J. Mater. Environ. Sci. 7 (10) (2016) 3634-3646 *Idir Kadoui and Dahli*
ISSN : 2028-2508
CODEN: JMESCN **CIAT2015**

Réhabilitation du patrimoine architectural en terre, un héritage à sauvegarder
Rehabilitation of the earthen architectural heritage, a heritage to save

L. Idir Kaddour[1], M. Dahli[1]
[1] *Département d'architecture université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Algérie*

**Corresponding author: idir_ummto@yahoo.fr uni_ukr@yahoo.fr*

Abstract
The field work carried out informs us on the presence of an earthen architectural heritage rich and diverse, largely based on the two most common traditional techniques, namely rammed earth and mud bricks (toub). The traces of this heritage are still visible, not only in desert areas where the two techniques find a favorable environment for their existences, but also in areas of mountains and high plateaus of our territory. Unfortunately, field reality informs us that a significant number of this architectural heritage lost its physical stability. This research work has the purpose to safeguard this bequeaths through a rehabilitation process to serve as a fulcrum for sustainable and effective transmission of this segment of our earthen architectural heritage for future generations. Thus, the objective of our contribution is to present traditional techniques of rehabilitation (from real examples) which are based primarily on interventions using methods, materials and traditional type tools, without being exhaustive.

Keywords: architectural, rammed earth, mud brick (toub), rehabilitation
Mots clés: patrimoine architectural, pisé, adobe (toub), réhabilitation

1. Introduction
La construction de terre crue en Algérie est, sans aucun doute, un patrimoine légué par nos ancêtres que nous devons impérativement sauvegarder. Il suffit juste de faire le tour du territoire algérien pour contempler de magnifiques sites en terre crue, encore visibles dans les zones présahariennes: Béchar, Adrar (vallée de Gourara, Timimoune), Biskra, Ghardaîa (vallée des M'zab), Tamanrasset.., aux Aurès (les villages de Ghoufi, Béni souik…) et également dans le massif montagneux de Djurdjura qui recèle de nombreux villages dotés de maisons traditionnelles bâties en terre crue. Des maisons, certes pas aussi connues et spectaculaires que les ksour du désert, mais elles restent un témoignage du savoir-faire ancestral de la société villageoise au nord du pays.
Le sujet proposé trouve son origine dans la vulnérabilité des architectures de terre en Algérie, due, essentiellement au manque d'entretien, à la négligence et à la disparition des pratiques de conservation traditionnelles ce qui a pour conséquences, dans la plus part des cas, des désordres irréversibles. Les principales pathologies des constructions en terre crue sont dues essentiellement aux aléas du temps, aux conditions climatiques, aux facteurs de vieillissement des matériaux et des désordres structurels au niveau des soubassements, des murs et des toitures (problème d'étanchéité).
Suite à ce constat, notre objectif est de dresser une liste non exhaustive des techniques de réhabilitation et/ou d'entretien des constructions traditionnelles en terre crue. Il s'agit globalement des techniques de réfection des murs, de consolidation des planchers et de celles relatives à la réfection des problèmes d'étanchéité. Ces techniques se basent principalement sur des interventions correctrices, utilisant des méthodes de type traditionnel, jumelées parfois avec des matériaux nouveaux.

2. L'architecture de terre en Algérie
2.1. Champ d'intervention
Notre champ d'intervention se limite à trois *wilayat* qui sont: Tizi-Ouzou, El-Oued et Ouargla. La première *wilaya* se situe au centre-est du pays, elle longe une petite partie de la côte méditerranéenne et est traversée par la

chaine montagneuse de Djurdjura. Quant aux deux dernières, elles se situent à la porte du désert, au nord-est du Sahara, le long du grand Erg oriental dans la vallée d'Oued-Righ et Oued-Souf (Figure 1). Le Tableau 1 indique les sites visités qui nous ont permis d'aborder le sujet d'une manière plus concrète (Figures 2, 3, 4).

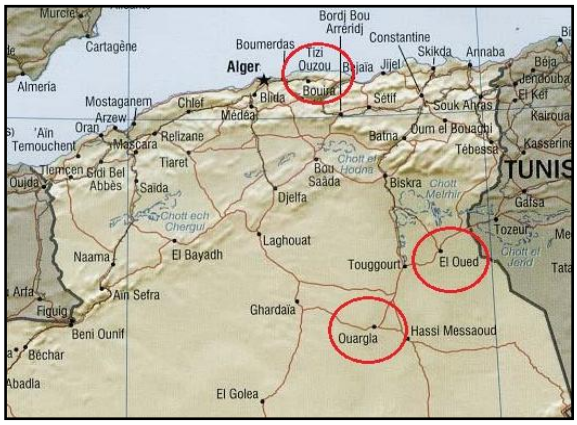


Figure. 1: Situation géographique des *wilayat* visitées.

