveau.
- Percer aux angles du tracé de part en part pour atteindre l'autre côté.
- Mouiller le mur à démolir pour limiter la poussière.
- Démolir la partie à l'intérieur du tracé en allant du haut vers le bas.
- Ajuster les côtés de l'ouverture.
- Trier les gravats réutilisables et évacuer le reste.

Difficultés techniques

Il faut ouvrir en forme d'arc au sommet pour éviter d'avoir à intégrer un linteau (petite ouverture de 80 cm de largeur maximum).

Pour de plus grandes ouvertures il faut un linteau horizontal que l'on pose en deux étapes, sur une face du mur en premier, puis sur l'autre quand la première étape est sèche et stable. Le linteau doit dépasser de 20 cm minimum de chaque côté de l'ouverture (linteau de 140 pour une porte de 100).

Le percement d'ouverture produit beaucoup de gravats, mais on peut les réutiliser s'ils ne sont pas stabilisés au ciment ou à la chaux.

Portes en arc dans la vieille mosquée du Ksar de Timimoun →



6	5	4	3	2	1
					
Installer la porte et enduire les murs pour finir les travaux.	Terminer les côtés dans l'épaisseur.	Démolir la partie à l'intérieur du tracé de haut vers le bas.	Mouiller le mur.	Percer de part en part aux coins du tracé.	Tracer l'ouverture sur le mur selon la dimension souhaitée.



AVANT

- Espace cuisine sans magasin de rangement.



APRÈS

- Ouverture créée avec porte en bois pour accéder à un magasin de rangement sécurisé.

Electricité, plomberie



L'électricité : environ 1 j par pièce ;
La plomberie et l'assainissement : 1
jour pour 5m de tuyauterie.



Truelle, masque, mini pioche,
disqueuse, perceuse, pelle, marteau,
burin, perceuse, outillage
d'électricien et de plombier



Matériel électrique, équipement de
plomberie et d'assainissement



1 électricien, 1 plombier, 1 maçon
et 3 ouvriers

Comment faire?

ELECTRICITE

- Démontez l'installation existante et installez une prise de terre si le réseau n'est pas aux normes.
- Tracer les emplacements des gaines à tirer sur les murs, en évitant les tracés en diagonale car un fil en milieu de mur sera plus facilement endommagé si le mur est percé.
- Procéder à des saignées dans les murs d'au moins 7 cm de profondeur. Les gaines ne doivent pas être à moins de 5 cm de la surface pour éviter la fissuration de l'enduit.
- Installer les gaines, mouiller et dépoussiérer les saignées et reboucher au mortier de terre

PLOMBERIE

- Protéger les murs de terre exposés aux éclaboussures. La solution la plus simple est d'appliquer un revêtement étanche de type Tadelakt (enduit à base de chaux et savon noir hermétique à l'eau). Il est également possible de doubler les murs avec des parois de briques cuites légères séparées des murs de terre par une lame d'air.
- Protéger ensuite ces murs de doublage avec de la faïence ou un enduit étanche.
- Laisser les tuyaux apparents pour pouvoir contrôler les fuites éventuelles, la fixation au mur se fait par colliers.
- Soigner l'assainissement car la moindre fuite peut causer d'énormes dégâts.
- Surdimensionner les regards et la section des tuyaux pour éviter qu'ils se bouchent.
- Prévoir des pentes fortes pour éviter l'ensablement des tuyaux.

Difficultés techniques

Electriciens, plombiers et maçons doivent se coordonner pour éviter des casses d'éléments terminés. Le réseau d'assainissement doit passer loin des *foggaras* et des *dahliz* (sous-sol) pour éviter de les souiller.



6



Protéger les murs de terre exposés à l'eau en les doublant de parois en briques cuites couvertes de faïences, sur au moins 1,5m de hauteur.

5



Protéger les sols en terre avec une chape grillagée étanche dans les pièces d'eau.

