REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme

LABORATOIRE : VILLE - ARCHITECTURE et PATRIMOINE (LVAP)

MEMOIRE ELABORE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER EN ARCHITECTURE.

OPTION : PATRIMOINE ARCHITECTURAL ET URBAIN.

Intitulé :

Approches sur le procédé de renforcement des ksour avec formulation et optimisation d'un matériau composite

Cas d'étude : Le ksar de la vieille ville de Ouargla

NOM /PRENOM DU CANDIDAT(E) :
Chahbi Amina

NOM /PRENOM de L'ENCADREUR :
Pr. Djebri Boualem

COMPOSITION DU JURY :
Président de jury : Pr. Kassab N (SP3)
Examinateur : Dr. Abdelatif I (SP2)
Examinateur : Dr. Souici B EPAU

-Session : Janvier 2020-

بسم الله الرحمان الرحيم

Dédicace

A la mémoire de ma chère mère - رحمها الله واسكنها فسيح جناته -

c'est pour et grâce à toi maman, Tu me manques. Puisse ALLAH t'accueillir dans son infinie Miséricorde.

A papa mon héros

A ma ville, Ouargla …

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu Allah, tout puissant, qui m'a accordé la volonté et le courage pour mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadreur **Pr.Djebri Boualem,** pour toute son aide et ses précieux conseils qui ont contribué à alimenter ma réflexion en partageant ses connaissances, et pour l'intérêt qu'il a porté pour l'aboutissement de ce travail.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer mon travail et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche.

A ma chère mère - رحمها الله واسكنها فسيح جناته –

Je présente mes plus sincères remerciements à celui qui a toujours garni mes chemins avec force,…mon très cher papa qui m'a toujours encouragé et soutenu, que si ce n'était pas lui, je ne saurai jamais quoi faire ou comment avancer, mon héros.

Ma tante, ma deuxième maman qui m'a toujours soutenu.

Je remercie spécialement mon âme sœur Khadidja Taib pour son aide et son soutien durant les cinq années de l'EPAU.

J'adresse également une pensée à mes amies spécialement team « E8 » pour leurs encouragements qui ont été d'une grande aide.

En dernier, je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.

Résumé :

Le patrimoine présente une richesse inestimable, qui doit être sauvegardé et protégé, pour être transmise aux générations futures, comme preuve d'existence historique.

Le patrimoine architectural et urbain au Sahara algérien notamment les ksour représente certainement une production culturelle d'une richesse indéniable. Le ksar constitue, de par sa valeur architecturale et urbanistique l'un des repères historiques des villes sahariennes actuelles qui malheureusement ne cesse de sombrer dans le délaissement, où une partie considérable de ce patrimoine est en agonie et risque une disparition imminente, parmi ces ksour on note celui de Ouargla.

Ce ksar continue toujours à se dégrader à cause des opérations de réhabilitation qui restent ponctuelles ou partielles et sont parfois abandonnées par manque de compétences et de moyens adéquats, pour cela la mise en place d'une méthodologie d'intervention de réhabilitation est nécessaire afin de renforcer cette architecture dans le but de la sauvegarder.

Les techniques de renforcement sont multiples, varient en fonction des structures, des systèmes constructifs et des matériaux, la bonne réhabilitation nécessite une bonne connaissance de ses derniers afin de choisir l'approche de renforcement la plus adéquate, toujours en respectant la sensibilité et la spécificité de cet héritage afin de garder son authenticité et son caractère architectural et patrimonial.

Notre cas d'étude approché est l'opération de réhabilitation du ksar de Ouargla pour les valeurs historique architecturelles et culturelles qu'il présente, dont nous allons intéresser aux techniques de renforcement contre les pathologies qui le menace dont l'objectif est de préserver et valoriser ce patrimoine.

Mots clés :

Patrimoine, architecture, ksour, la réhabilitation, renforcement, matériaux, pathologies.

ABSTRACT:

Heritage presents an inestimable wealth, which must be safeguarded and protected to be transmitted to future generations, as proof of historical existence.

The architectural and urban heritage in the Algerian Sahara, especially the ksour, is certainly an undeniable cultural production. The ksar is, by its architectural and urban value, one of the historical landmarks of current Saharan cities, which sadly continues to sink into neglect, where a considerable part of this heritage is in agony and risks an imminent disappearance; among these ksour we note that of Ouargla.

This ksar continues to deteriorate because of rehabilitation operations that remain punctual or partial and are sometimes abandoned for lack of skills and adequate, for this, the implementation of a methodology of intervention of rehabilitation is needed to strengthen this architecture in order to safeguard it.

The reinforcement techniques are multiple, vary according to the structures, the constructive systems and the materials, the good rehabilitation requires a good knowledge of its last in order to choose the most adequate reinforcement approach, always respecting the sensitivity and the specificity inheritance in order to maintain its authenticity and its architectural and heritage character.

Our case study approach is the operation of rehabilitation of the Ksar de Ouargla for the historical values architectural and cultural it presents, which we will be interested in the techniques of reinforcement against the pathologies which the threat whose objective is to preserve and enhance this heritage.

Key words:

Heritage, architecture, ksour, rehabilitation, reinforcement, materials, pathologies.

ملخص:

يعتبر التراث ثروة لا تقدر بثمن، والتي يجب حفظها وحمايتها، ليتم نقلها إلى الأجيال القادمة، كدليل على الوجود التاريخي.

التراث المعماري والحضري في الصحراء الجزائرية، وخاصة القصور، هو بالتأكيد إنتاج ثقافي لا يمكن إنكاره. يعتبر القصر، من خلال قيمته المعمارية والحضرية، أحد المعالم التاريخية للمدن الصحراوية الحالية التي لا تزال للأسف تغرق في الإهمال، حيث يعاني جزء كبير من هذا التراث من آلام وتخاطر باختفاء وشيك، من بين هذه القصور نلاحظ قصر ورقلة.

يستمر هذا القصر في التدهور بسبب عمليات إعادة التأهيل التي تظل في الوقت المحدد أو الجزئي والتي يتم التخلي عنها في بعض الأحيان بسبب نقص المهارات والوسائل الكافية، ولهذا الغرض تنفيذ منهجية للتدخل لإعادة التأهيل لتعزيز هذا الهيكل من أجل حمايته ضرورية ولازمة.

تقنيات التعزيز متعددة، تختلف باختلاف الهياكل والأنظمة البناءة والمواد، تتطلب إعادة التأهيل الجيدة معرفة جيدة بآخرها من أجل اختيار نهج التعزيز الأكثر ملائمة، مع احترام دائمًا للحساسية والنوعية الميراث من أجل الحفاظ على أصالتها وطابعها المعماري والتراثي.

نهج دراسة الحالة لدينا هو عملية إعادة تأهيل قصر ورقلة للقيم التاريخية المعمارية والثقافية التي يمثلها، اين سنهتم بتقنيات التعزيز ضد الأمراض التي تهدد هدفها وتعزيز هذا التراث والحفاظ عليه.

الكلمات التقنية:

التراث، العمارة، القصور، إعادة التأهيل، التعزيز، المواد، الأمراض.

Table des matières

Dédicace 1
Remerciements 2
Résumé : 3
ABSTRACT: 4
ملخص 5
Liste des figures : 10
Liste des tableaux : 13
I. Introduction générale : 14
II. Problématique : 15
Problématique spécifique : 15
III. Hypothèses : 15
IV. Objectif : 16
V. La méthodologie de la recherche : 16
1- Théoriques 16
2- Pratiques 16
VI. Structure du mémoire : 16

Première partie : théorique 18

Chapitre I : L'architecture ksourienne : matériaux et construction

1. Introduction : 20
2. Les ksour, éléments de définition : 20
3. La construction en terre : 21
3.1 Historique : 21
3.2 Caractéristiques 22
3.3 Les propriétés fondamentales de la terre 23
3.4 Les avantages de l'utilisation de la terre : 24
3.5 Les techniques constructives de la terre crue : 25
3.6 La stabilisation de la terre : 27
3.7 Procédés de stabilisation : 28
4. La construction en pierre : 29
4.1 Historique : 29

4.2 L'origine des roches : 30
4.3 Les propriétés et comportement mécaniques de la pierre 31
4.4 Typologie structurales : 31
4.5 La construction de terre et de pierre et le développement durable : 31
5. Le bois : 31
5.1 Le comportement mécanique de bois : 32
5.2 Les typologies structurales 32
6. L'acier : 32
6.1 Comportement mécanique : 32
6.2 Les typologies tirées 32
7. L'enduit : 33
7.1 Les fonctions de l'enduit 33
7.2 Les types d'enduit 33
8. Conclusion : 33

Chapitre II : Les approches de renforcement de vieux bâtis

1. Introduction : 36
2. Le concept de patrimonialisation : 36
3. Patrimoine architecturale : 36
4. Les opérations de conservation du patrimoine : 36
4.1 Le concept de sauvegarde : 36
4.2 La conservation : 37
4.3 La réhabilitation : 37
4.4 Le renforcement : une branche de la réhabilitation : 39
4.5 Formulation d'un matériau composite à sec de fibre de palmier : 55
5- Conclusion : 63

Deuxième partie : investigation 64

Chapitre I : Cas d'étude : le ksar de Ouargla

1. Introduction : 66
2. Ouargla un trésor patrimonial ksourien : 67
3. Présentation de la ville : 67
3.1 Limites de la ville : 68

3.2 Topographie : 69
3.3 Climat : 69
4. Genèse et évolution de la ville : 70
4.1 Fondation de la ville : 70
4.2 La conquête française : 73
5. Etude architecturale : 74
5.1 Ouargla la ville protégée : 74
5.2 Ingénierie urbaine : 76
5.3 Typologie du Ksar : 80
5.4 Une architecture bioclimatique : 83
6. Les éléments architectoniques : 84
6.1 Les ouvertures : 84
6.2 La cheminée : 86
6.3 Les Dispositifs de rangement : 87
6.4 Les éléments de structure urbaine et mobilière : 87
6.5 Les éléments décoratifs : 88
7. Etude constructives du Ksar 91
7.1 La pierre : 91
7.2 Le bois : 92
7.3 Le toub : 92
7.4 Le timchent : 93
7.5 Les techniques constructives : 93
8. Conclusion : 98

Chapitre II : La réhabilitation du Ksar de Ouargla

1. Introduction : 100
2. L'état du ksar : 101
3. Le diagnostic du ksar 102
3. 1 Les pathologies des Ksour : 102
4. Le relevé du ksar : 109
5. Proposition d'approches et de technique de réhabilitation du ksar par renforcement : .. 109
5.1 Méthodologie pour la prise de décision de renforcement : 109
5.2 La démarche adoptée pour l'intervention sur le Ksar de Ouargla : 111
5.3 Proposition d'approches et de technique de réhabilitation du ksar par renforcement : 113

6.Conclusion : 122
Conclusion générale 124
Perspective de recherche 125
Bibliographie 126
Annexe 132

Liste des figures :

Figure 1 : Les Ksour de Timimoune Adrar 21
Figure 2 : Les Ksour de Kasbahs Maroc 21
Figure 3 : Roue" des techniques de construction en terre 22
Figure 4 : Renforcement des fondations par sous œuvre 40
Figure 5 : Renforcement par semelle en béton 40
Figure 6 : Renforcement par des pieux en béton 41
Figure 7 : Schéma d'un matériau composite 42
Figure 8 : Le béton de fibre métallique 42
Figure 9 : les différentes géométries des fibres métalliques 43
Figure 10 : Illustration de l'apport du renfort par des fibres 44
Figure 11 : les différentes géométries des fibres métalliques 46
Figure 18 : Disposition du tirant au niveau de la naissance de la voute 47
Figure 19 : Renforcement des voutes par introduction des barres d'acier 47
Figure 20 : Renforcement des arcs par des barres d'acier 47
Figure 21 : Encrage des tirants 48
Figure 22 : Renforcement des tirants avec chainage périphérique 48
Figure 23 : Les étapes de la mise en œuvre de la technique de reprise des fissures 49
Figure 24 : Technique de la reprise des fissures par injection 50
Figure 25 : L'humidité par remonter capillaire 50
Figure 26 : Drainage du sol 51
Figure 27 : Drainage perforé du sol 51
Figure 28 : Principe du traitement du siphon atmosphérique 52
Figure 29 : L'installation des siphons à Dar Ben Abdellah.Tunis 52
Figure 30 : La technique de l'électro-osmose phorésie 53
Figure 12 : Technique de renforcement des planchers 54
Figure 13 : Technique de renforcement des planchers par l'ajout des montants intermédiaires 55
Figure 14 : Pose additionnelle de dalles en béton armé 55
Figure 15 : les fibres des palmiers dattiers 57
Figure 16 : fibres de palmier dattier coupées 60
Figure 17 : Echantillons après démoulage. 61
Figure 31 : Ruines de la ville Ibadite Sedrata. 66
Figure 32 : Tombes en timchent du cimetière de Sedrata 66
Figure 33 : L'ancien Ksar de N'goussa 67
Figure 34 : L'ancien Ksar de Témacine, Touggourt Ouargla 67
Figure 35 : Cartes Algérie, plans et maps des villes Algériennes 67
Figure 36 : Vue aérienne sur la ville de Ouargla 67
Figure 37 : Les limites naturelles de la ville de Ouargla 68
Figure 38 : Coupe schématique limites naturelles de la ville 68
Figure 39 : Les vents chauds et froids qui fréquentent la ville 69
Figure 40 : La naissance de la ville 71
Figure 41 : Les groupes ethniques de la ville 71
Figure 42 : Vue générale sir le ksar 72
Figure 43 : Premier plan de Ouargla 72

Figure 46 : vue qui montre le positionnement du marché du Ksar 72
Figure 47 : La porte sud du ksar 72
Figure 44 : marché au bois 72
Figure 45 : le Ksar vue de la Casbah, Largeau 1874-1878 72
Figure 48 : Les prémices de l'urbanisme moderne 73
Figure 49 : L'urbanisme moderne 73
Figure 50: Bordj Lutaud 73
Figure 51 : L'école des pères blancs 74
Figure 52 : L'église catholique 74
Figure 53 : Les portes du ksar 75
Figure 54: Vue aérienne sur l'ancien le ksar de Ouargla 76
Figure 55 : Le ksar hiérarchie des éléments morphologique de communication sociale 78
Figure 56 : Le réseau viaire du Ksar 79
Figure 57 : La ruelle du Ksar 79
Figure 58 : L'entrée des maisons 80
Figure 59 : La porte familiale des Ksour 80
Figure 60 : La morphologie du Ksar 80
Figure 61 : L'organisation spatiale de la maison du ksar. Ech :1/100 81
Figure 62 : La maison organisée autour une cour intérieure 82
Figure 63: Exemples des terrasses 82
Figure 64 : Coupes qui montrent la ventilation naturelle assurer par le patio et l'escalier. Ech : 1/200 83
Figure 65 : Nomadisme journalier et saisonnier dans la maison 84
Figure 66 : Projection de l'ombre sur la terrasse (23 juillet, 31°Nord) 84
Figure 68 : Porte extérieure 85
Figure 67 : Porte familiale 85
Figure 69 : Porte à encadrement en un arc en plein cintre 85
Figure 70 : Les fenêtres 85
Figure 71 : Dispositif des petites ouvertures à différentes formes et dimensions pour la ventilation des pièces 85
Figure 72 : La « *rozna* », puits de lumière 86
Figure 73 : Exemples de le cheminés 86
Figure 74 : Des niches aux murs intérieurs 87
Figure 75 : Exemple de logette 87
Figure 76 : Les passages couverts au niveau du Ksar 87
Figure 77 : Les bancs maçonnés 88
Figure 78 : La décoration traditionnelle des maisons, source : pointes de flèches en silex de Ouargla.Ch.Féraud 88
Figure 79 : La décoration traditionnelle des portes 89
Figure 80 : la décoration traditionnelle des murs 90
Figure 81 : les notes de manuscrites du P.Valler-1900 90
Figure 83 : décoration des murs 90
Figure 82 : Le triangle comme motif de décoration 90
Figure 84 : le signe lam alif qui surmonte les portes d'entrée 91
Figure 85 : La pierre de Ouargla « hadjret Ouargla » 91
Figure 86 : Poutrelle en tronc de palmier dans la maison 92
Figure 87 : Une poutre en tronc de palmier ai niveau du passage couvert 92