Figure 2: Situation des villages visités (*wilaya* de Tizi-Ouzou)

Tableau 1: Les sites visités

Les techniques	**Wilayat**	**Daïras**	**Les lieux visités**
Le Pisé	Tizi-Ouzou	Maatkas	Ait Ahmed; Ait Zaim ; Icharkiyen, Ichaouadhien
		Beni-Yenni	Thaourirt Mimoune
Le Toub	EL-Oued	Djemaa	Ksar Tamarna Kedima
	Ouargla	Touggourt	Ksar Témacine

Figure 3: Situation du Ksar Témacine, Touggourt (Ouargla)

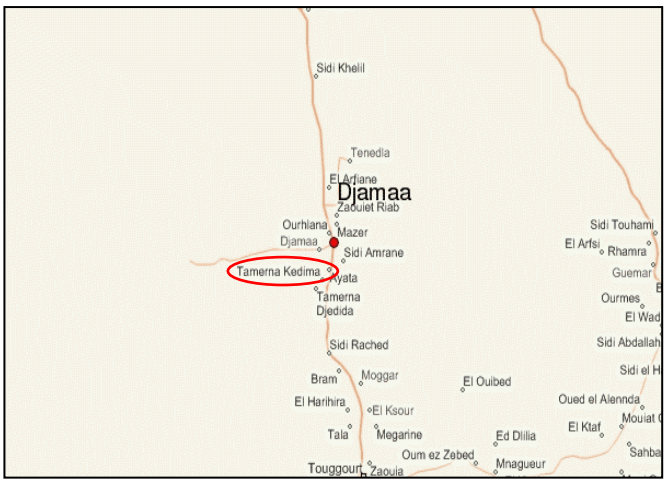


Figure 4: Situation de Ksar Tamarna Kedima, Djemaa (El-Oued)

Lors de nos sorties, notre outil d'approche s'est basé sur l'observation in situ où les prises photographiques étaient indispensables ainsi que les témoignages des personnes âgées qui nous ont apporté des informations précieuses concernant les méthodes de constructions, le matériel et les matériaux utilisés. Ces sorties nous ont

permis également de faire un certain nombre de constats concernant l'étude des typologies et des désordres qui affectent les constructions traditionnelles.

3. Définition de la réhabilitation

Définie dans la charte de Lisbonne (Octobre 1995) comme étant les «*travaux dont la finalité est la récupération et la remise en état d'une construction, une fois résolues toutes les anomalies constructives, fonctionnelles d'hygiène et de sécurité cumulés tout au long des années, et menant à bien une modernisation dont le but est de lui faire mieux remplir ses fonctions, jusqu'à s'approcher des actuels niveaux d'exigences*».

C'est une intervention qui consiste à améliorer l'état constructif de la bâtisse et à assurer le confort thermique, acoustique et les conditions d'hygiène des occupants en intégrant les commodités de bien être et en prenant soin d'éviter l'altération de ses valeurs authentiques (Choay et Merlin, 1988). De ce fait, contrairement au neuf, la réhabilitation compose avec l'existant d'un site donné.

Comme toute intervention sur un bien patrimonial, la réhabilitation ne peut être menée à bien qu'à la condition que soit réalisé au préalable un diagnostic méthodique assuré par une équipe qualifiée qui permettra d'avoir une bonne connaissance du bâti, de ses techniques constructives et tous les éléments qui concernent le système structurel. La réhabilitation dont il est question dans cet article est technique, elle consiste à connaitre de près le bâti, à détecter les pathologies, à comprendre les causes, pour proposer des remèdes adéquats.

4. Traitement des pathologies liées à l'humidité

4.1. Les désordres provoqués par l'humidité

La présence anormale d'humidité peut altérer la qualité des constructions, avoir une incidence sur la qualité des ambiances intérieures, sur le confort thermique des habitants et sur la résistance structurelle de la bâtisse (Berger et al, 2012). Les désordres provoqués par l'humidité sont nombreux nous les résumons comme suit:

-
- dégradation du soubassement des murs à cause de l'application d'un enduit étanche, provoquant des gonflements, des boursouflures et l'éclatement des enduits (Figure 5);
- un taux élevé d'humidité modifie la résistance mécanique du matériau;
- provoque un déséquilibre au niveau des échanges hygrométriques entre l'intérieur et l'extérieur;
- détachement du mortier de rejointoiement;
- prolifération des moisissures et des champignons qui détruisent les éléments en bois (Figure 6);
- les sels présents dans l'eau provoquent des creux sur l'ensemble du mur (Figure 7).

Figure 5: Dégradation du mur en terre sous l'enduit de ciment. Maatkas, Ait Ahmed. (source: auteur)

Figure 6: Dégradation du linteau sous l'effet de l'humidité. Ksar Tamarna kdima (source: auteur).

4.2. Les remèdes contre l'humidité

4.2.1. Installation de drain périphérique

Le drain est un dispositif qui permet de contrôler l'humidité présente aux pieds du mur. Le système consiste à intercepter les eaux de pluie et les empêcher d'atteindre la base des murs, de les canaliser vers un drain raccorder au réseau d'eaux pluviales (Collombet et al, 1989).