4



Installer tous les tuyaux de distribution et d'évacuation apparents, pour plus facilement identifier et réparer les fuites

3



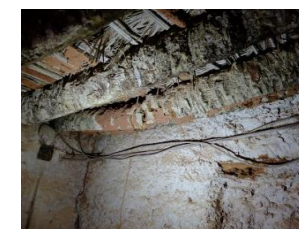
Multiplier et surdimensionner les regards pour désensabler les évacuations et éviter les stagnations.

2



Tailler des saignées d'au moins 7 cm de profondeur pour passer les gaines électriques.

1



Inspecter les réseaux existants et décider s'il y a quelque chose à garder ou si tout doit être changé

Dressage de murs par enduit épais



10m²/J



truelle

Taloche en bois ou en plastique

Lisseuse et truelle langue de chat

Seaux

Gamatte

Brosse



Mortier

eau



1 maçon

1 ouvrier

Comment faire?

- Préparer des mortiers de terre et les laisser macérer au minimum une journée pour améliorer leur plasticité.
- Humidifier le mur.
- Poser une planche en bas des murs pour récupérer le mortier qui tombe.
- Réaliser les gros rebouchages en ajoutant des morceaux de briques ou des pierres.
- Vérifier la planéité avec une règle ou une planche.
Laisser sécher 24 heures s'il y a de nombreux rebouchages de trous.
- Projeter l'enduit à la truelle.
- Dresser à la règle, talocher puis lisser.
- Laisser sécher puis appliquer un enduit plus fin si nécessaire.
- Nettoyer avec une éponge humide pour vérifier que les enduits ne farinent pas.
- Si l'enduit farine, appliquer une peinture naturelle (argile tamisée et colle de farine par exemple) ou un badigeon à la chaux.

Difficultés techniques

L'électricité et la plomberie doivent être terminés ainsi que les plafonds ou tête de murs. Un mur commencé doit être terminé la même journée pour avoir une belle finition. Si le mur doit être stabilisé, le mélange se fait au fur et à mesure par l'ouvrier spécialisé.

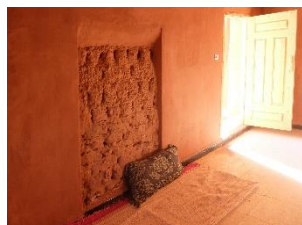


6



Finitions/dernières retouches le lendemain.

5



Des zones peuvent rester non enduites comme sur la photo à droite pour montrer le support original.

4



Lissage à la règle et la taloche.

3



Application à la truelle.

2



Préparation du support
Rebouchage de gros trous.

1



Humidification du mur.

Enduit intérieur de finition terre-sable-argile



Environ 12-15 m² par jour pour des pans de murs simples et accessibles



Seau (pour l'eau), truelle, gamatte, niveau à bulle



Mortier terre et sable tamisé à 5mm, eau



1 maçon

2 ouvriers, un qui prépare le mortier, l'autre qui sert le maçon

Comment faire?

- Attendre que les couches de dressage du mur soient parfaitement secs avant d'appliquer la couche de finition. Le mélange terre et ou sable-argile doit être testé avant application à grande échelle (voir page 16).
- Tamiser la terre et le sable avec un tamis de 5mm, pour faciliter la pose.
- Ajouter l'argile préalablement humidifiée (devenue pâte) et tamisée pour supprimer les petites pierres qu'elle pourrait contenir.
- Humidifier le mélange et le laisser reposer plusieurs jours si possible.
- Humidifier le mur avant d'appliquer l'enduit pour qu'il ne sèche pas trop vite et qu'il soit plus facile à lisser.
- Projeter le mortier en couche fine de 5 mm environ en partant du sommet du mur puis en descendant ensuite jusqu'à la plinthe.
- Lisser à la taloche.

Difficultés techniques

Il faut bien planifier les interventions pour que les pans de murs puissent être terminés le jour même, sinon les raccords se voient.



3

2

1



Murs enduits



Prendre ensuite le temps de lisser. Installer une planche en pieds de mur pour pouvoir facilement récupérer le mortier qui tombe en cours de pose.



Appliquer en commençant par le haut pour descendre ensuite. Prendre le temps de bien appliquer l'enduit entre les poutres.