Figure 88 : La Touba « hadjret El-toub » 92
Figure 89 : Pierre cuite et produit obtenu « timchent » 93
Figure 90 : Coupe d'une fouille et fondation de mur en pierres hourdées 93
Figure 91 : Mur porteur extérieur et intérieur 94
Figure 92 : Mur porteur intérieur 94
Figure 93 : chainage d'angle 94
Figure 94 : Plancher en voutain qui couvre un passage urbain 95
Figure 95 : Plancher en voutain d'une maison 95
Figure 96 : Consistance d'un plancher à voutains de pierres, et revêtement en terre et chaux 95
Figure 97 : L'arc au niveau d'une impasse 96
Figure 98 : L'arc au niveau des passages 96
Figure 99 : la coupole au niveau de la mosquée 96
Figure 100 : La voute au niveau d'une ruelle 96
Figure 101 : Revêtement des murs extérieurs 97
Figure 102 : Revêtement des murs intérieurs 97
Figure 103 : Structure apparente d'escalier sur paillasse en bois 97
Figure 104 : Exemple d'un escalier 97
Figure 105 : Carte qui montre l'état des constructions au niveau du ksar 100
Figure 106 : des maisons effondrées 101
Figure 107 : la réhabilitation actuelle du ksar 102
Figure 108 : Les fissurations au niveau des murs 102
Figure 109 : Les fissurations au niveau des planchers 103
Figure 110 : Les fissurations au niveau des ouvertures 103
Figure 111 : L'apparition de la pierre au niveau des murs dû à la dégradation du timchent . 104
Figure 112 : L'apparition des poutrelles du bois au niveau des planchers dû à la dégradation du timchent 104
Figure 113 : Le flambement des murs 104
Figure 114: La remonté de la nappe phréatique de la région de Ouargla 105
Figure 115 : La remonté capillaire 105
Figure 116 : L'action de l'eau sur des murs 105
Figure 117 : Figure.120 : L'effet de coin 106
Figure 118 : L'action du vent sur les murs 106
Figure 119 : L'action du vent sur les murs 107
Figure 120 : Le renforcement de l'ancienne structure par le rajout des structures métalliques 107
Figure 121 : L'introduction du béton 108
Figure 122 : L'introduction de la brique 108
Figure 123 : L'introduction du parpaing 108
Figure 124 : Le crépissage avec le ciment afin de remplir les vides et réparer les patries endommagées 109
Figure 125 : Les fibres métalliques ondulées 114
Figure 126 : façade d'une maison du ksar .Ech :1/100 115
Figure 127 : Proposition de renforcement des murs par la technique de consolidation contreventée en troncs de palmier 116
Figure 128 : Le crépissage des murs au niveau des constructions traditionnelles de Oued Souf 117
Figure 129 : façade d'une maison du ksar 118

Figure 130 : Proposition de renforcements des murs + enduit de crépissage+ reprise des ouvertures 118
Figure 131 : Propositionde renforcement des arcs et des voutes 119
Figure 132 : Proposition de renforcement des planchers 120
Figure 133 : fibre da palmier dattier..... 121
Figure 134 : plan RDC. Ech : 1/100..... 132
Figure 135 : Plan d'étage. Ech : 1/100 132
Figure 136 : Façade nord-est .Ech :1/100 133
Figure 137 : Façade sud-ouest .Ech :1/100 133
Figure 138 : Plan RDC. Ech : 1/100..... 133
Figure 139 : Coupe A-A .Ech :1/100 133
Figure 140 : Coupe B-B. Ech : 1/100..... 133
Figure 141 : Façade sud .Ech :1/100 133

Liste des tableaux :

Tableau 1 : La granulométrie de la terre……...23

Tableau 2 : Moyens de stabilisation des terres remaniées……..……29

Tableau 3 : les différentes formes des fibres métalliques.....43

Tableau 4 : les caractéristiques physiques et mécaniques des fibres de palmier……..…...56

Tableau 5 : Composition de béton de fibres de palmier dattier utilisé…….57

Tableau 6 : les caractéristiques des fibres de palmier dattier de Ouargla…….58

I. Introduction générale :

Le patrimoine d'un site fait partie de son histoire et son origine. Le concept de patrimonialisation est matérialisé par le classement qui est associé à la préservation et la classification d'un site soit au niveau national par la volonté de protection ou international à travers l'inscription sur la liste mondiale de l'Unesco.

Grace au positionnement stratégique des villes sahariennes algériennes comme des points de transition commerciale afin de contrôler à l'époque, les grands itinéraires caravaniers. Les villes oasis présentent un trésor patrimonial culturel et architectural très riche sous le nom des ksour.

Le ksar est le résultat de l'imbrication de plusieurs caractéristiques culturelles, sociales, économiques et religieuses. Ses villes oasis préservent une harmonie des habitats par les couleurs de terre et le vert des cultures « *juchés tout en haut de la muraille calcaire du canon, de même couleur et de même aspect que le roc, uniquement reconnaissable aux quelques trous qui servent d'ouvertures* »[1].

En Algérie, la reconnaissance du patrimoine ksourien a débuté en 1968, cette dernière a été suivie par des mesures spécifiques, citées par la loi 98-04 relative à la protection du patrimoine culturel national. Il s'agissait de créer des secteurs sauvegardés avec un régime de protection particulier qui peut s'adapter et être applicable aux ksour. Malheureusement, ces mesures de protection légales n'ont pas pu, à elles seules, garantir la revitalisation des ksour. Ce qui implique un état de dégradation élevé et des constructions en ruines[2].

[1] Manel Bouchemal, Salah Chaouche (2015). La patrimonialisation d'un site suffit-elle à sauvegarder un lieu historique ? Cas du Ksar de Ouargla. Disponible sur : https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01237201/document, (Consulté en février 2019).
[2] Idem

II. Problématique :

Les ksour de Ouargla présentent un trésor patrimonial et un génie constructif de l'architecture vernaculaire.

L'effet de la nature, le mal conscience des habitants, la négligence des sociétés de la valeur de système constructif de ces ksour, et son focalisation à la réhabilitation physique du ksar menacent ce trésor patrimonial, l'introduction du béton à cette architecture vernaculaire a fait naitre des dégâts irréversibles et des ouvrages délaissés et abandonnée qui revient mal à la vie sociale et le confort résiduel des habitats.

Actuellement l'amélioration de l'état du patrimoine ksourien nécessite une maitrise de la réhabilitation, surtout quand on parle sur une mise en valeur ou la connaissance des caractéristiques des matériaux est très nécessaire pour réussir cette réhabilitation et arriver à l'économie d'énergie.

D'abord la question qui se pose :

- Comment on peut préserver et faire revivre ce patrimoine ksourien ?
- Quelles sont les techniques de réhabilitation qui respectent le génie constructif et améliorent l'efficacité énergétique de ses matériaux ?

Problématique spécifique :

Quelles sont les méthodes de préservation et de réhabilitation et les techniques de renforcement les plus convenables dans les cas de construction en pierre au niveau d'un milieu saharien qui assurent la compatibilité entre l'ancien et le nouveau matériau et le confort contemporain ?

III. Hypothèses :

-Revenir aux techniques traditionnelles et aux matériaux locaux par la mise en place d'une démarche de réhabilitation basée sur les techniques de construction et les éléments constructifs existants et disponibles.

-Introduire des nouveaux matériaux compatibles avec les matériaux de construction dans un milieu aride lors de la réhabilitation.

IV. Objectif :

- Préserver l'habitat ksourien afin de revaloriser le patrimoine.

- Identifier les facteurs majeurs de la dégradation de l'habitat ksourien.

- Inventer cette recherche comme un guide technique de réhabilitation et renforcement du bâti.

- Offrir une certaine qualité de vie aux habitants.

- Exploiter et reconvertir le patrimoine dans le tourisme saharien durable qui va améliorer la compétitivité économique de cette ville.

V. La méthodologie de la recherche :

Notre démarche se compose d'une partie théorique et d'une partie expérimentale.

1- Théoriques

- L'approche typo morphologique structurelle et contractuelle des ksour.
- Une recherche documentaire : consultation des ouvrages et des revues des thèses et des mémoires les plus disponibles.
- Consultation des sites virtuels et bibliothèques numériques et des organismes et des institutions internationales chargé de la sauvegarde du patrimoine : UNESCO…

2- Pratiques

- l'investigation sur site du ksar de Ouargla.

VI. Structure du mémoire :

Introduction générale : la formulation et la définition du sujet de recherche.

Première partie : Constitue de deux chapitres où nous présenterons les matériaux, le système constructif et les approches de réhabilitation et de renforcement de ce patrimoine bâti.

Premier chapitre : Nous étudions le comportement mécanique spécifique des matériaux de construction de l'architecture ksourienne.

Deuxième chapitre : Où on va présenter les concepts et les opérations de conservation et les techniques de renforcement de cette architecture.

Deuxième partie : Consiste l'investigation sur le cas d'étude après avoir faire une analyse architecturale et constructive sur ce dernier.

Premier chapitre : La première partie consacré à présenter notre cas d'étude : situation, historique, matériaux et système constructif.

Deuxième chapitre : Les propositions d'approches et de technique de réhabilitation et de renforcement du ksar avec des simulations en 3D.

Une conclusion générale : Un récapitulatif de notre étude mené d'une perspective de recherche.

Première partie : théorique

Chapitre I :

L’architecture ksourienne : matériaux et construction

1. Introduction :

L'architecture ksourienne représente un patrimoine d'une richesse indéniable. Un génie constructif qui reflète la capacité de la population de s'adapter et s'intégrer dans des milieux arides et contraignants, malheureusement souffre de dépérissement et tombe progressivement en désuétude.

Ce trésor préserve des valeurs patrimoniales et des qualités architecturales et urbaines, il se caractérise par une architecture typique liée à la disponibilité d'eau, des matériaux de construction et l'environnement géographique. C'est pour cela la préservation et la conservation de ce patrimoine nécessite une bonne connaissance des matériaux et du système constructif.

2. Les ksour, éléments de définition :

Selon Larousse : "pluriel de ksar ; village fortifié de l'Afrique du Nord présaharienne, le long des oueds, au débouché des torrents montagnards."

Le ksar "*(pluriel ksour), village Saharien souvent fortifié et/ou aggloméré à fonction Caravanière,*"[3] dont un réseau de rues étroites sinueuses relie entre ses quartiers.

Ces ksour se caractérisent par une architecture massive qui s'organise autour une mosquée ou une place et qui utilise les matériaux disponible sur site, ces constructions fortifiées par une enceinte se confondent avec leur environnement.

Le Ksar a plusieurs aspects moraux, il reflète la solidarité, l'intimité « *El-horma* » et l'humanité, ces derniers sont concrétisés dans le style architectural, la distribution des espaces et leurs fonctions.

[3] HAFSI Mustafa (2012). Réhabilitation du patrimoine ksourien à travers la revitalisation de l'habitat, cas des ksour de la wilaya de OUARGLA. Mémoire de magister : LVAP. Algérie : école polytechnique d'architecture et d'urbanisme. P_56.

Figure 2 : Les Ksour de Kasbahs Maroc
(Source : https://www.atlasinfo.fr/ISESCO-Vers-la-mise-en-place-d-un-musee-virtuel-des-Ksours-et-Kasbahs-du-Maroc_a96959.html. Consulté en septembre 2019)

Figure 1 : Les Ksour de Timimoune Adrar

(Source : http://algerie.voyage.over-blog.com/article-19259920.html. Consulté en septembre 2019)

3. La construction en terre :

3.1 Historique :

La terre, le matériau de construction utilisé depuis plus de onze millénaires, et il fait partie des matériaux les plus anciens de l'histoire de l'humanité. En effet, les fouilles archéologiques ont montré que les civilisations perses, assyriennes, égyptiennes et babyloniennes édifiaient déjà de nombreux bâtiments à l'aide de ce matériau. Cela est dû au fait que « la terre est l'un des trois matériaux premiers, au même titre que la pierre et le bois »[4].

Ce matériau est largement utilisé dans les constructions traditionnelles en Algérie, comme dans le sud de l'Algérie (Ghardaïa, Timimoune, Ouargla) est surtout dans les constructions ksourienne.

[4] Djebri Boualem (2006). Cours : Construction en terre. Document interne. EPAU. Alger.

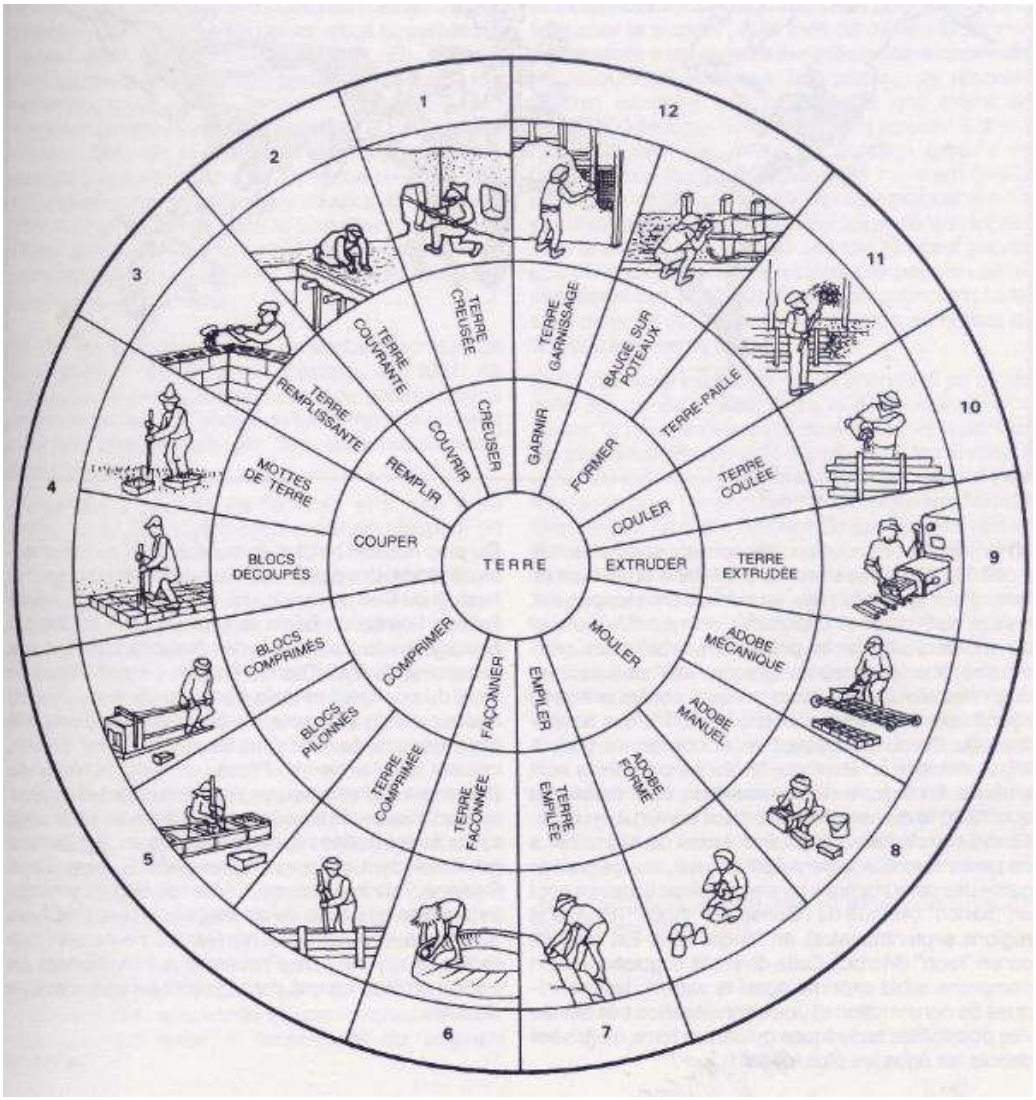


Figure 3 : Roue" des techniques de construction en terre

(Source : support de cours Mr Djebri)

3.2 Caractéristiques[5] :

Confort :

La terre est un matériau à forte inertie thermique, qui permet de stocker la chaleur et de réguler les changements de température entre jour et nuit.