Figure 7: Formation de creux sous l'effet du climat. Ksar Témacine, (source: auteur)

L' image de Figure 8, prise à Maatkas (village d'Ichaouadien), illustre un drain périphérique. D'après les propos recueillis au près du propriétaire, son installation est la solution pour finir avec les infiltrations d'eaux de pluie dont souffrait sa maison. Pour cela, le propriétaire a procédé au préalable, par le décapage du sol sous-jacent au mur et la suppression à la fois, de la végétation et du dallage étanche. Et pour finir, il a réalisé une tranchée en pente et une rigole pour canaliser les eaux vers le collecteur principal. Par mesure de sécurité, le propriétaire a installé une barrière en bois qui fait office de garde corps pour les passants.

Figure 8: Drain périphérique. Maatkas, Ichaoudien (source: auteur).

4.2.2. Traitement contre les infiltrations des eaux

Si les infiltrations sont dues à une rupture de canalisation, il s'agira de réparer la canalisation et opérer ensuite par une réfection de l'enduit avec de préférence un enduit à la chaux. Si la partie supérieure du mur est atteinte, il y a lieu de réaliser un prolongement de la toiture. Dans le cas où c'est la partie basse qui est touché, il suffira de donner une forme de pente au sol et procéder à la suppression du dallage étanche qui empêche l'évaporation naturelle de l'eau (Figure 9). Dans le cas où le ruissellement des eaux de pluie a creusé une cavité importante le long du mur, on la comble avec un mélange de terre et de paille et on le recouvre d'un enduit perméable à la vapeur et imperméable à l'eau.

5. La réhabilitation structurelle

5.1. Les fondations

D'après les enquêtes effectuées, ils existent trois types de fondations (Tableau 2).

5.1.1. Les désordres

La cause principale des désordres des fondations provient des tassements différentiels des sols porteurs, ce qui cause la perte de la planéité des fondations et la dégradation du mortier constituant la maçonnerie des fondations (Duquoc, 2006). Toutefois, diagnostiquer un désordre au niveau des fondations revient à observer de près les désordres apparents sur les murs en superstructure, à savoir: les déformations et les fissures (Coignet, 2006).

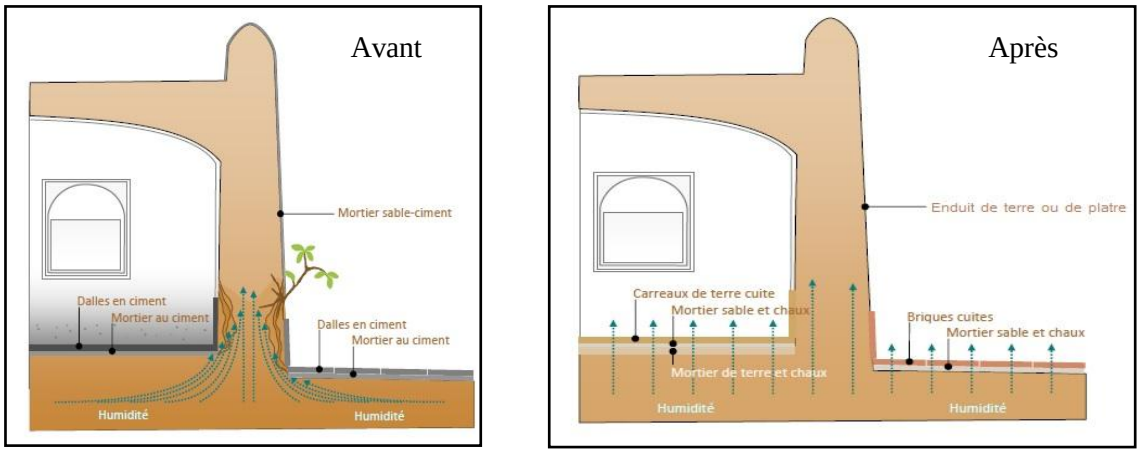
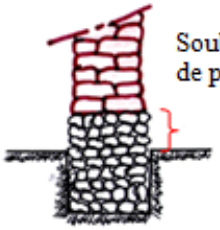


Figure 9: Suppression du dallage en ciment (source: Moriset, 2012)

Tableau 2: Différent types de fondations

Premier cas	Deuxième cas	Troisième cas
Absence de soubassement en pierre, ceci qu'on est sur un sol rocheux.	Assises de pierres disposées au fond de la tranchée.	 La fondation est prolongée en élévation hors sol

5.1.2. Techniques de consolidation

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

5.1.3. Réhabiliter les fondations et les soubassements

5.1.3.1. Nettoyage et mise à niveau

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

5.1.3.2. Reprise des fondations

Si la base du mur présente des écroulements qui mettent en danger la stabilité de la maison, la solution est d'étayer au préalable le mur, de démolir la partie endommagée, on procède ensuite, à une reprise de fondations et la construction du mur.

5.2. Les murs

5.2.1. Les murs en pisé

Ce type de murs est observé à Maatkas et Beni-Yenni. Ils sont porteurs d'une épaisseur qui varie entre 50 et 90cm. La hauteur des constructions est couramment d'un ou deux étages. Deux variantes ont été observées:

- *Mur en terre banchée (Maatkas):* la terre est mélangée à des débris de briques, de tuiles, parfois à de la paille hachées, des galets et de chaux. L'aspect final est un mur monolithique avec une texture rugueuse perforée, laissées par le coffrage (Figure 10).