Exemple de résultat après application des couches d'enduit épais de dressage et des couches de finition



AVANT

- Murs très érodés et en partie effondrés.
- Surfaces hétérogènes.
- Grande variété d'appareillages de briques et de matériaux.



APRÈS

- Fissures suturées.
- Murs entièrement remontés.
- Murs égalisés d'un enduit épais puis d'un enduit fin de finition.
- Certains accidents dans le mur transformés en niches.
- Toiture refaite.
- Une zone témoin laissée apparente sur le vieux mur pour montrer "l'avant réhabilitation".
- Sol nivelé et carrelé.

Réalisation de décorations



Environ 2m² par jour par personne pour une surface plane facile d'accès. Prévoir un rendement moindre pour des surfaces en hauteurs, des arcs, des niches ou autre détail complexe



Brosse, Truelle, tamis 4mm, couteau, mètre, niveau, échelle, seau d'eau, taloche, lisseuse
Échafaudage pour les parties hautes



Terre et sable tamisés à 4 mm, eau



Un artisan décorateur et un assistant

Les décorations font la fierté de Timimoun. La créativité des artisans est internationalement reconnue et admirée. Les projets de réhabilitation sont l'occasion de mettre leur art à contribution pour apporter une valeur ajoutée aux maisons. Ces décorations réalisées sur une couche d'enduit à base de sable fin et d'argile peuvent s'appliquer sur tout support, y compris sur des murs en béton.

Comment faire ?

- Préparer un mortier de sable fin des dunes + argile broyée tamisée à 4mm. La proportion varie en fonction de la nature de l'argile.
- Brosser le mur pour assurer une bonne accroche de la terre.
- Humidifier le mur.
- Projeter le mortier sur le mur pour couvrir une surface pas trop grande qui pourra être sculptée avant durcissement. Un débutant peut travailler de 0,1 à 0,3 m² maximum. Dans tous les cas, il est possible de réhumidifier les murs si la terre durcit.
- Niveller et lisser le mortier.
- Sculpter le mortier avant qu'il durcisse.
- Répéter l'opération jusqu'à couvrir toute la surface souhaitée.

Difficultés techniques

- Trouver la bonne proportion argile-sable qui ne soit pas trop argileuse (fissures) ni trop sableuse (fragilité, manque de cohésion).



5

4

3

2

1



Lissage au plateau.



Lissage à la taloche.



Egalisation avec un bois.



Application de la terre sur environ 15 mm.



Brossage et humidification du support.

6



Traçage du contour et dernières retouches de surface.

7



Retrait de l'excès d'enduit autour de la zone de travail.

8



Tracé des grandes lignes du dessin à la règle et au niveau.

9



Tracé des dessins entre les grandes lignes.

10



Sculpture de l'enduit au couteau. D'autres outils sont parfois utilisés comme des limes plates ou des morceaux de lame de scie à métaux.

Enduit extérieur de finition sable-terre-chaux



4-10 m² par heure par maçon
en fonction de la complexité
des surfaces



Truelle, brosse, masque, tuyau
d'arrosage, gamatte, taloche,
échafaudage, pelle, seaux



Terre, Sable, Argile, Chaux,
Paille, Eau



2 assistants pour chaque
maçon, 1 pour apporter le
mortier et un restant près du
maçon pour lui servir le
mortier

Comment faire?

- Bien décaper les couches de l'ancien revêtement dégradé pour enlever les parties fragiles et la poussière.
- Traiter les fissures avec des points de suture, comme expliqué page 19.
- Boucher les éventuels trous et lacunes.
- Préparer un mélange terre-argile-paille pour la première couche d'enduit (qui devra idéalement macérer une semaine avant l'utilisation).
- Ajouter la chaux en pâte qui a trempé dans des barils au moins une semaine à l'avance après l'avoir tamisée pour supprimer toutes les impuretés.
- Humidifier le mur pour laver la poussière déposée par le vent sur les briques et empêcher les murs d'absorber l'humidité de l'enduit appliqué et ainsi garantir une bonne cohésion et un séchage lent.
- Appliquer la première couche d'enduit terre-argile-paille d'environ 1 cm d'épaisseur.
- Laisser durcir une semaine en serrant par endroit si des fissures apparaissent.
- Humidifier le mur.
- Appliquer la couche de finition de sable-terre-chaux sur 2-3 mm seulement.