Ses parois peuvent absorber des grandes quantités d'humidité qui permet d'améliorer le confort intérieur, et d'empêcher les phénomènes de condensation.

[5] BENZAYAED Nadjia (2014). LES METHODES D'ENTRETIEN ET DE REMISE EN ETAT DES CONSTRUCTIONS TRADITIONNELLES EN TERRE ET PIERRE. Mémoire de master : architecture et environnement. Algérie : école polytechnique d'architecture et d'ubanisme.P_12.

Ecologie :

La terre nécessite peu d'énergie pour sa transformation, ce qui limite les besoins de transport d'énergie.

Elle est réutilisable directement et indéfiniment, avec une facilité de réparation avec le matériau d'origine.

Esthétique :

La terre est l'un des matériaux harmonieux qui nous permet une grande variété de surface selon le mode de mise en œuvre choisis, avec une gamme des couleurs très large.

Sécurité :

C'est un matériau qui résiste bien au feu, elle est utilisée comme liant de fibre isolante.

Le comportement mécanique de la terre :

Un matériau qui a une forte résistante à la compression et une faible résistance à la traction et au cisaillement.

3.3 Les propriétés fondamentales de la terre[6] :

- **Granularité :**

Ou la texture d'une terre, elle représente la teneur centésimale en fraction de grains différents mesurés en pourcentage. Cette texture se mesure par analyse granulométrique pour les fractions des grains grossiers : cailloux, gravier sable, limon, argile et silts.

Cailloux	200 mm	20 mm
Graviers	20 mm	2 mm
Sables grossiers	2 mm	0.2 mm
Sables fins	0.2 mm	0.06 mm
Silts	0.06 mm	0.02 mm
Silts fins	0.02 mm	0.002 mm
Argiles	002 mm	0 mm

Tableau 1 : La granulométrie de la terre

(Source ;Houben .2006)

[6] Hugo Houben ,Hubert Guillaud (2006). CRATerre, Traité de construction en terre. P_208.

- **La plasticité :**

Elle définit la propriété de la terre à subir des déformations sans réaction élastique notoire caractérisée par une fissuration ou une pulvérisation. La plasticité d'une terre ainsi que les limites entre différents états de consistance sont déterminées par les mesures des limites d'Atterberg.

Elles s'effectuent sur la fraction « mortier fin » de la terre (des particules <0.4mm).

- **La compressibilité :**

La compressibilité d'une terre définit son aptitude à se laisser comprimer au maximum pour une énergie de compactage et un taux d'humidité donnés (teneur en eau optimale ou TEO).

Lorsqu'un volume de terre est soumis à l'action d'une force, le matériau est comprimé et l'indice des vides décroît. Plus la densité d'une terre peut être augmentée, plus sa porosité sera bloquée et moins l'eau pourra y pénétrer. Cette propriété résulte de l'imbrication plus étroite des particules qui réduit les risques de perturbation de la structure sous l'action de l'eau.

- **La cohésion :**

La cohésion d'une terre exprime la capacité de ses particules à se maintenir ensemble lorsque l'on exerce sur le matériau une contrainte de traction. La cohésion d'une terre dépend des caractéristiques de collage ou de cimentation de son mortier grossier (fraction de grains de F< 2 mm) qui lie les grains inertes entre eux. Cette propriété est donc tributaire de la quantité et de la qualité collante des argiles. Les mortiers grossiers sont classés de la façon suivante :

- Mortier Sableux,
- Mortier Maigre,
- Mortier Moyen,
- Mortier Gras,
- Argiles.

La cohésion se mesure par l'essai de traction à l'état humide.

3.4 Les avantages de l'utilisation de la terre :

3.4.1 Physico-chimique :

-La terre régule la température par inertie thermique.

-La terre est un très bon isolant phonique.

-La terre absorbe et restitue l'humidité.

3.4.2 Ecologique :

-La terre utilise un peu d'eau en phase de transformation.

-La terre est une ressource locale abandonnant et renouvelable.

-Pas de transformation.

-Pas d'émission de CO2.

-Pas de déchet.

3.4.3 Esthétique :

-Nombreuse possibilité de mise en œuvre.

-Souplesse dans le modelage.

-Gamme des couleurs très large.

3.5 Les techniques constructives de la terre crue :

3.5.1 Le torchis :

C'est le premier matériau composite de l'histoire, composé d'une matrice plastique et de renforts sous forme de fibres végétales.

Les terres à torchis sont généralement fines, limoneuses-argileuses et collantes. Le manque de sable pouvant entraîner des fissurations, on y ajoute souvent des fibres végétales. Le mélange, mis en œuvre à l'état plastique, est étalé sur un lattis (bois, osier, bambou) ou un clayonnage, fixé dans une ossature porteuse en bois appelée colombage.

3.5.2 La bauge :

Matériaux de construction très ancien fabriqué à l'aide d'un mélange de terre argileuse qui peut être additionnée des fibres végétales ou animales avec de l'eau, qui est gâché ou malaxé en petit blocs .

C'est un système constructif monolithique en terre crue empilée selon un état plastique, les surfaces verticales sont dressées par découpe après un court temps de séchage, alors que le matériau n'est pas trop dur.

Cette terre argileuse possède une bonne cohésion, elle est ensuite piétinée par des hommes ou les des animaux pour incorporer les végétaux.

Après la réalisation de mélange une couche successive va être dressée sur les murs qui sont tassées au fur et à mesure à coup de trique (des manches en bois).

Un mur en bauge est épais de 40 à 60 cm, avec une constitution d'une couche de 50 à 60cm de hauteur, les faces sont battues pour éviter les fissures au séchage, puis taillées afin d'obtenir une surface plane les murs sont façonnés à la main comme une sculpture géant[7].

3.5.3 Le pisé :

Un mot né de vieux français qui signifier (battre la terre à bâtir).

C'est la terre comprimé en masse avec un pilon des banches, couche par couche et banchées par des banchées[8].

C'est une terre sableuse argileuse avec une bonne cohésion, son premier ennemi c'est l'eau, sa mise en œuvre est faite grâce à des banches ou coffrage en bois, sa fonction est porteuse.

3.5.4 Les adobes :

L'adobe est une brique de terre crue façonnée à la main ou moulée, puis séchée pendant quelques jours au soleil sur des aires couvertes.

Les briques d'adobes sont moulées à partir d'une terre malléable en ajoutée de paille, ces briques ont différentes formes

On distingue trois types de briques[9]. :

La brique lydienne rectangulaire (50cm de long 33 cm de large et 88 cm d'épaisseur), la brique Pentadoron carrée utilisée dans les édifices publics (45*45*8cm), et la brique Tétradoron carrée utilisée dans les bâtiments privés (30*30*8cm).

[7] Dominique Gauzin-Müller, Pauline Sémon, Patrice Doat, Laetitia Fontaine, Hubert Guillaud. Architecture en terre d'aujourd'hui LES TECHNIQUES DE LA TERRE CRUE. Disponible sur : https://www.icomos.org/charters/venice_f.pdf (consulté en février 2019).
[8] Hugo Houben ,Hubert Guillaud (2006). CRATerre, Traité de construction en terre. P_14.
[9] Idem

Le choix de la terre : des sols constitués de sables, de limon et d'argile sont les plus utilisés avec des proportions : sable (55à75%) limon (10à28%), argile (15à18%) et matière organique inférieure à 3%[10].

3.5.5 La brique de terre compactée[11] :

Ce matériau est fabriqué à partir d'une terre sablo-argileuse. Utilisé comme matériau porteur ou de remplissage.

Cette technique est réalisée par un compactage statique, dynamique par vibrocompression avec des presses manuelles, hydraulique ou mécanique. Qui nous permet la mise en place d'un contrôle de qualité simple des matériaux.

3.6 La stabilisation de la terre [12]:

Le Centre des Nations Unies pour les établissements humains a définit la stabilisation d'un sol comme étant, la modification des propriétés d'un système terre-eau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatible avec une application particulière.

La stabilisation nécessite la connaissance des propriétés de terre et la maitrise de techniques d'identification de la terre.

Afin d'améliorer les caractéristiques de la terre on l'ajoute un stabilisant, il existe plusieurs méthodes de stabilisation parmi eux :

-La densification des terres par compression.

-L'armature de fibres et minéraux qui améliore le taux de compression maximale

-L'ajout de ciment de chaux et de bitume.

- Ciment et chaux :

-Essai d'abrasion : le dosage au ciment doit réduire les pertes de matière de 3% afin d'obtenir une excellente performance.

---

[10] Amroun Lila (2017). Ksar de Bent Elkhss : ORIGINE, HISTOIRE ET FILIATION. Thèse de magistère : patrimoine architectural et urbain. Algérie : école polytechnique d'architecture et d'urbanisme. P_20.

[11] Makhlouf Nessrine (2018). Corrélation entre comportement mécanique des matériaux et la typo-morphologie structurale : cas d'étude le fort turc de fort de l'eau. Mémoire de master : patrimoine architectural et urbain. Algérie : école polytechnique d'architecture et d'urbanisme. P_47.

[12] Hugo Houben ,Hubert Guillaud (2006). CRATerre Traité de construction en terre. P_506.

-**Essai d'érosion** : la limitation de la profondeur moyenne des trous à 15mm.

-**Humidification –séchage** : réduire les pertes de matière à 10%.

-**Bitume :** qui augmente la cohésion de la terre et assure son imperméabilisation.

3.7 Procédés de stabilisation :

3.7.1 La stabilisation mécanique :

Par compactant la terre, modifiant sa densité, sa résistance mécanique, sa compressibilité, sa perméabilité et sa porosité.

3.7.2 La stabilisation physique :

On agissant sur la texture par un mélange contrôlé de fractions de grains différents selon un traitement thermique par déshydrations ou par un traitement électrique qui favorise un drainage de la terre.

3.7.3 La stabilisation chimique :

Par l'ajout d'autres matériaux ou de produits chimique qui modifient ses propriétés.

3.7.4 Les moyens de stabilisation :

Stabilisant		Nature	Procédé	Moyens	Principe	Symbole
Sans apport de stabilisant			Mécanique	Densifier	Créer un milieu dense qui bloque les pores et les canaux capillaires	
Avec apport de stabilisant	Stabilisants inertes	Minéraux	Physique			
		Fibres		Armer	Créer une armature omnidirectionnelle qui réduit le mouvement	
	Stabilisant physico-chimique	Liants	Chimique	Enchaîner	Créer un squelette inerte qui s'oppose à tout mouvement	
				Liaisonner	Former des liaisons chimiques stables entre les cristaux d'argile	
		Hydro-phobants		Imperméabiliser	Entourer les grains de terre d'un film imperméable et boucher les pores et canaux	
				Hydrofuger	Éliminer au maximum l'adsorption et l'absorption d'eau	

Tableau 2 : Moyens de stabilisation des terres remaniées.
(Source : Houben, 2006)

3.7.5 Les objectifs sont :

- Améliorer les caractéristiques mécaniques de la terre (augmenter les résistances à la compression et à la traction et au cisaillement).

- Démeunier la porosité et les variations des volumes des vides.

- Améliorer la résistance à l'érosion du vent et de pluie.

4. La construction en pierre :

4.1 Historique :

Depuis l'Antiquité, les difficultés d'extraction ont d'abord fait de la pierre un matériau de prestige dédié à la construction de bâtiments symbolisant le pouvoir ou le divin. Les

évolutions technologiques ont permis d'améliorer les techniques d'extraction et de taille où on observe aujourd'hui un nombre d'ouvrages, voire des milliers d'années après leur édification, témoignant du savoir-faire des hommes et de la durabilité des pierres[13].

4.2 L'origine des roches :

On a trois familles de roches différentes : les roches sédimentaires, les roches magmatiques, et les roches métamorphiques, chaque famille de ces roches contient un nombre différent de pierre :

Le granite : d'origine magmatique avec une dureté exceptionnelle, il a une haute résistance aux rayures et son absorption quasi nulle.

Le calcaire : il se forme par accumulation de sédiment terrestre et marine à la surface de la terre sous forme des couches plus au moins épaisses ; il a une résistance à la compression entre 10et 100Mpa.

Le marbre : le résultat de la formation de chaines de montagnes, son origine est la pierre calcaire qui a subi ses chocs par la proximité des pierres magmatiques. Sa résistance peut atteindre les 300Mpa avec une faible dureté de 3.0 à 3.5.

La pierre est un matériau naturel aux propriétés variées que l'homme façonne, elle est sculpté et peinte pour donner des formes.

Il s'agit d'un assemblage de pierre liées ou non avec un liant.

On distingue quatre types de pierres [14]:

-Maçonnerie en pierre de taille : constitue de gros bloque de pierres taillés sur toutes les faces, liés par un mortier.

-Maçonnerie en pierre pierraille : c'est un ajustement de blocs de pierre de formes irrégulières qui se ressemblent.

[13] David Dessandier, Shahinaz Sayagh, Philippe Bromlet, Lise Leroux (2011). La pierre de construction. Matériau du développement durable. Disponible sur : https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-00640971/document, (consulté en février 2019).
[14] Boualem Djebri, Samira Akkouche, (2015). Renforcement du vieux bâtis vis-à-vis des sollicitations sismique : cas d'étude le fort Turk de Bordj el Kiffen. Algérie : école polytechnique d'architecture et d'urbanisme. P_59.

-Maçonnerie à sec : c'est un assemblage des blocs de pierraille sans mortier.

-Maçonnerie de remplissage : est constitué d'une alternance de couche de pierraille et de mortier, constituant les fondations.