- *Mur alterné de lit de pierre (Beni-Yenni):* l'aspect final du mur est une succession de lit de cailloux et de terre, alternés à intervalle égale (Figure 11). Il existe des cas où le lit de cailloux est remplacé par des débris de tuiles posées obliquement (par soucis d'esthétique).

5.2.2. Les murs en brique de terre crue (toub)

Moyennement de 30 à 50cm, le principe d'édification consiste à poser des briques côte à côte, en variant leur disposition d'une rangée à une autre (Figure 12).

Figure 10: Mur monolithique en terre banchée - Maatkas, Ath Zaim (source: auteur)

Figure 11: Mur en terre alterné de lit de pierre.- Beni-Yenni, Ath Mimoune (source: auteur)

Figure 12: Construction en brique de terre crue - Ksar Témacine (source: auteur)

5.2.3. Les désordres

- Déchaussement des briques de terre crue (Figure 13);
- Déversement des murs vers l'intérieur ou l'extérieur qui désigne l'éloignement du mur par rapport à l'aplomb sous l'effet d'une poussée latérale ou d'un glissement de terrain (Figure 14);
- Formation de ventres sous l'effet des poussées de la charpente;
- Désolidarisation des murs due à un mauvais chainage (Figure 15);
- Formation de fissures et selon leur taille nous pouvons distinguer soit des microfissures, des fêlures, des lézardes ou des crevasses;
- Les fissures de poinçonnement dues à une mauvaise répartition de la charge (poids de la couverture ou du plancher).

Figure 13: Déchaussement des briques de terre crue - Ksar Tamarna kedima (source: auteur)

Figure 14: Etaiement d'un mur déversé vers l'extérieur - Ksar Témacine (source: auteur)

Figure 15: Désolidarisation au niveau de l'angle des murs porteurs - Ksar Tamarna Kedima (source: auteur)

5.2.4. Consolidation des murs

5.2.4.1. Reprises des fissures

Avant toute reprise de fissures, il convient d'abord de déterminer l'origine du problème et y remédier afin de stabiliser la structure. Selon le degré de la pathologie, il existe plusieurs types d'interventions, citons : les tirants, les chainages en bois, les contreforts. Si les fissures sont superficielles et qu'elles ne portent pas atteinte à la stabilité du bâti, on pourra nettoyer les cavités et les reboucher avec un mortier à base de terre (Moriset et al, 2011). Le mortier en ciment est à proscrire, car la reprise des fissures doit se faire à partir de matériaux compatibles avec le matériau terre. Enfin, et pour homogénéiser la surface, un enduit peut être appliqué. Si les

fissures sont importantes, il est possible de les refermer en insérant des clés en bois jouant le rôle de «points de suture» (Moriset, 2010), le bois doit être traité contre les termites (trempé dans un lait de chaux). On peut également les combler avec des blocs de terre. Cependant, il faut penser à ce que la réparation ne perturbe pas la descente des charges et à travailler la pente de drainage pour maintenir l'humidité à distance.

5.2.4.2. *Renforcement des angles*
La méthode consiste à réaliser un harpage qui assure une bonne liaison au niveau des angles. On peut opérer par différentes façons selon le désordre et la nature du matériau, soit par la pose de clés en bois noyées dans la maçonnerie (Figure 16), ou par des angles maçonner en matériaux durs, notamment la pierre ou la brique de terre cuite (Figure 17).

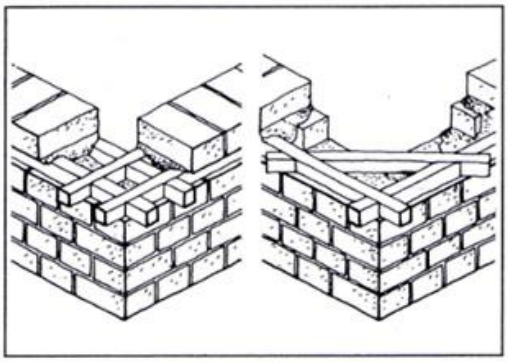


Figure 16: Chainage en bois (source: CRAterre).

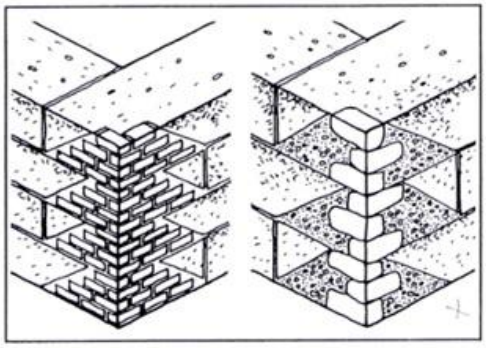


Figure 17: Angle maçonné en matériaux durs.

5.2.4.3. Contreforts en maçonnerie
Le rôle des contreforts consiste à absorber les sollicitations que subi les murs et de les transmettre au sol lorsque le bâtiment n'est pas suffisamment rigide pour absorber les tensions ponctuelles (Photo 5.7).