Difficultés techniques

Il est difficile de contrôler le durcissement et le séchage pour les façades exposées au soleil. Il faut bien humidifier le mur à l'avance et retalocher plusieurs fois l'enduit au cours du séchage.



6

5

4

3

2

1



Applications de l'enduit en
deux étapes : enduit de corps
de 1 cm puis enduit de
 finition de 2-3 mm.



Humidifier le mur.



Tremper la chaux en fût pour
pouvoir l'utiliser comme
stabilisant dans les deux
couches d'enduit et la
tamiser avant utilisation.



Préparer un mélange terre
paille pour la première
couche de revêtement.



Traiter les fissures et boucher
les éventuels trous.



Enlever les anciennes
couches et dépoussiérer les
surfaces.



AVANT

- Murs très érodés, en particulier aux sommets.
- Surfaces fragiles.
- Fissures nombreuses.
- Ruissellements et stagnations en bases de murs.
- Hétérogénéité des surfaces.



APRÈS

- Sommets de murs refaits.
- Murs et toitures effondrés refaits.
- Surfaces horizontales protégées de plusieurs couches de mortier de sable-chaux.
- Surfaces de murs extérieurs couvertes de mortier de terre-chaux.
- Sommets de murs badigeonnés à la chaux.

Habillage d'éléments en béton



De 4 à 10 m² par heure d'enduit en fonction de la complexité de la surface à enduire



Seau (pour l'eau), brosse métallique pour préparer le mur, truelle, gamatte, taloche



Mortier terre-chaux ou terre-ciment pour l'extérieur
Mortier terre pour l'intérieur



1 maçon
1 ouvrier

Les éléments en béton se marient mal à l'esthétique de la terre. Il est courant dans le Ksar de voir des maisons en terre couvertes de réparations en parpaings et mortier de ciment. Si retirer ces parties en ciment représente un risque pour la stabilité de la structure, il est préférable de les laisser en place. Dans ce cas, elles peuvent être habillées de mortier de terre pour mieux s'harmoniser avec le reste.

Comment faire ?

- Évaluer la pertinence de retirer ou laisser les parties en ciment dans la maison. Les éléments type enduit étanche qui créent des problèmes de respiration devront être retirés.
- Pour les éléments qui restent en place, il suffit de les brosser s'ils sont couverts de peinture puis de les humidifier pour recevoir l'enduit.
- Appliquer un enduit terre-chaux pour les surfaces extérieures exposées aux intempéries.
- Appliquer un enduit de terre pour les surfaces intérieures.