4.3 Les propriétés et comportement mécaniques de la pierre : C'est un matériau raide :

-Résistance aux variations de la température importante entre été et hiver, jour et nuit.

-Résistance à la compression, elle est différente selon le sens du matériau.

-Une faible résistance à la traction et cisaillement.

-Homogénéité et dureté.

-Adhérence au mortier de pose.

4.4 Typologie structurales :

-Mur porteur.

-Point porteur : poteau colonne.

-Voute, coupole et arc.

4.5 La construction de terre et de pierre et le développement durable :

Le développement durable, c'est un modèle de développement économique et social visant à assurer la pérennité du patrimoine naturel de la terre et la pierre.

5. Le bois :

C'est l'histoire de la rencontre entre l'homme et la forêt ou le oasis qui initia depuis l'aube de l'humanité, il nécessite une faible énergie de transformation et facile à travailler.

Ce matériau est apprécier ses propriétés mécaniques (résistance à la traction) et sa bonne isolation. Il fabrique des structures porteuses, ou des constructions complètes.

5.1 Le comportement mécanique de bois :

Le bois présente une performance qui se diffère selon la direction, il travaille à la flexion, compression axiale et cisaillement, sa résistance à la traction axiale est très bonne.

5.2 Les typologies structurales[15] :

Les éléments structurels en obis peuvent être regroupés en trois familles : les poteaux poutres qui constituent le squelette de la structure, les planchers qui jouent le rôle d'un diaphragme horizontal et les parois sous le rôle des de diaphragme vertical.

6. L'acier :

L'acier est un matériau de construction universel issu de la réduction du minerai de fer et ou du recyclage de ferrailles. Un acier est un alliage métallique constitué principalement de fer et de carbone. C'est essentiellement la teneur en carbone qui confère à l'alliage les propriétés de l'acier**.** Il présent dans les bâtiments sous de multiples formes et il s'adapte aux nécessités pour combiner liberté de création avec efficacité constructive.

L'acier offre des possibilités uniques de grandes portées, de souplesse d'adaptation, de possibilités de combinaison avec les autres matériaux, de construction durable et recyclable.

6.1 Comportement mécanique : comportement ductile :

Le métal comme le bois travaille très bien à la traction la flexion, la compression et cisaillement, il est utilisé de la même manière que le bois.

Son système permettre de franchir des grandes portées.

6.2 Les typologies tirées[16] :

L'acier a une composition spécifique à travers ses formes de produits long (laminés marchands, poutrelles en I, U, H, Les palplanches et les câbles et fils machine) ou plats(les tôles et les larges plats, les tôles nervurés, les profils creux, les plaques et les profils minces) et ses pièces (moulées, forgées ou mécanosoudées).Il peut avoir le rôle des éléments structurants : les

[15] Makhlouf Nessrine (2018). Corrélation entre comportement mécanique des matériaux et la typo-morphologie structurale : cas d'étude le fort turc de fort de l'eau. Mémoire de master : patrimoine architectural et urbain. Algérie : école polytechnique d'architecture et d'urbanisme. P_51.

[16] Landowski M,Lemoine B (2005). Concevoir et construire en acier. Collection mémoires acier. P_11. Disponible sur : http://www.infosteel.be/image/publicitaire/cocevoir-et-construire-en-acier.pdf, (Consulté en février 2019).

suspentes et les tirants, poteaux, poutres, arcs et les catènes, voutes et dômes et des ossatures légères.

L'acier peut prendre toute sorte de mise en œuvre et offre une gamme importante d'aspect.

7. L'enduit :

Est un ouvrage exécuté sur une paroi par application, ce mélange du forme pâteuse ou semi fluide a une ou plusieurs couches du produit , ce derniers constitue d'un liant de charge minérale, végétale ou animal, qui sert pour avoir des surfaces uniformes ou planes[17].

7.1 Les fonctions de l'enduit[18] :

Uniformiser : par le dressage des parois afin de rattraper les irrégularités.

Protéger : afin de laisser le support respirer l'enduit assure l'imperméabilité des parois.

Décorer : comme habillage esthétique et décoratif des parois.

7.2 Les types d'enduit[19] :

Le type de l'enduit dépend du matériau d'origine :

L'enduit du plâtre : obtenue après calcination du gypse, avec une plasticité élevée et une excellente adhérence aux pierres.

L'enduit à base chaux : à base chaux hydraulique ou arienne, issues de roches calcaires composées de carbonate de calcium et de silice, oxyde de fer, magnésie et argile.

8. Conclusion :

D'après ce chapitre on a pu résumer les matériaux de construction les plus courants dans l'architecture ksourienne, en découvrant une véritable science dont l'efficacité est attestée par une masse considérable de références résultant d'une pratique longue de quelques millénaire.

[17] KADJILE Edouard (2015). Les enduits traditionnels : techniques de fabrication, mise en œuvre et durabilité. Mémoire de master. Génie civil. Ouagadougou : institut international d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement. P_5.
[18] Bouaidat Radia, Djebri Boualem (2019) : Approches sur les nouvelles techniques de renforcement du vieux bâti. Universitaire européenne. P_45
[19] Idem

En mettant en avant le comportement et les caractéristiques mécaniques spécifiques de chacun en vue d'un emploi du matériau dans les règles de construction nous pouvons avoir les techniques de renforcement les plus adéquates pour une bonne réhabilitation.

Chapitre II :

Les approches de renforcement de vieux bâtis :

1. Introduction :

Le deuxième chapitre de ce mémoire s'intéresse à la préservation et la protection du patrimoine architectural ksourien, c'est pour cela on doit s'informer sur les concepts et les opérations de conservation de ce patrimoine dans un premier lieu, et les techniques de renforcement de cet héritage bâtis en deuxième lieu dans le but de le préserver.

La préservation d'un patrimoine assure sa protection contre l'action destructrice entropique selon des légations appropriées, et sa conservation à travers le temps par des techniques d'entretien et de consolidation.

2. Le concept de patrimonialisation :

D'après L'UNESCO « le patrimoine est l'héritage du passé dont nous profitons aujourd'hui et que nous transmettons aux génération à venir. Nos patrimoine culturel et naturel sont deux sources irremplaçables de vie d'inspiration ».

Il se définit comme l'ensemble des biens culturels, matériels et immatériels et considéré comme indispensable à l'identité et à la pérennité d'une communauté donnée et comme étant le résultat de son talent.

3. Patrimoine architecturale :

Le patrimoine architectural est considéré comme un héritage légué, prestigieux et une richesse de haute qualité. Il est le témoignage d'un génie de savoir et d'une capacité d'adaptation incomparable, il se concrétise essentiellement par des monuments et des ensembles historiques qui sont prises en charge par des architectes, des archéologues et des historiens qui participent selon des actions à la protection et la conservation de cet héritage.

4. Les opérations de conservation du patrimoine :

4.1 Le concept de sauvegarde :

La sauvegarde est un concept générique qui englobe plusieurs concepts : l'identification, la protection, la conservation, la restauration, la réhabilitation, l'entretien et la revalorisation de l'ensemble du patrimoine historique et de son environnement, qui consiste à la préservation et la conservation du patrimoine bâtis.

Plan de sauvegarde et de mise en valeur ou P.S.M.V. : plan d'urbanisme établi pour une partie de territoire urbain où des dispositions spéciales de conservation sont à prévoir en raison de la présence d'édifices ou d'ensembles de bâtiments à sauvegarder pour leur intérêt historique ou architectural.

4.2 La conservation :

Selon la charte de Venise (1964) la conservation des centres historiques constitue une discipline qui fait appel à toutes les sciences et à toutes les techniques qui peuvent contribuer à l'étude et à la sauvegarde du patrimoine architectural et vise à les sauvegarder, et impose la permanence de leur entretien[20].

La conservation du patrimoine architectural se définit par le processus par lequel la matérialité, l'histoire et l'intégrité conceptuelle du patrimoine bâti et de l'humanité sont prolongées par des interventions soigneusement planifiées, c'est de protéger ou construire un rapport stable entre population et cadre physique qui est sa caractéristique primaire.

4.3 La réhabilitation :

Selon le dictionnaire Larousse la réhabilitation désigne "remettre une chose ou une personne a son état antérieur".
Elle vise la remise en état d'un patrimoine architectural et urbain longtemps déconsidéré.

Selon la norme Française la réhabilitation désigne un ensemble d'intervention sur un bien historique immobilier dans le but de lui restituer une fonctionnalité antérieur présumée, de l'adapter à une fonction différente ou à des normes de confort, de sécurité et d'accès moderne.

C'est une opération qui consiste à améliorer l'état physique d'un édifice en concevant sa fonction principale[21], le renforcer et l'apporter le confort des normes actuelles sans détruire ou raser son caractère architectural et ses valeurs historique.

Donc c'est la mise en état de la construction d'une manière durable en gardant les principes architecturaux de cette dernière dont l'objectif est de renforcer et restituer les édifices afin de les revaloriser.

---

[20] CHARTE INTERNATIONALE SUR LA CONSERVATION ET LA RESTAURATION DES MONUMENTS ET DES SITES (CHARTE DE VENISE 1964). Disponible sur : https://www.icomos.org/charters/venice_f.pdf, (consulté en février 2019).

[21] JOFFROY Pascale (1999). La réhabilitation des bâtiments : conserver, améliorer, restructurer les logements et les équipements, col. « Techniques de conception ». Edition Le Moniteur. Paris.P_13.

4.3.1 Les niveaux de réhabilitation :

Selon le rapport de SIMON NORA DE 1975 en France on distingue quatre niveaux de réhabilitation[22] :

a- La réhabilitation légère :

Elle consiste à l'installation d'un équipement sanitaire, avec salle d'eau (y compris les canalisations et les peintures accompagnant ces agencements), elle ne comporte pas des travaux sur les parties communes de l'immeuble.

b- La réhabilitation moyenne :

Par l'implication des travaux plus complets concernant les parties privatives : la réfection de l'électricité, l'ajout du chauffage central ou électrique ….avec amélioration de l'isolation thermique et changement des fenêtres.

Les distributions intérieurs des logements et les cloisonnements ne sont pas modifiés sur les parties communes de l'immeuble, où des travaux légers sont compris.

c- La réhabilitation lourde :

Une distribution des pièces dans le bâtiment, par modification ou suppression de cloison ou une redistribution des logements étage par étage, la réfection et l'amélioration des façades et des toitures.

d- La réhabilitation exceptionnelle :

Dans le cas où les désordres ou l'état de la structure menace, l'intégrité et la stabilité de l'ouvrage, où on renforce les structures et les fondations.

C'est le cas d'immeuble dont les façades sont classées et nécessairement conserver avec restauration, alors que la structure intérieure est entièrement reconstruite.

4.3.2 Le processus de réhabilitation :

Afin de réhabiliter un édifice on doit élaborer tout un processus :

[22] DREGE Jacques, PUTTATI Jacques, ILLOUZ Gorinne (1997). Pathologies des ouvrages des bâtiments T.1 : Fiche technique pour l'établissement du diagnostic-la mise en œuvre des solutions appropriées-la prévention et la résolution des litiges. Edition Weka, Paris : Dispositions générales relatives à la pathologie. Chap1/1, P_7-8.

a- Le diagnostic :

Une analyse préalable et rapide qui doit concerner :

Le style architectural, ses principes et ses caractéristiques, l'aspect architectural, l'aspect culturel et historique, le système structurel et constructif du bâtiment, les pathologies et les dommages et son évaluation détaillée.

Aussi examiner le bâtiment afin d'évaluer sa stabilité et collecter les informations concernant l'origine historique et le caractère architectural de ce dernier, qui va permettre une meilleure connaissance du projet et éviter les erreurs éventuels.

b- Le relevé :

Ce dernier précise les informations techniques nécessaires afin de réhabiliter le bâtiment qui va permettre au concepteur de vérifier ou confirmer les détails et assurer la compatibilité de ses propositions avec l'état des lieux.

c- La conception :

La réhabilitation doit respecter et préserver le lagunage architectural et l'empreinte culturelle qui reflètent l'époque historique du bâtiment.

C'est une étude et une réflexion profonde basée sur le diagnostic afin de ressortir des objectifs qui visent la transformation minimale de l'édifice et préserve ses valeurs patrimoniales où il serait important de favoriser l'esprit créatif tout en préservant le mode de construction traditionnel de l'ancien bâti.

4.4 Le renforcement : une branche de la réhabilitation :

C'est une opération qui consiste à donner à une structure un niveau plus élevé par rapport à ce qui lui a été donné au début.

Le renforcement est l'opération ou l'intervention par laquelle on redonne à un élément ses caractéristiques mécaniques initiales ou nécessaires pour pouvoir résister à son chargement actuel d'une manière efficace tout en tenant compte des coefficients de sécurité imposé par le règlement[23].

[23] DEKHMOUCHE Mouloud (2007). Procèdes de renforcement de vieux bâtis, l'office des Publications universitaires. Alger. P_03.

4.4.1 Les techniques de renforcement :

4.4.1.1 Renforcement des fondations[24] :

Une action qui vise à consolider les patries solides de la fondation ou l'amélioration du terrain à travers :

a- Le Renforcement sous fondation par sous œuvre en maçonnerie :

Cette méthode consiste la construction sous la fondation existante une nouvelle fondation construite avec la brique forte et le mortier de ciment cette méthode est utilisée dans les cas des fondations peu profonde.

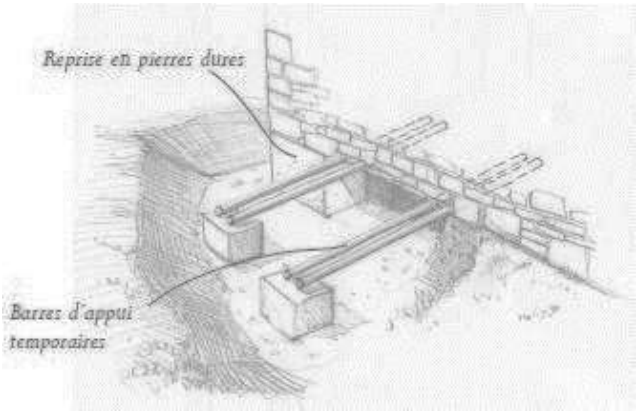


Figure 4 : Renforcement des fondations par sous œuvre

(Source : guide technique de réhabilitation)

b- Le renforcement sous fondation par sous œuvre par l'introduction de semelle en béton armé :

Par l'ajout d'une semelle élargie en béton armé qui assure la stabilité des murs, et augmente la surface de répartition des charges.

PHASE D'INTERVENTION :

1. DALLAGE EN PIERRE
2. EVACUATION DES EAUX SUPERFICIELLES
3. CHAPE EN MORTIER DE CHAUX
4. CAILLOUX FORMANT UN FILTRE
5. COUCHE DE GEOTEXTILE
6. SEMELLE EN BETON ARME
7. DRAIN ENTOURANT L'EDIFICE

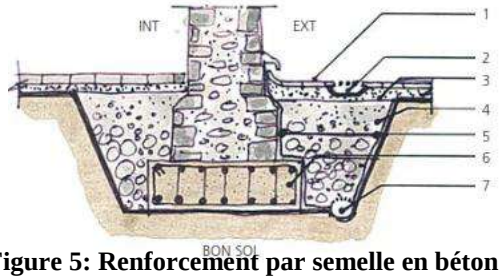


Figure 5: Renforcement par semelle en béton

(Source : www.meda-corpus.net%2Flibros%2Fpdf)

[24] Boualem Djebri, Samira Akkouche, Nesrine Meddour (2017). Renforcement du vieux bâtis vis-à-vis les sollicitations sismiques. P_60.

c- Des micros pieux en béton armé :

La technique a pour but de stabiliser les anciennes constructions à travers l'implantation des micropieux qui descendent jusqu'au bon sol ou au-dessus des semelles existantes.