Figure 18: Contreforts. Ksar Tamarna Kedima (source: auteur)

5.2.4.4. Reconstructions des murs
a. Réparation d'une détérioration partielle
Avant d'entreprendre les travaux de réparation, il faut tout d'abord prévoir des mesures de sécurité par la mise en place d'étaiement au niveau des parties en contact direct avec le mur à réparer (Figure 19), ensuite procéder par les étapes suivantes:

- Démonter la partie abimée et réserver les matériaux recyclables;
- Niveler la base avant de reconstruire et humidifier;
- Remplacer les briques dégagées par de nouvelles unités, les appareiller ensuite avec un mortier de liaison à la chaux;
- Insérer si nécessaire des renforcements dans le mortier au cours de la reconstruction.

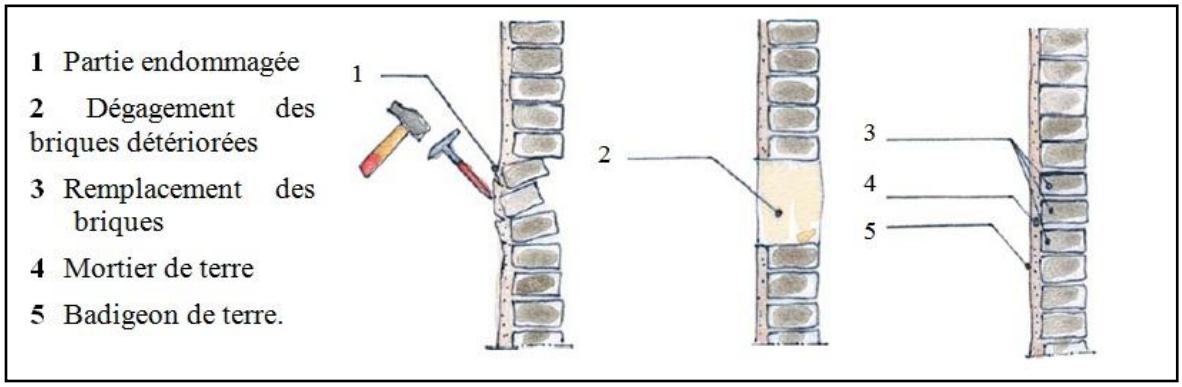


Figure 19: Méthode de réparation partielle d'un mur en brique de terre crue.

b. Réparation d'une détérioration entière

La reconstruction entière d'un mur n'est justifiée que si ce dernier est très endommagé au point de devenir dangereux. Il vaut mieux conserver que reconstruire afin de garder la lecture historique et l'authenticité du bâtiment. Toutefois, une réparation entière offre la possibilité d'insérer des renforcements horizontaux et verticaux qui rendront la maison plus résistante aux différentes sollicitations (Moriset, 2010). Pour entreprendre une telle opération il faut suivre les étapes suivantes:

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

5.2.4.5. Réparation d'une déformation (ventre)

Il faut avant tout supprimer la cause de la déformation. Dans la plus part du temps la reconstruction du mur s'impose, mais quand le ventre est acceptable, on peut se contenter de poser un tirant avec un chainage en haut du mur. La manière correcte de réparer un mur endommagé est de procédé par alternance (Figure 20):

a. Premièrement: diviser la longueur du mur qui a subi des dommages en tronçon de 1,20m à 1,50m en commençant par les extrémités.

b. Deuxièmement: on procède ensuite à l'étayage latérale du mur. On démonte une première partie choisie en formant un arc de décharge. On reconstruit les fondations et les soubassements (si ceux-ci sont affectés ou inexistant), puis à la reconstruction du mur.

c. Troisièmement: changer de position et de l'autre coté afin de stabiliser la maison et ainsi terminer successivement les différentes parties sélectionnées: position 3 ensuite position 4.

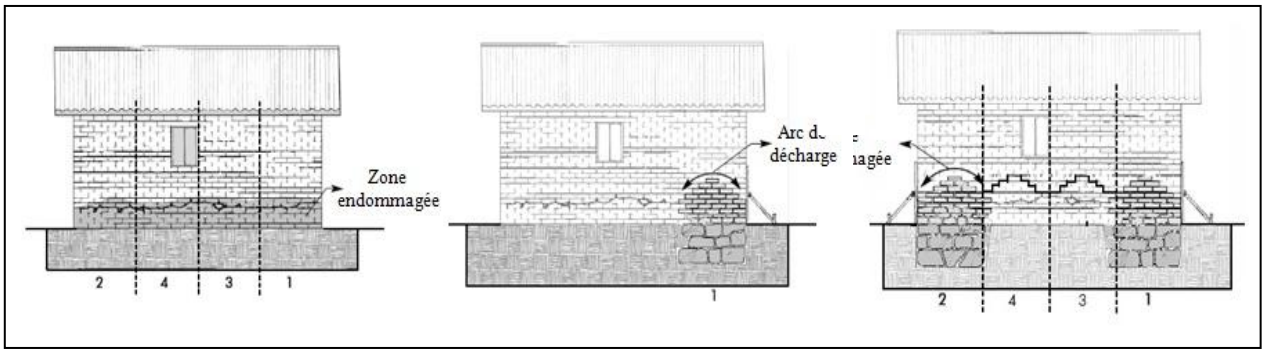


Figure 20: Méthode de réparation d'une déformation entière (ventre) - (source: CRAterre)

5.3. Les planchers

Lors de nos visites nous avons rencontré une variété de typologies de planchers, ces derniers varient selon la portée et la nature des matériaux localement disponibles. D'une manière générale, les planchers des maisons

traditionnelles en terre, sont principalement en structure bois. Ils sont constitués d'une double ossature composée de poutres formées par des troncs de bois brut: palmier pour le toub (Figure 21) et oliviers pour le pisé (Figure 22), perpendiculaire aux murs les plus longs de la maison et d'une ossature secondaire constituée de branches d'arbres bruts disposées perpendiculairement aux poutres. La finition est composée d'une couche de pierre et de terre compactée, parfois mélangée à la chaux.