Difficultés techniques

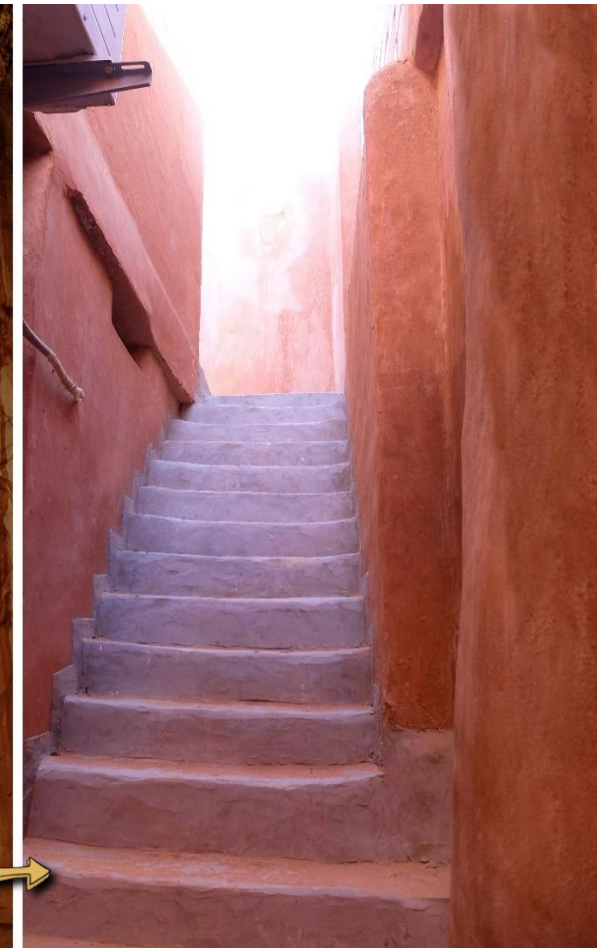
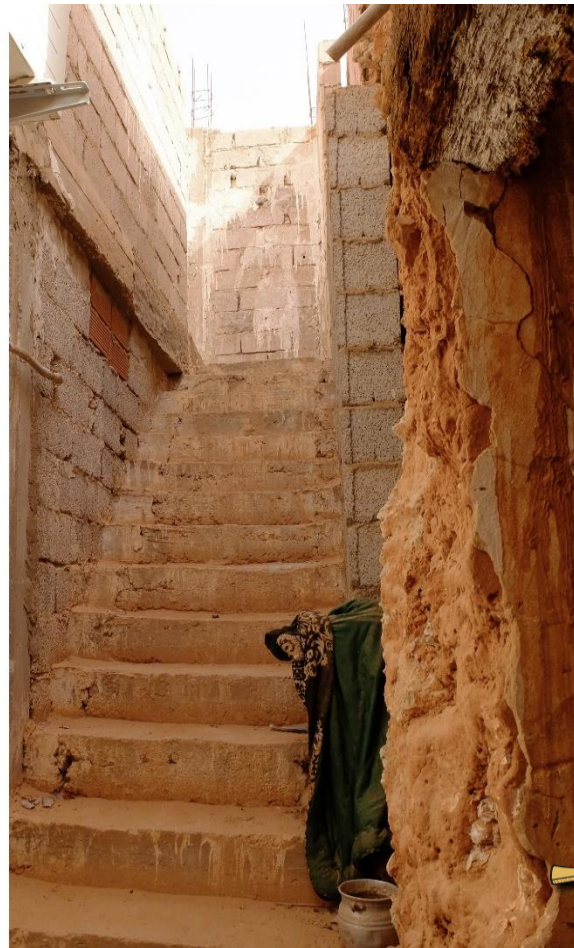
Aucune difficulté, la terre accroche très bien sur les parpaings ou les enduits ciment, du moment qu'ils n'ont pas été peints avec des peintures étanches ou qu'ils ne sont pas gras. Si le support est trop lisse et trop étanche, il est possible d'appliquer une barbotine d'accroche projetée à la truelle. Sur un support en béton lisse, cette barbotine sera constituée de ciment et de sable grossier pour faciliter l'accroche de la couche finale.



6	5	4	3	2	1
					
Le sommet peut recevoir une protection supplémentaire au lait de chaux.	Le contraste mur enduit - mur en parpaing nu est saisissant.	Appliquer l'enduit si possible lorsque le mur n'est pas exposé au soleil pour éviter un séchage trop brutal.	Appliquer l'enduit de terre stabilisée à la truelle sur le mur humide et talocher comme pour n'importe quel enduit. Aucune couche d'accroche n'est requise.	Nettoyer les murs à enduire, supprimer tous les fers qui dépassent et humidifier les supports.	Effectuer des tests et voir leur qualité d'adhésion et leur résistance à l'abrasion.



Habillage des poteaux avec des enduits décoratifs en terre et peinture des murs au lait de chaux.



Habillage des murs avec des enduits en terre-chaux.

CAPTERRE



Qui sommes-nous ?