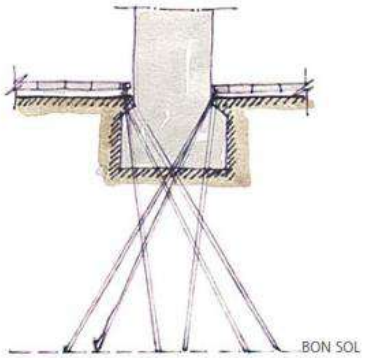


Figure 6 : Renforcement par des pieux en béton
(Source : http://www.meda-corpus.net/libros/pdf_fiches/liban_frn/rehab/1-14%20FR.pdf)

d- L'amélioration par injection :

Une injection sous pression des vides et fissures du sol des fondations par de coulis de ciment, chaux hydraulique ou argile colloïdale, afin de colmater entièrement ses derniers.

4.4.1.2 Renforcement des murs :

a- Remplacement physique de la partie endommagée :

Il s'agit de remplacer le matériau de la partie fissurée, bombée ou menacée par la dégradation et de reconstruire avec le même matériau ou d'autres dont la résistance et la déformabilité seront similaires.

b- Le chainage des murs :

C'est une technique de disposition des ceintures ou de courroies sur le pourtour des murs structurants fermés en maçonnerie traditionnelles d'un bâtiment ou sur ses piliers dont le but est d'augmenter leurs résistance et les rendre plus robuste. Cet ancien système se retrouve dans de nombreux édifices historiques bien connus, tels que le Colisée romain ou les clochers italiens du Moyen Âge. Le fer et l'acier sont les matériaux qui sont généralement utilisés pour fabriquer le chainage, où les bandes en fibre de carbone viennent de remplir leur rôle récemment.

c- Le renforcement par l'injection du béton de fibres métalliques :

Afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques des murs : la ductilité, la résistance à la flexion, la propagation des fissures et les empêcher de flamber on propose d'injecter le béton de fibre métallique au niveau des parties fissurées et détériorées.

Où le choix des fibres dépend de l'usage cherché, de leurs propriétés, disponibilité et leur prix.

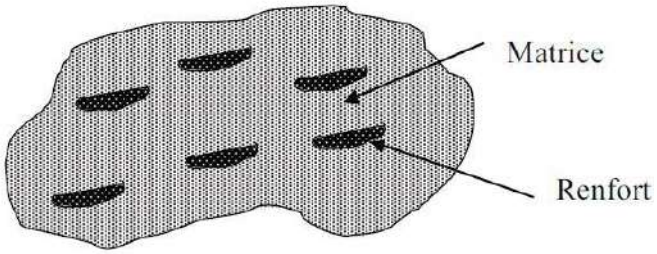


Figure 7 : Schéma d'un matériau composite

(Source : https://bu.univouargla.dz/master/pdf/master_gossa.pdf?idmemoire=521)

- **Le béton fibré :**

Le béton fibré est un matériau composite qui associe entre une matrice (le béton) et un renfort (les fibres) qui prennent le rôle de maitriser la fissuration et de reprendre les efforts des fissures éventuelles.

Ces fibres améliorent le comportement mécanique du béton, pour l'utiliser dans les travaux de restauration des anciens bâtiments[25].

Figure 8 : Le béton de fibre métallique

(Source : www.acheterdubeton.com%2Fnos-produits%2Fbeton-fibre)

[25] Boualem Djebri, Samira Akkouch, Nesrine Meddour (2017). Renforcement du vieux bâti vis à avis les sollicitations sismiques. P_209.

- **Les différentes formes de fibres :**

Pour un meilleur accrochage Les fibres métalliques sont de types et de formes variées, la figure présente différentes géométries de fibres métalliques[26]. Les fibres sont composées d'acier au carbone, d'acier inoxydable ou d'acier galvanisé contre la corrosion, la longueur des fibres varie de 25 à 60 mm et le diamètre varie de 0,5 à 1,3 mm[27].

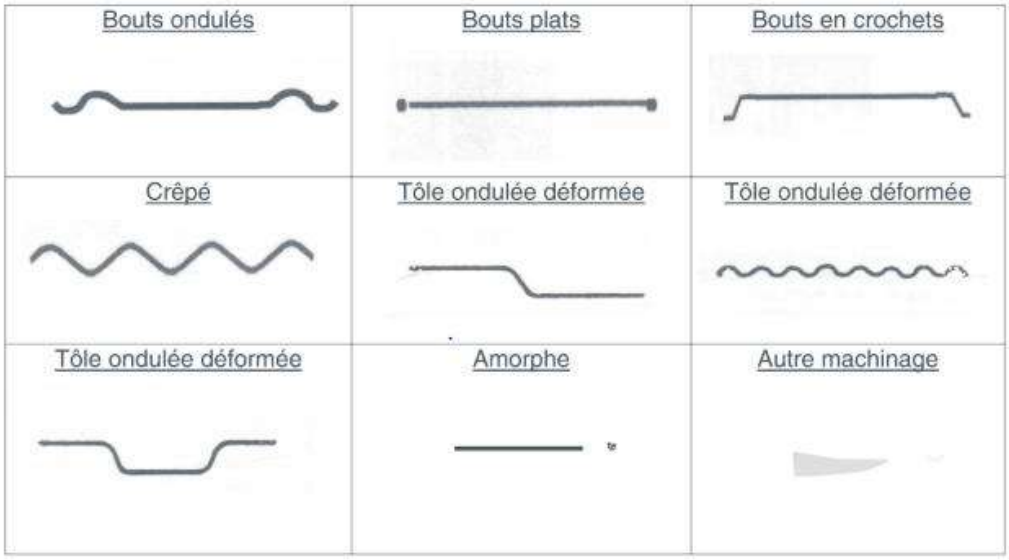


Tableau 3 : les différentes formes des fibres métalliques

(Source : https://betonabq.org/wp-content/uploads/2017/09/aDocument_Fibres.pdf.P_16.consulté en novembre 2019).

Figure 9 : les différentes géométries des fibres métalliques

(Source : http://www.univ-tebessa.dz/fichiers/masters/st160015.pdf)

[26] https://betonabq.org/wp-content/uploads/2017/09/aDocument_Fibres.pdf.P_16 (consulté en novembre 2019).
[27] http://thesis.univ-biskra.dz/1328/4/partieI%20chapitre%2001.pdf.P_13 (Consulté en décembre 2019).

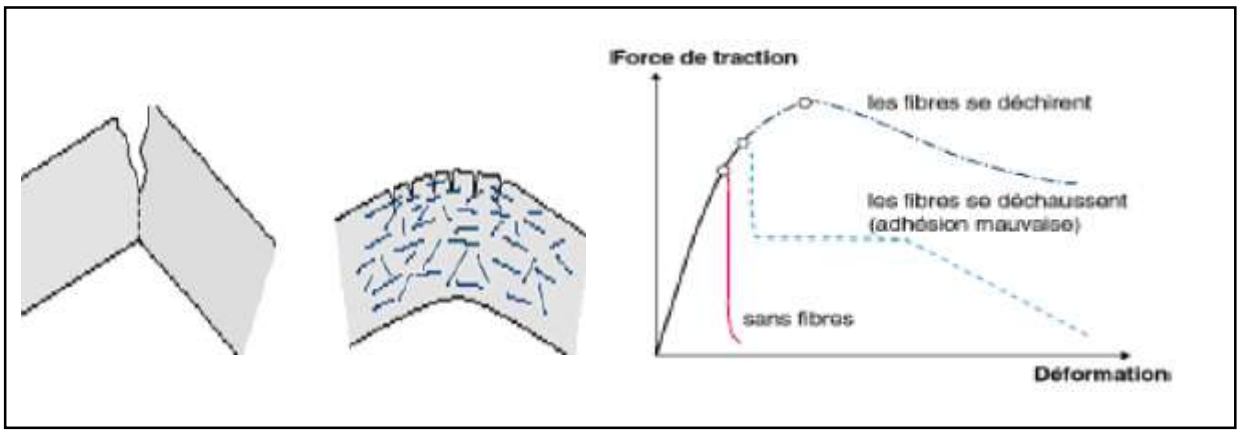


Figure 10 : Illustration de l'apport du renfort par des fibres

(Source : Fritih Y.2009)

- **Le rôle des fibres :**

- l'amélioration de la cohésion du béton frais.

- l'augmentation de la ductilité et le comportement poste fissuration : les fibres améliorent la ductilité du béton, elles permettent au béton fibré de se déformer sans se rompre.

- la réduction de la microfissuration due aux variations directionnelles notamment au jeune âge.

- Résistance à la fatigue : les fibres qui limitent la fissuration rendent également le béton plus résistant sur le long terme.

- l'augmentation de la résistance à la traction par flexion

- Résistance à l'abrasion : l'abrasion est un phénomène d'usure provoqué par des frottements répétés, pouvant provoquer la fissuration du matériau.

- La résistance à l'usure.

- La capacité à absorber de l'énergie.

- Un remplacement partiel ou total des armatures traditionnelles.

- **Optimisation de la formulation de béton de fibre métallique [28] :**

Le types de fibre et son dosage est important lors de la détermination de la maniabilité du béton, ou ces derniers jouent un rôle similaire aux gros gravillons.

L'optimisation de ce béton fibré est en fonction de plusieurs paramètres : le types la longueur, le positionnement, le dosage la de fibre (dosage important de fibres courte ou dosage

[28] Nesrine Meddour, Boualem Djebri (2016). Le béton de fibres métalliques dans la conception architecturale. Etude des caractéristiques physico-chimiques d'un matériau composite et optimisation de sa formulation. Edition universitaire européenne. P_253.

faible de fibres longues), le rapport E/C et le rapport S/G, ce dernier est optimisé pour différents types et dosage de fibres.

L'ajout des fibres au béton, apporte une certaine ductilité ; pour une longueur de fibres égale à 30 mm et un pourcentage en fibres de 1%, le résultat est meilleur avec les fibres en copeaux.

- **L'anisotropie :**

L'orientation favorable des fibres par rapport à la direction des charges (le positionnement perpendiculaire des fibres à la direction du coulage) augmentent la résistance du béton[29].

- **La durabilité :**

Le problème de la durabilité du béton de fibres métallique est la corrosion des fibres qui est en relation avec le rapport E/C (la diminution de ce rapport diminue la corrosion de la surface).

c- Taxidermies avec des barres d'acier :

Cette méthode consiste à mettre en œuvre à l'intérieur du mur des armatures en acier, une sorte de création d'une seconde structure rigide qui améliore la résistance des murs et réparti les charges d'une façon homogène.

[29] Idem

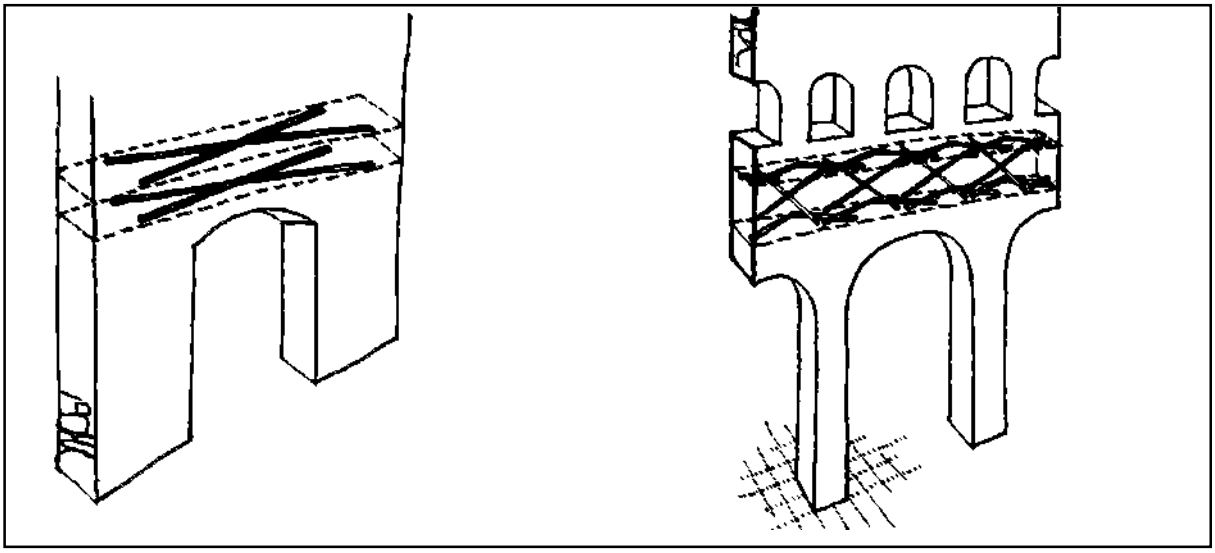


Figure 11: les différentes géométries des fibres métalliques
(Source : technique de réhabilitation et de renforcement, Euromed)

d- Renforcement par des fers plats :

A travers la consolidation à l'aide des fers plats en forme de T l'écartement important entre les deux murs, ces fers seront encastrés au niveau des intersections, de sorte à ce que ses tiges puissent sceller les deux fragments.

4.4.1.3 Renforcement des arcs, coupoles et voutes :

a- Renforcement par remplacement des claveaux :

Il s'agit de remplacer les voussoirs endommagés par des nouveaux afin de restituer la continuité mécanique et garantir la descente des charges aux piliers.

b- Pose des tirants :

Cette technique vise à restituer les liaisons entre les déférents claveaux, afin d'assurer une descente des charges correcte par la mise en place des tiges métalliques qui vont exercer des tractions. Ces éléments linéaire sont constitués en principe d'un câble d'acier et fixés à deux murs opposés par des pièces spécifiques d'ancrage qui évitent les dommages qui poursuivent.

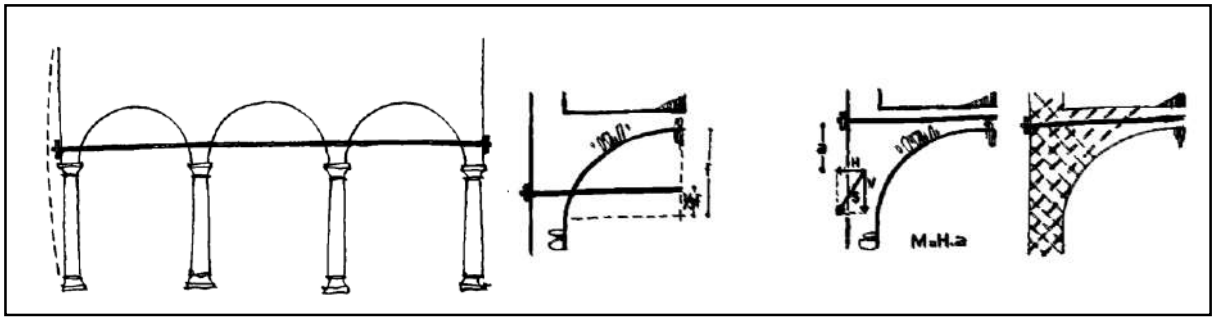


Figure 12 : Disposition du tirant au niveau de la naissance de la voute
(Source : technique de réhabilitation et de renforcement, Euromed)

c- Renforcement par introduction des barres d'acier :

Il s'agit de freiner l'effondrement de l'arc et des murs supérieurs qu'il supporte, et qui subit des déformations transversale dans son plan, le renforcement contre la traction ce fera par l'introduction des tirants métallique depuis l'intrados jusqu'à l'extrados.