Figure 21: Plancher traditionnel d'une maison en Toub. Ksar Tamarna Kedima (source: auteur)

Figure 22: Plancher traditionnel, Beni-Yenni (source: auteur)

5.3.1.Les désordres

Ils se manifestent par le fléchissement du plancher suite à la forte fluence à laquelle sont soumis les éléments en bois qui composent le plancher (Figure 23). Ce phénomène a pour conséquence de diminuer la capacité de résistance de l'élément qui compose le plancher, en l'occurrence: la poutre. Les causes principales des déformations sont dues à un défaut de conception (sous dimensionnement des poutres), à une surcharge inhabituelle, pourrissement des éléments en bois à cause de la présence d'eau et d'humidité et aux attaques des insectes et des champignons (Figure 24).

Figure 23: Fléchissement du plancher. Tamerna Kedima (source: auteur)

Figure 24: Rupture de la poutre due à des attaques biotiques. Tamerna Kedima (source: auteur)

5.3.2. Réparer un appui de plancher au niveau du mur

Cette technique est utilisée dans le cas où seul l'appui est abimé (Figure 25). Les étapes à suivre sont:

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

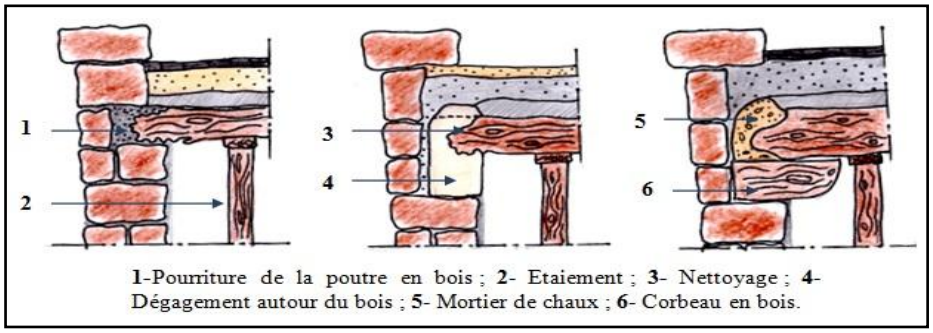


Figure 25: Descriptif de la méthode de réparation d'un appui de plancher. (source: reconstitution personnelle à base du dessin de Corpus-Levant)

5.3.3. Poser un montant intermédiaire

La solution consiste à réduire les tensions de flexion et les déformations dues aux fluages du bois. Pour cela, on emploie des poutres en bois, disposées en travers de la poutre à renforcer (Figure 26). Cependant, pour garantir de bonnes conditions d'appui pour le montant, il faut, soit monté des murs perpendiculairement aux murs porteurs dont la résistance est affaibli, ou à défaut, des piliers spécifiques avec une bonne assise sur le terrain pour pouvoir lui transférer les charges correctement (Diaz Gomez, 2005).

Figure 26: Ajout d'un montant intermédiaire en bois de palmier. Ksar Témacine (source: auteur)

5.3.4. Réparer les décollements de l'enduit

Les enduits épais à base de ciment doivent être enlevés et remplacer par des enduits qui laisse le mur respirer. L'opération consiste à décrouter le mur, le laisser plusieurs jours voir plusieurs semaines à l'air libre pour le laisser sécher en profondeur avant d'effectuer les réparations et de l'enduire à nouveau avec un enduit de terre ou de chaux. L'intervention consiste à nettoyer les murs en enlevant les parties fragiles, la poussière et les anciennes couches. Traiter les fissures et boucher les éventuels trous au moins un jour avant d'enduire. Humidifier et projeter le mortier fermement contre le mur. Egaliser à la main en s'appliquant à raccorder les surfaces nouvelles au même niveau que les anciennes surfaces existantes. L'application doit se faire à l'ombre car un séchage rapide entraine des fissures et des décollements (Moriset et al, 2010).

5.3.5. Traiter les efflorescences

La lutte contre les efflorescences passe d'abord par le traitement de l'humidité capillaire. Ensuite, on applique un enduit qu'on renouvelle à intervalle de temps régulier au fil des altérations, jusqu'à disparition du phénomène. C'est ce qu'on appelle « enduit sacrifié » (Jeannet et al, 1996).

5.4. Interventions sur les toitures

En général, il est conseillé de remplacer les toitures à condition qu'elles soient débordantes pour protéger les murs des rejaillissements des eaux de pluie (Figure 27). Toutefois, on peut procéder à leur consolidation lorsque leur état général le permet.