Le Centre Algérien du Patrimoine Culturel Bâti en Terre, par abréviation CAPTERRE, est un établissement public à caractère administratif, sous tutelle du ministère de la Culture, créé par décret n°12-79 du 19 Rabie El Aouel 1433 correspondant au 12 février 2012. Son siège est établi à Timimoun, Wilaya d'Adrar. Cet opérateur du ministère de la culture est chargé, à travers la réhabilitation de l'image des architectures de terre, d'assurer la promotion et la valorisation du patrimoine culturel bâti en terre et des savoir-faire s'y rapportant, avec pour objectif de parvenir à assurer une sauvegarde durable de cette part majeure du patrimoine algérien.

Conformément à l'Arrêté interministériel du 18 Dhou El Kaada 1433 correspondant au 4 octobre 2012 fixant l'organisation interne du centre algérien du patrimoine culturel bâti en terre et de ses annexes, le CAPTERRE est organisé en trois départements : un département administratif et deux départements techniques. Encadrés par le **département administratif**, le **département de la valorisation** et le **département de la promotion**, veillent à la réalisation des missions de l'établissement.



Département de la valorisation

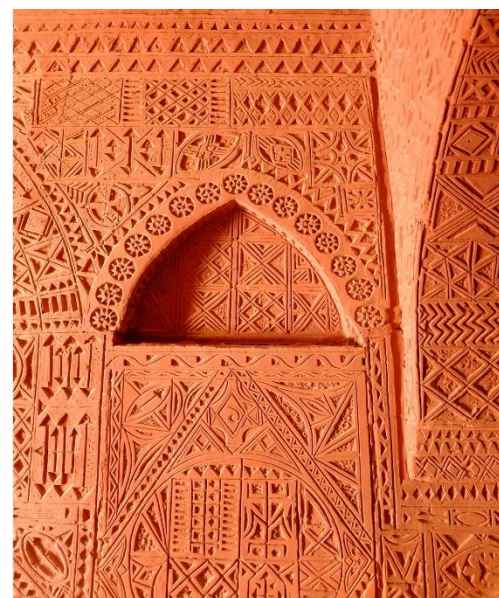
Il est notamment chargé :

- de procéder à l'identification et à l'inventaire du patrimoine culturel bâti en terre et des savoir-faire liés à sa production ;
- d'initier et de préparer les dossiers de protection légale des biens culturels bâtis en terre de valeur exceptionnelle à l'échelle locale, nationale et internationale ;
- d'assurer le contrôle technique de tous travaux sur des biens culturels bâtis en terre, protégés conformément à la législation et à la réglementation en vigueur, notamment la loi n° 98-04 du 20 safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 susvisée ;
- d'effectuer et de diffuser toutes études et recherches qui visent à développer et à améliorer les techniques de conservation, de restauration et/ou d'entretien des biens culturels bâtis en terre et de réalisation d'édifices en terre ;
- d'assurer toutes missions d'assistance technique sur les projets publics de conservation des biens culturels bâtis en terre et toute assistance technique de nature à promouvoir les architectures de terre.

Département de la promotion

Il est notamment chargé :

- d'assurer toutes missions d'information et de conseil de nature à promouvoir les architectures de terre ;
- de produire et de diffuser l'information en rapport avec l'objet du centre sur tous supports ;
- de développer et de mettre en œuvre des programmes d'actions pédagogiques et didactiques en rapport avec l'objet du centre ;
- d'organiser et de participer aux différentes manifestations culturelles et scientifiques nationales ou internationales en rapport avec l'objet du centre ;
- d'alimenter et de mettre à la disposition du public un fonds documentaire en rapport avec l'objet du centre (bibliothèque, photothèque, cartothèque, etc ...) ;
- de créer une base de données numériques en rapport avec son objet.



CAPTERRE

Centre Algérien du Patrimoine Culturel Bâti en Terre
Ex hôtel Oasis Rouge - Avenue du 1er novembre. Timimoun - Algérie
B.P. 668 Timimoun - Algérie

Tel: +213 49 30 02 78 Fax :+213 49 30 02 83 | e-mail: capterre.timimoun@gmail.com | Page Facebook: CAPTERRE