Par rapports aux voutes le renfort se fera par un chainage périphérique en acier ou en béton armé afin d'absorber les poussées latérales au niveau des soubassements.

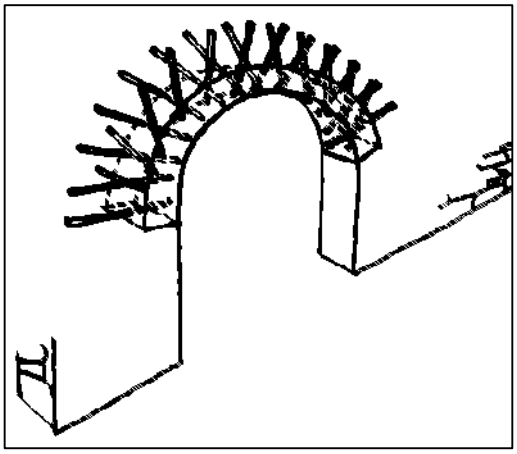


Figure 14: Renforcement des arcs par des barres d'acier
(Source : technique de réhabilitation et de renforcement, Euromed)

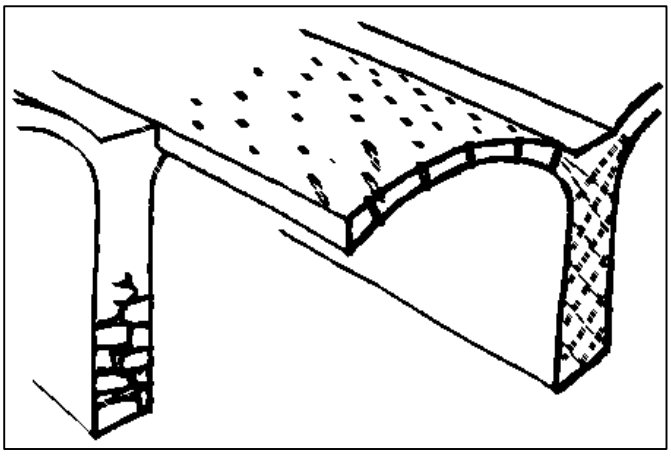


Figure 13 : Renforcement des voutes par introduction des barres d'acier
(Source : technique de réhabilitation et de renforcement, Euromed)

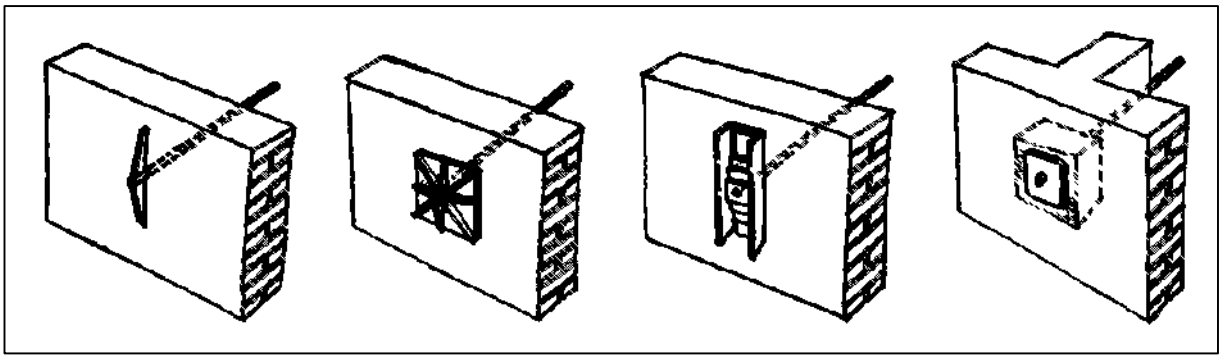


Figure 15 : Encrage des tirants

(Source : technique de réhabilitation et de renforcement, Euromed)

d- Technique de chainage périphérique :

Cette méthode a pour but d'arrêter ou ralentir l'effondrement du mur ou leurs déformations graduelles transversalement par des tirants métalliques placé à l'extrados.

La résistance aux surcharges des arcs peut être établie par l'introduction des barres d'acier inoxydables en guise de taxidermie par l'intrados[30].

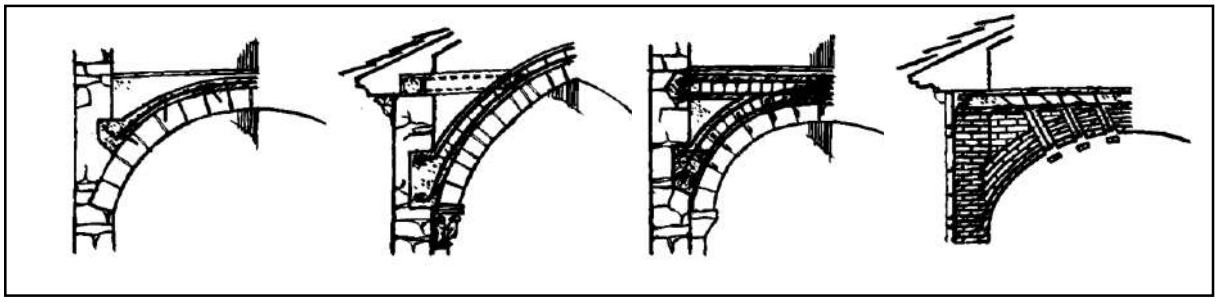


Figure 16 : Renforcement des tirants avec chainage périphérique

(Source : technique de réhabilitation et de renforcement, Euromed)

4.4.1.4 Technique de traitement des fissures :

Les fissures sont des fentes, des brisures ou des déchirures qui touchent les éléments de construction.

[30] Bouaidat Radia, Djebri Boualem (2019) : Approches sur les nouvelles techniques de renforcement du vieux bâti. Universitaire européenne. P_81.

a- Remplacement physique de la partie endommagée :

Cette technique consiste à remplacer les matériaux de la partie fissurée et de reconstruire avec le même matériau ou d'autres dont la résistance, la déformabilité, la forme et la couleur seront similaires.

Pour ce qui concerne l'exécution, il faut éliminer les parties endommagées et prendre soin du contact de la partie remplacée avec l'édifice, pour assurer une transmission correcte des charges.

b- Reprise des fissures :

Cette méthode consiste à intercaler entre les lèvres de la fissure par des éléments rigides et résistants tel que les agrafes métalliques afin de retrouver la continuité perdue du mur endommagé, de sorte que les tensions puissent être de nouveau transmises et distribuées de manière homogène dans la partie lézardée.

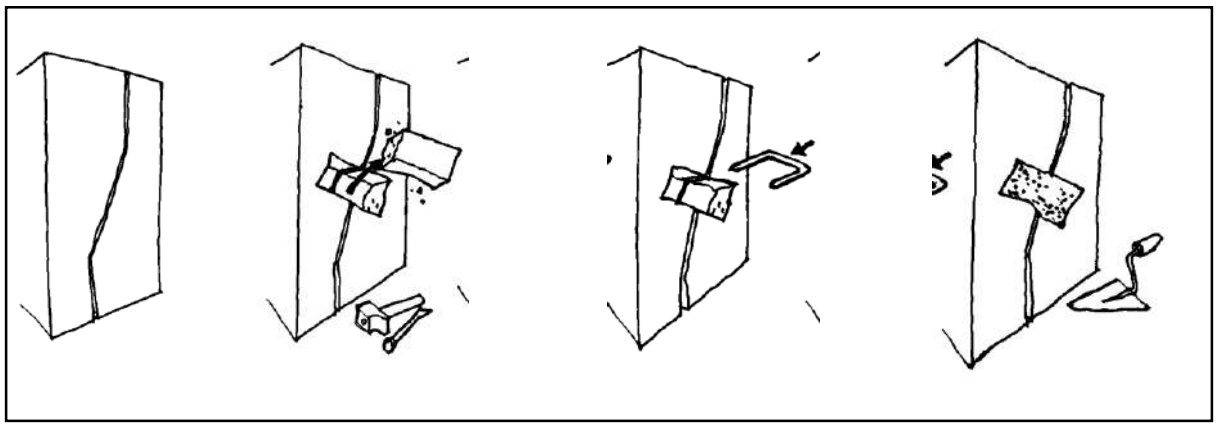


Figure 17 : Les étapes de la mise en œuvre de la technique de reprise des fissures

(Source : technique de réhabilitation et de renforcement, Euromed)

a- L'injection :

Il s'agit d'introduire un liquide sous pression pour colmater entièrement le vide entre les lèvres de la fissure, par le durcissement et l'adhérence au support, ce liquide à base de composants époxydiques et la pression d'injection varient en fonction des matériaux restitue à l'élément endommagé et sa continuité d'origine[31].

[31] Les techniques de réhabilitation : renforcer les structures. P_8. Disponible sur : http://www.rehabimed.net/Publicacions/Metode_Rehabimed/II.%20Rehabilitacio_Ledifici/FR/2e%20partie.%20Outil8.pdf (Consulté en septembre 2019).

Figure 18 : Technique de la reprise des fissures par injection

(Source : technique de réhabilitation et de renforcement, Euromed)

4.4.1.5 Les techniques de réhabilitation de désordre de l'humidité :

a- Les techniques de lutte contre l'humidité ascensionnelle :

La propagation de l'eau dans le matériau est en fonction des forces qui la véhiculent : la gravité et la pression du vent, et la capacité des matériaux à la résistance à la pénétration de l'eau et à la capillarité.

Les matériaux poreux contiennent des cavités et canaux appelés capillaires, d'où le nom de remontées capillaires donné à l'humidité ascensionnelle provenant des fondations et du bas des murs[32].

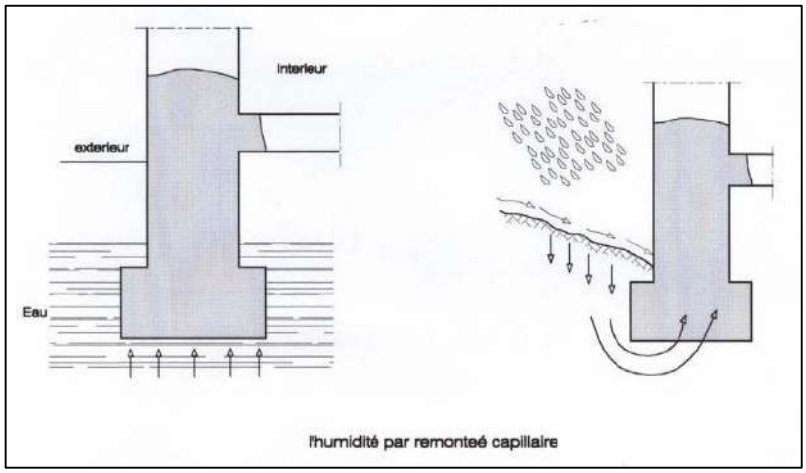


Figure 19 : L'humidité par remonter capillaire

(Source : www.rehabimed.net › 3.3 Diagnostic et traitement des humidites.pdf)

[32] Idem

- **Le drainage du sol** [33] **:**

Cette technique est utilisée quand le niveau de la nappe phréatique se situe au-dessous de l'arase inférieure des fondations selon déférents procédés.

La première consiste à l'emplacement de drain perforé au fond d'une tranchée creusée du bâti, afin de récupérer les eaux d'infiltration pour empêcher sa remonté capillaire dans les murs, ce drain sera placé en tranché au niveau des fondations couvert par un matériau filtrant. La deuxième se réalise par l'emplacement vertical des blocs drainants le long du mur enterré et de la fondation du bâti.

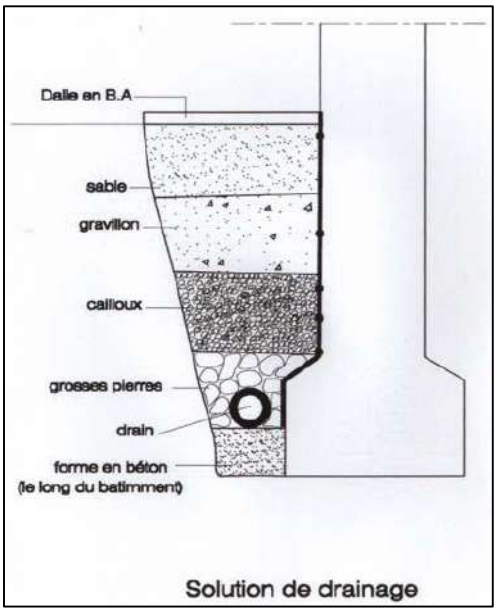


Figure 20 : Drainage du sol

(Source : www.rehabimed.net › 3.3 Diagnostic et traitement des humidites.pdf)

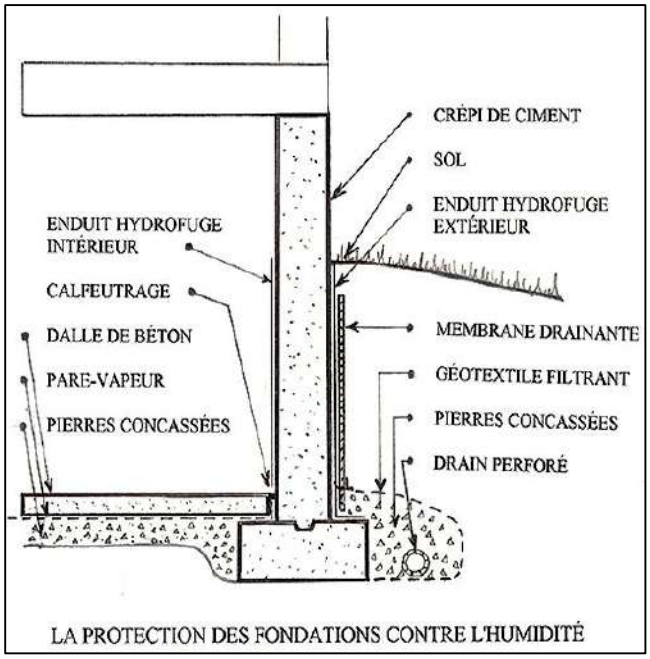


Figure 21 : Drainage perforé du sol

(Source :https://www.google.com/url3A%2F%2Fguide perrier.ca%2Fdrainage-etancheite-fondationsdrain%2F)

[33] Bouaidat Radia, Djebri Boualem (2019) : Approches sur les nouvelles techniques de renforcement du vieux bâti. Universitaire européenne. P_86.

- **Technique de traitement par siphon atmosphérique[34] :**

Par l'installation un siphon atmosphérique dans le bas des murs à l'extérieur afin d'aspirer l'humidité des murs à travers l'emplacement des petits tubes poreux en terre cuite à la base du mur sur 2/3 de son épaisseur puis scellés au mortier dans la maçonnerie, afin d'en évacuer l'humidité.