5.4.1. Réparation une toiture en tuiles
5.4.1.1. Le contrôle des assemblages
Ça consiste à renforcer toutes les liaisons entre les pièces de bois de la charpente avec des pièces métalliques (cornières). On peut aussi renforcer la charpente à l'aide de pannes supplémentaires pour essayer de reprendre les poussées et les ramener dans un plan vertical (Figure 28).

Figure 27: Protection du haut du mur par une toiture débordante, Maatkas, Icharkien (source: auteur)

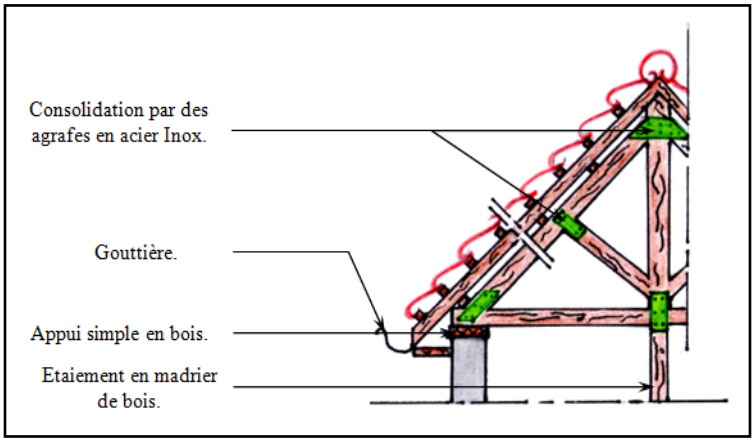


Figure 28: Réparer les défauts assemblages de la charpente (source: Corpus-Levant)

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

5.4.2. Réparer une toiture plate en terre
5.4.2.1. Les désordres
L'humidité est le facteur principal dans la dégradation des toitures en terre. Son exposition aux intempéries favorise la dégradation de l'enduit, entraîne l'infiltration des eaux de pluie à l'intérieur, ce qui provoque le déséquilibre statique de l'ensemble structurel (Figure 29).

Figure 29: Dégradation des coupoles. Ksar Tamarna Kdima (source: auteur)

5.4.2.2. Entretien de la toiture
Remédier aux désordres prés-cités revient à améliorer l'étanchéité de la toiture par la réparation de l'acrotère, l'ajustement de la surface en assurant une forme de pente vers les gouttières, pour évacuer les eaux pluviales. Couvrir la terrasse avec un nouveau mortier. Le toit ne doit pas être en surcharge, l'accumulation de couche est dangereuse pour la structure et met les habitants en danger. C'est pourquoi il faut débarrasser le toit des anciennes couches de mortier avant de le refaire.

5.5. Intervention sur les arcs, les voutes et les coupoles

5.5.1. Les désordres

Les déformations des murs porteurs provoquées par les tassements des fondations se répercutent sur les voûtes causant de nombreuses fissurations sur l'ensemble de la voûte. Si l'origine des désordres persiste, les fissures vont évoluer, causant la déstabilisation de la voûte.

En ce qui concerne les coupoles, comme elles sont exposées aux intempéries cela les exposent constamment à la dilatation et dessèchement qui se manifeste par des fissurations (Figure 30). Sans intervention rapide, l'humidité pénètre la structure en profondeur menant à la détérioration et la décomposition de briques de terre.

5.5.2. Mise en place de tirants métalliques

Les solutions applicables à la consolidation des planchers (tirants, chainages…) peuvent également utilisées pour la consolidation des arcs et des voûtes. La Figure 31 prise à Ksar Témacine, illustre la mise en place d'un tirant métallique pour remédier à l'écartement des colonnes de l'arc.

En ce qui concerne les coupoles, si les fissures sont superficielles, un simple entretien suffit. Pour cela, il faut reprendre l'enduit de terre et appliquer par-dessus un badigeon de chaux protecteur contre les intempéries. En revanche, si les fissures sont profondes et que l'on a constaté un effondrement partiel, dans ce cas, on procède à une réfection de la coupole. Il s'agit, de démonter et de remplacer la partie abîmée, selon le même procédé pour une nouvelle construction.

Figure 30: Fissures apparentes au niveau de la clé de l'arc. Ksar Témacine (source: auteur)

Figure 31: Consolidation de la voûte par un tirant métallique. Ksar Témacine. (source: auteur)

6. Intégration des nouvelles installations et les nouveaux équipements

Vivre dans une maison en terre crue ne signifie pas renoncer au confort de la modernité: l'électricité, l'eau courante, le gaz…, il suffit juste de savoir les adaptés et les intégrés le plus savamment possible. Nous voulons dire par là, les intégrés sans pour autant perturber l'espace intérieur, ni porter atteinte à son caractère patrimonial (Corpus-Levant, 2011).

a. L'électricité: réaliser des gaines techniques dans des endroits peu visibles (au niveau du plafond) pour cacher les circuits:

b. Le gaz: assurer une ventilation pour éviter des concentrations accidentelles de gaz;

c. La plomberie: toute eau doit être cheminée à l'extérieur de la maison à l'écart des fondations. Le réseau de plomberie doit être centralisé et apparent pour faciliter le contrôle est l'entretien. Munir la cuisine, les sanitaires et la salle de bain avec des siphons de sol, avec une pente de drainage suffisante. Séparer, plus particulièrement, les équipements du type douche des murs de terre (Figure 32);

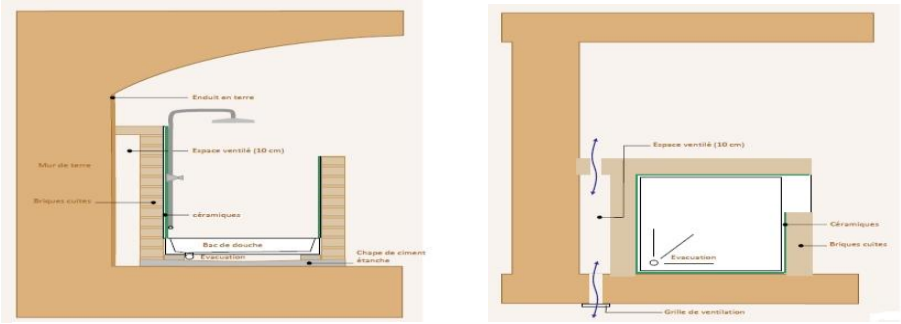


Figure 32: Installation des sanitaires (source: Moriset, 2010)

d. L'assainissement: le traitement des eaux usées est un élément très important dans les travaux de réhabilitation d'une maison en terre. Il faut veiller aux raccordements des conduites au réseau de collecte principal (Jeannet et al, 1996).

Conclusion

La réhabilitation du patrimoine en terre doit nécessairement se baser sur la compatibilité entre les techniques issues des traditions locales et les techniques contemporaines. La connaissance des techniques de mise en œuvre est une condition *sine qua non* de sa sauvegarde.

Les techniques de réhabilitation proposées se concentrent sur l'élimination de toute source d'eau nuisible à la construction, la récupération du caractère monolithique des murs, la consolidation des murs au niveau des angles et aussi sur l'utilisation d'éléments de réduction des pressions horizontales. On dit que pour une maison en terre, il faut un bon chapeau et de bonnes bottes. Le chapeau étant la toiture qui déborde, les bottes, le soubassement en pierre. Ce dernier doit dépasser le niveau du sol afin que les eaux de ruissellement et/ou d'infiltration n'atteignent pas le mur en terre. Un drainage autour de la structure est, également, indispensable.

Il est vrai qu'une telle intervention est susceptible de jouer un rôle non négligeable dans la sauvegarde de ce patrimoine. Cependant, se contenter uniquement d'une réhabilitation technique peut s'avérer insuffisant. En effet, un entretien régulier est tout autant exigé afin de garantir la pérennité à ce savoir-faire menacé de disparition. Le tout doit être accompagné par une sensibilisation des habitants sur le devenir d'un tel lègue patrimonial, les encourager à l'apprécier à sa juste valeur, mais surtout, mettre fin aux interventions inappropriées, sans aucune étude préalable.

Références bibliographiques

1. Choay F., Merlin P. dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement. *Presse universitaire de France (PUF)*, (1988), 723 p.
2. Coignet J. La maison ancienne: construction, diagnostic, interventions. Paris: Eyrolles. (2006), p 71.
3. Collombet R. L'humidité des bâtiments anciens : causes et effets, diagnostics et remèdes. Paris: Moniteur. (1989), p 120.
4. Duquoc B. Entretenir sa maison en 10 leçons «chantiers pratiques». Paris: Eyrolles, (2006), p 8.
5. Jeannet J et al. Le bâti ancien: analyse, pathologie, remède (cahier technique n°2). France: Pisé, terre d'avenir, (1996), p. 38-48.
6. Berger J et al. L'humudité dans les bâtiments: Pathologies et paramètres gouvernants, XXX^{e} AUGC/IBPSA, Chambéry: Ass. universitaire Génie civil/ The international Guilding Performance Simulation Association), (2012), [En ligne] diponible sur: https://www.polytech.univ-savoie.fr/fileadmin/polytech_autres_sites/sites/augc2012/actes/Contribution1156.pdf
7. Diaz Gomez C. Les désordres structurels des bâtiments dans l'architecture traditionnelle méditerranéenne. *Méthode Réhabimed*, (2005), [En ligne] diponible sur: http://openarchive.icomos.org/1398/1/Methode%20Rehabimed.%20Rehabilitation%20Batiments.pdf
8. Corpus-Levant. Architecture traditionnelle libanaise. EUROMED HERITAGE, MEDIA, CORPUS. [En ligne] disponible sur: Réhabimed.net, (2004).
9. Moriset S et CRAterre. Chantier de la maison Tabayi. Conservation et réduction des risques à Ardakan, Iran [en ligne], disponible sur: CRAterre.org, (2010), p. 22-25.
10. Morisset S., Misse A. Rénover et construire en pisé. CRATerre. (2011), p. 12-14. [Ouvrage téléchargeable] disponible sur: CRAterre.org.