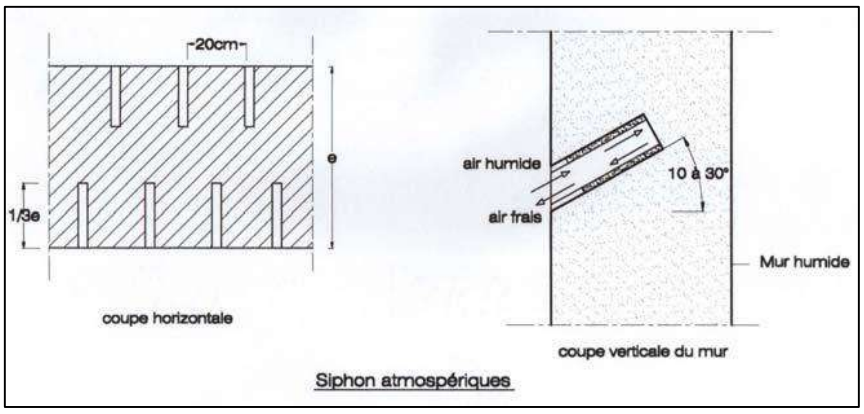


Figure 22 : Principe du traitement du siphon atmosphérique

(Source : www.rehabimed.net › 3.3 Diagnostic et traitement des humidites.pdf)

Figure 23 : L'installation des siphons à Dar Ben Abdellah.Tunis

(Source : www.rehabimed.net › 3.3 Diagnostic et traitement des humidites.pdf)

- **La technique de l'électro-osmose phorésie :**

Il s'agit d'empêcher les remonter capillaires par la création d'une barrière étanche en recourant à des procédés mécaniques, chimiques, physico-chimiques ou électroniques.

[34] Idem

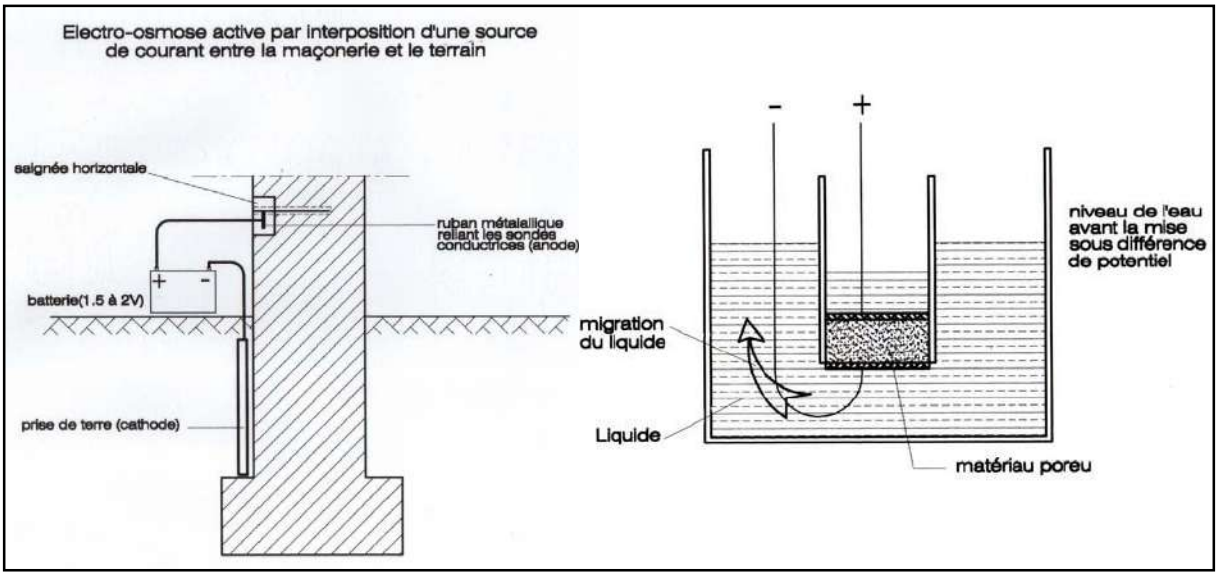


Figure 24 : La technique de l'électro-osmose phorésie
(Source : www.rehabimed.net › 3.3 Diagnostic et traitement des humidites.pdf)

- **La technique d'insertion d'une barrière étanche à la base des murs :**

Cette technique consiste à scier le mur sur toute son épaisseur pour y introduire une barrière étanche.

b- Les techniques de lutte contre l'humidité des infiltrations :

- **Les techniques de l'hydrofugation de surface**

Hydrofugation de la façade, ou traitement hydrofuge, est une technique de traitement de l'humidité qui a pour but de prévenir ou de remédier à l'infiltration d'eau dans les maçonneries. Afin de garantir la respiration des murs, cette technique utilise des pulvérisations au pinceau un produit hydrogène incolore, Ce produit hydrofuge comble les fissures et les porosités et forme une fine couche imperméable à l'eau, ce qui empêche de futures infiltrations[35].

- **Le revêtement et enduit minces d'étanchéité et d'imperméabilisation :**

Cette technique consiste à l'application des types de revêtements imperméables et étanches sur les murs, ces revêtements sont conçus pour arrêter la pénétration de l'eau dans la façade.

[35] https://www.humidite-expert.be/hydrofugation, (Consulté en novembre 2019).

4.4.1.6 Le renforcement des planchers :

a- Remplacement des appuis des poutres :

Le remplacement des appuis dégradées après avoir pris soin et traiter les parties endommagées par des éléments en bois ou constitués en profils d'acier.

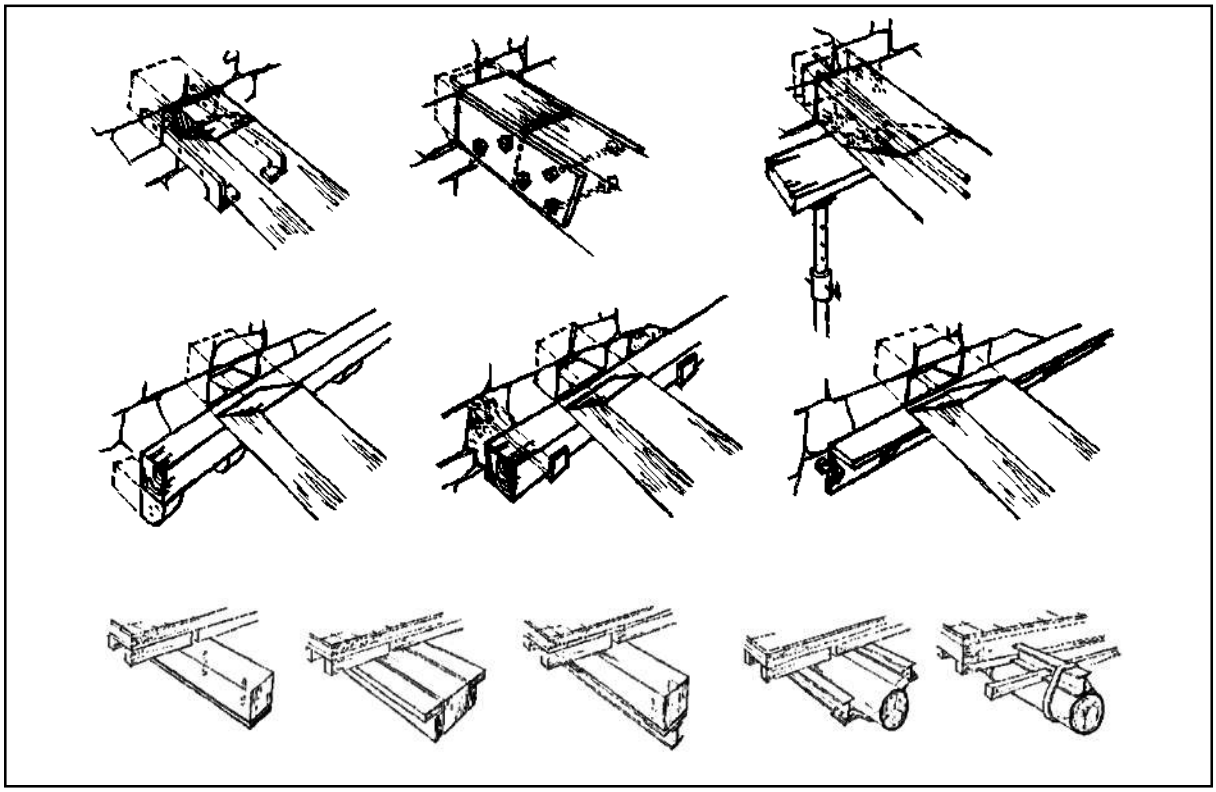


Figure 25 : Technique de renforcement des planchers
(Source : technique de réhabilitation et de renforcement, Euromed)

b- Montants intermédiaires :

Afin de réduire les tensions de flexion introduites par les surcharges et les déformations dues au fluage du bois on emploie des poutres en bois ou en acier, disposées en travers de la poutre à renforcer qui divisent sa portée en deux ou trois.

Figure 26: Technique de renforcement des planchers par l'ajout des montants intermédiaires

(Source : technique de réhabilitation et de renforcement, Euromed)

c- Pose additionnelle de dalles en béton armé

Parmi des solutions les plus courantes dans le domaine réhabilitation de bâtiments on trouve la technique de La pose additionnelle de dalles en béton armé, raccordées aux poutrelles en bois des plancher. Cette méthode consiste à la transformation des poutrelles d'origine en poutres mixtes, bois et béton, qui offrent une distribution coplanaire des tensions de la flexion dans toutes les directions du plan du plancher ce qui augmente la rigidité globale de la construction par la liaison de la nouvelle dalle dans l'épaisseur des murs et sur tout le périmètre. Le béton ajouté améliore l'isolation acoustique du plancher.

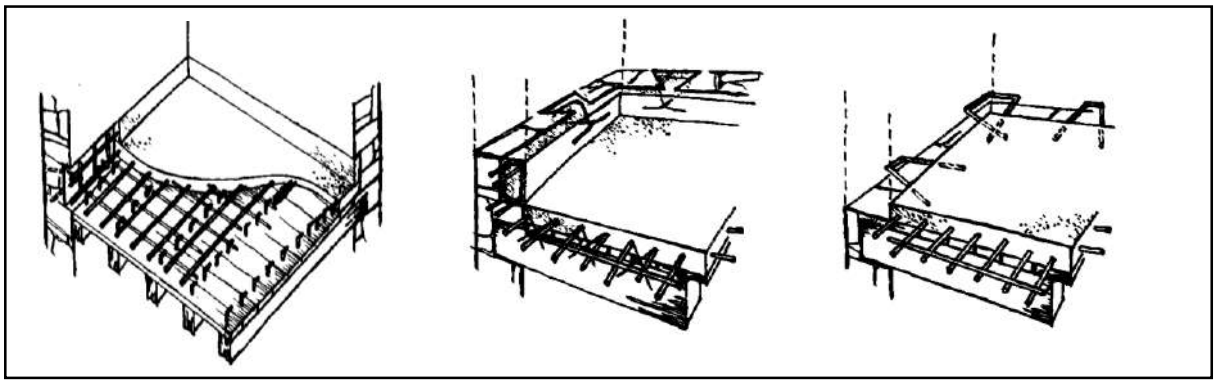


Figure 27: Pose additionnelle de dalles en béton armé

(Source : technique de réhabilitation et de renforcement, Euromed)

4.5 Formulation d'un matériau composite à sec de fibre de palmier :

- **Renforcement des planchers par l'injection du BFP (béton de fibres de palmier dattier) :**

L'utilisation des fibres naturelles d'origine végétale dans la construction remonte à la période où l'on fabrique des briques renforcées par la paille ou des roseaux[36]. Le premier composite liant avec les fibres végétales c'était le plâtre. Plusieurs ouvrages sont réalisés avec du plâtre renforcé de fibres végétales[37].

Les performances mécaniques des matériaux composites, en particulier en traction, leur légèreté et leur adhérence sur béton ou maçonnerie sont les principaux atouts de ces matériaux. L'objectif est donc d'exploiter les potentialités de ces systèmes composites dans le but de protéger, réparer, renforcer et contrôler les ouvrages existants[38].

le monde connaît de récents développements dans le domaine du renforcement du béton avec des fibres végétales, elles sont de plus en plus utilisées dans les dalles, la production des tuiles et les dallages de parking ainsi que dans le renforcement du plâtre , ces dernières sont classées en quatre groupes : les fibres de feuilles, de tiges, de bois et de surface où les fibres de palmier, qui entourent son tronc, appartiennent à cette dernière famille des fibres.

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre, sa densité, sa teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau[39]. Elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, à la rupture et par le module d'élasticité.

Fibres	Densité (g/cm3)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la traction (MPa)	Module de Young (GPa)
Palmier	0.51-1.08	7.5-17.4	170-290	2.1-5.25

Tableau 4 : les caractéristiques physiques et mécaniques des fibres de palmier
(Source : KRIKER.A (2005)

- **Les fibres de palmier dattier :**

[36] COOK D.J (1980). Concrete and cement composites reinforced with national fibres, proc. Symp. On fibrous concrete. Construction press ltd. Lancaster.P_ 99-114.
[37] DJOUDI A (2001). Caractérisation structurale et rhéologique des bétons de plâtre et leurs renforcements par les fibres végétales du palmier dattier. Mémoire de Magister. C.U Laghouat.
[38] MENADI Souad (2015). Renforcement des murs en maçonnerie non porteurs soumis à la compression. Etude des mortiers renforcés de différents taux de fibres de jute. Thèse de doctorat. Algérie : université de Badi Mokhtar. Annaba. P_44. Disponible sur : http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2016/11/These-Menadi-Souad.pdf, (consulté en novembre 2019).
[39] KRIKER A (2005). Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec. Thèse de Doctorat d'Etat, EN. P_166.

Parmi les fibres végétales les plus cultivées, on peut citer les fibres de palmier dattier, dans le sud de notre pays, il y'a plus de 800 variétés de palmier dans les oasis d'après des statistiques universitaires[40]. Les types les plus connus sont : Deglette Nour, Dokar, Elghers… (Appellation locale).

Figure 28 : les fibres des palmiers dattiers

(Source : https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSDGah1NIU6pvIlnKgbLzXcsLLXyf5S93qEuv-SZ4MPnOivStgb&s)

Après les études effectuées par Kriker sur quatre types de fibre de surface de palmier dattier (les fibres de dokar, deglette nour, degl a bida et d'elghers), il a constaté que les fibres de dokar donnent le meilleur résultat de point de vue résistance à la traction. C'est pour cette raison notre choix est porté pour les fibres de dokar.

- **La composition du BFP (béton de fibre de palmier dattier) :**

Les composants	Dosage	Provenance
Ciment CPJ 45	400 kg/m3	Usine Ain Toutta- Algérie
Sable	774.60 kg/m3	Hassi Sayeh-Ouargla-Algérie
Gravier	1105.88 kg/m3	Haoud Elhamra-Ouargla
Eau	200 l/ m3	Eau potable -Ouargla
Fibres	0.2 à 0.5% (dosage massique)	Palmier dattier – Ouargla
Super-plastifiant : MEDAPLAST-SP	0.4%	---

Tableau 5 : Composition de béton de fibres de palmier dattier utilisé par MERKHOUFI.A

(Source : MERKHOUFI. 2004)

[40] Idem

On a constaté que le rapport G/S (gravier/ sable) influence l'écoulement du béton de fibre de palmier dattier.

- D'après BOUAZIZ : pour les fibres de 30 mm, le rapport G/S égal à 1.4 garantit un bon écoulement, une bonne homogénéité et l'élimination de risque de ségrégation[41].

Les essais effectués sur les fibres par KRIKER [42] et ABBANI [43]ont permis de caractériser les fibres de palmier dattier de Ouargla comme suite dans le tableau :

Masse volumique apparente	512.21 - 1088.81 Kg/m3
Masse volumique absolue	1300 - 1450 Kg/m3
Résistance à la traction [MPa]	L=100 mm : 170 ±40 L=60 mm : 240 ±30 L=20 mm : 290±20
Déformation à la rupture	0.232 (fibre de diamètre 0. 8 mm)
Taux d'humidité	w = 9.5 - 10.5 %
Taux d'absorption en eau (après 24 H)	TA = 96.83 - 202.64 %
Diamètre (des fibres utilisées)	d = varié entre 0.1 - 1 mm

Tableau 6 : les caractéristiques des fibres de palmier dattier de Ouargla
(Source : KRIKER et ABBANI. 2005)

D'après Kriker on a constaté que l'augmentation de la proportion et de la longueur de fibres a un effet bénéfique sur le comportement ductile. Les résultats expérimentaux de la résistance à la flexion de ces mortiers témoignent de la grande efficacité des fibres pour ce type de sollicitation.

[41] Bouaziz Mohamed Hamza (2019). Formulation d'un BAP : influence du rapport G/S et de la fibre de palmier dattier de 30 mm de longueur. Mémoire de master. Algérie : Université Badji Mokhtar Annaba. P_47. Disponible sur http://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2019/09/BOUAZIZ-MOHAMED-HAMZA.pdf (Consulté en décembre 2019).
[42] KRIKER. A (2005).Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec. Thèse de doctorat d'état. ENP. Alger.
[43] ABBANI. S (2003). Caractérisation et durabilité des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier. Mémoire de magister. Algérie : université de Kasdi Merbah , Ouargla.

- **Elaboration du MFP (mortier en fibre de palmier dattier) [44]:**

- **Echantillons 1 : sable, chaux, eau et fibre :**

L'étude de l'effet de la flexion et de compression sur un échantillon du mortier de fibre de palmier (sable + chaux + eau + fibres) et les propriétés mécaniques ont montré que :

- Le paramètre principal influer sur l'énergie de choc c'est le paramètre F /C (rapport fibre/chaux), si le paramètre chaque fois entre (30% à 60%), l'échantillon était le plus grand résistant aux chocs.

- Le mortier de fibre généralement se caractérise par une grande ductilité, le module d'élasticité est faible.

- La contrainte maximale de la flexion est faible avec un comportement élastique non linéaire.

D'après M. Rachedi, A. Kriker et A. Mokhtari la composition du mortier de plâtre renforcé par fibre, sur laquelle les essais de durabilité ont été effectués, sera la suivante [45]:

- On prend le rapport E (P+S) = 0.6 ;
- Le rapport de SP est fixé à la valeur 0.5 ;
- On ajoute 6% de chaux aérienne comme retardateur de prise ;
- Pour les fibres : on prend des fibres de palmier dattier de longueur L = 20 mm et un pourcentage de masse égal à 1.5 %.

- **Echantillons 2 : sable, ciment, eau et fibre :**

D'après KRIKER : la composition des mortiers de fibre, la masse de ciment est maintenue constante, et le dosage en (volume) fibres varie de 1% à 3% pour les fibres de longueur 60 mm et de 1% à 6% pour les fibres de 15 mm. La quantité de sable varie de sorte que la quantité totale en poids de fibres plus sable demeure constante.

[44] GOSSA Nabil (2013). Elaboration et caractérisation expérimentale du comportement mécanique du béton à base de fibres de palmier dattier. Mémoire de master. Algérie : Université Kasdi Merbah. Faculté des Sciences et Technologie et des Sciences de la Matière. Ouargla. Disponible sur https://bu.univ-ouargla.dz/master/pdf/master_gossa.pdf?idmemoire=521 , (Consulté en novembre 2019).

[45] M. Rachedi, A. Kriker et A. Mokhtari (2017). Contribution à l'étude de la durabilité de mortier de plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier. Revue des Energies Renouvelables. Algérie : Laboratoire Exploitation et Valorisation des Ressources Naturelles en Zones Arides Université Kasdi Merbah Ouargla.P_251. Disponible sur : https://www.cder.dz/download/Art20-2_6.pdf (Consulté en décembre 2019).

Les résultats des essais sur un échantillon du mortier fibré (3 parties de sable, 1 partie de ciment, une, eau et fibres) obtenus par MOKHTARI.A ont montré que[46] :

- L'augmentation des dosages et des longueurs des fibres dans le mortier provoque une chute considérable de l'ouvrabilité du mélange, le dosage des fibres utilisé est entre 0.4 et 0.6%. Pour les longueurs de fibre entre 40 et 60 mm.

- La résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage des fibres. En effet, la majorité des auteurs rapportent que l'ajout des fibres végétales au béton ou au mortier n'améliore pas sa résistance à la compression.

- Les fibres utilisées sont des fibres de surface de palmier dattier de Ouargla (type Dokar) de masse volumique apparente faible et qui ont un taux d'absorbation d'eau assez élevé qui dépasse les 200 %, avec une résistance à la traction moyenne de 290 MPa à L=20 mm.

- Ils notent que l'augmentation du pourcentage de fibre diminue la valeur de la conductivité thermique λ.

- Le béton de palmier dattier est un matériau composite constitué d'un liant à base de ciment et chargé avec des fibres de palmier dattier. Sa formulation est composée de 15% de fibres de palmier dattier (fibres fines). Pour les fibres fines caractérisées par une longueur comprise entre 2.5 et 3.2 mm.[47].

Figure 29 : fibres de palmier dattier coupées
(Source : MOKHTARI.2006)

[46] MOKHTARI ABDESSAMED (2006). Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier. Mémoire de magister : génie civil. Algérie : université de Kasdi Merbah Ouargla. P_72-74. Disponible sur : https://bu.univ-ouargla.dz/MOKHTARI_ABDESSAMED.pdf?idthese=588, (Consulté en novembre 2019).

[47] Bourhaneddine HABA(2017). Etude in-situ des performances énergétiques et mécaniques des matériaux biosourcés et locaux. Mémoire de master. Algérie : université d'El-Hadj Lakhdar Batna.P_36. Disponible sur http://theses.univ-batna.dz/index.php/theses-en-ligne/doc_download/5482-etude-in-situ-des-performances-energetiques-et-mecaniques-des-materiaux-biosources-et-locaux (Consulté en décembre 2019).

- **La préparation des fibres**

Les plaquettes des fibres de palmier sont séparées en fibres individuelles dans l'eau, pour faciliter leur défibrage. Les fibres individuelles sont bien lavées à l'eau mélangée avec quelques gouttes de l'eau de javel pour enlever les impuretés et la couche de lignine qui entourent les fibres et qui gêne l'adhérence. Ensuite, elles sont coupées à des longueurs voulues.
Le malaxage s'effectue de la façon suivante[48] :

- Malaxage à l'état sec des matières premières (sable, ciment et fibres) pendant trois minutes à vitesse lente, pour bien homogénéiser ces matières.
- Gâchage des matières mélangées, en conservant le malaxage à vitesse lente pendant trois minutes. On ajoute progressivement de l'eau jusqu' à ce que mélange devient plus malléable.
- L'homogénéisation du mélange est assurée par un malaxage à vitesse lente pendant trois minutes puis une minute à vitesse rapide.
- Le moulage dans les moules, ils sont remplis en trois couches, suivie d'un picage surfacique pour chaque couche.
- Les moules sont exposés dans les conditions du laboratoire (T = 35 °C) et une humidité relative (HR) de (25 %) durant 48 heures.
- Le démoulage a été effectué avec précaution pour éviter toute détérioration.
- Séchage, les échantillons sont conservés en même milieu pendant 28 jours.

Figure 30 : Echantillons après démoulage.

(Source : KARECHE.2014)

[48] KARECHE Abdelhak (2014). Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert. Mémoire de magister. Algérie : Université Hadj Lakhdar Batna.P_60. Disponible sur : http://digitallibrary.univ-batna.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/424/1/Etude-des-materiaux-a-base-de-bois-de-palmier.pdf (consulté en décembre 2019)

- **Compatibilité du bois avec le ciment :**

On utilise plusieurs méthodes afin d'éviter l'incompatibilité des bois avec le ciment comme l'extraction avec de l'eau chaude de (80°C), le stockage prolongé, le séchage des particules au séchoir et l'utilisation de produits chimiques.

- **Durabilité des Bétons de Fibres de Palmier dattier[49] :**

La durabilité des bétons de fibres de palmier dattier est donnée en fonction de l'évolution à long terme de leurs propriétés mécaniques et notamment celles après la première fissuration. Par ailleurs, la chute de durabilité des bétons de fibres conservés dans l'eau est due à la chute de durabilité des fibres de palmier dans le milieu cimentaire alcalin.

L'amélioration de la durabilité est assurée par :

1- Traitement de la fibre

- Les imprégner d'agents chimiques comme le silicate de sodium, le sulfate de magnésium et d'autre pour constituer une protection contre l'attaque chimique des alcalins.

- Imperméabiliser la fibre avec des produits comme la résine ou la bitume protégeant ainsi la surface de ces dernières contre l'attaque des alcalis libérés par les ciments lors de l'hydratation.

2- Traitement de la matrice :

- La limitation des pores par l'augmentation de la proportion des fines ou la quantité de ciment, ou par diminution du rapport E/C pour limiter ainsi le transport de l'eau et donc l'alcalinité.

- la réduction de l'alcalinité soit par la carbonatation à jeune âge de la matrice par le gaz carbonique afin de réduire le taux de la chaux libérée lors des premiers jours d'hydratation ou par l'utilisation d'un ciment ayant une faible teneur en alcalis spécialement la chaux libérée lors de la réaction d'hydratation, aussi le remplacement d'une partie de ciment par des produits base de pouzzolane naturelle, tel que le métakaolin, qui ont contribué à l'amélioration de la durabilité.

[49] KARECHE Abdelhak (2014). Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert. Mémoire de magister. Algérie : Université Hadj Lakhdar Batna. P_24. Disponible sur : http://digitallibrary.univ-batna.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/424/1/Etude-des-materiaux-a-base-de-bois-de-palmier.pdf (consulté en décembre 2019)

- **L’effet d’anisotropie :**

D’après Gossa les propriétés mécaniques du béton de fibres dépendent de plusieurs facteurs qui sont les conditions de mise en œuvre, la longueur, l’espacement, l’orientation et la distribution des fibres dans le béton. Où la résistance à la compression peut être légèrement améliorée par une bonne orientation des fibres dans la matrice[50].

D’après les analyses effectuées par Mohamed Tlijani plusieurs paramètres tels que la disposition des fibres ou leur forme induisent une anisotropie conséquente. Où il a constaté d’après ses analyses des résultats expérimentaux que les facteurs essentiels affectant la conductivité thermique sont la variété du palmier dattier, Ainsi, l'orientation des fibres a un effet significatif sur les propriétés thermo physiques du bois de palmier. Ce résultat montre que les propriétés de ce dernier sont anisotropes, et par la suite l’utilisation du bois de palmier comme matériau d’isolation est préférable dans la direction transversale au plan d’orientation de la fibre.[51]

5- Conclusion :

Dans ce chapitre nous informerons sur l’opération de conservation du patrimoine : la réhabilitation qui se définit comme l’action qui consiste à renforcer l’œuvre en améliorant son état physique.

Le domaine de renforcement est vaste englobe plusieurs approches et méthodes qui se varient en fonction des matériaux, des systèmes constructifs et des dommages, et qui constituent une protection contre les risques naturels et de vieillissement.

Ces techniques présentent une sauvegarde pour les anciennes constructions ksourienne, et cela garde et protège leur identité architecturale, culturelle et historique.

[50] GOSSA Nabil (2013). Elaboration et caractérisation expérimentale du comportement mécanique du béton à base de fibres de palmier dattier. Mémoire de master. Algérie : Université Kasdi Merbah. Faculté des Sciences et Technologie et des Sciences de la Matière. Ouargla. Disponible sur https://bu.univ-ouargla.dz/master/pdf/master_gossa.pdf?idmemoire=521 , (Consulté en novembre 2019).

[51] Mohamed Tlijani (2016). Contribution à la caractérisation thermophysique de matériaux bio-isolants : valorisation des déchets de bois de palmier.thèse de doctorat. France : UNIVERSITE PARIS EST – Créteil. P_32. Disponible sur https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01618318/document (Consulté en décembre 2019).

Deuxième partie : investigation

Chapitre I :

Cas d’étude : le ksar de Ouargla

1. Introduction :

Ouargla, Connu sous le nom d'Ouardjelane (ibadite), ou Ouarglène (berbère), une des plus anciennes villes sahariennes, son rôle historique et son positionnement stratégique reliant le nord et le sud saharien entre le Grand Erg Occidental et le Grand Erg Oriental en a fait un véritable carrefour commercial et culturel d'importance régionale et africaine.

C'est une ville qui préserve un trésor patrimonial très riche menacé par la dégradation et la disparition comme ruines de l'antique ville de Sedrata à une dizaine de km au Sud-ouest de la ville de Ouargla, qui remontant au 10ème siècle.

Sedrata classée patrimoine national sauvegardé, est confrontée à une menace sur sa valeur patrimoniale et historique, induite par des extensions aux alentours, qui risquent de hâter sa disparition[52]. Entraînant ainsi un rétrécissement de la superficie du site archéologique protégé (4.152 hectares dont 769 ha classés).

Figure 31 : Tombes en timchent du cimetière de Sedrata

(Source : https://maghribadite.hypotheses.org)

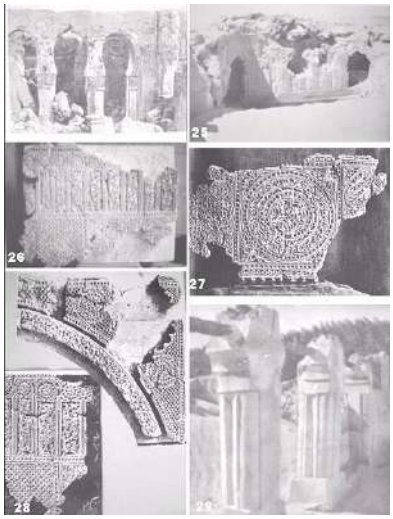


Figure 32 : Ruines de la ville Ibadite Sedrata

(Source : http://ouargla.free.fr/5.html)

[52] L'antique ville de Sedrata à Ouargla menacée (25 avril 2018). Disponible sur : www.sedrata.info, (consulté en mars 2019).

2. Ouargla un trésor patrimonial ksourien :

La ville de Ouargla est connue par son patrimoine ksourien (seize ksour proposés au classement) d'où on cite : les ksour de Touggourt, le ksour de N'goussa, le ksour de El-Hdjira, le ksar de sidi khuiled, le Ksar de Adjadja, et le ksar de la vielle ville de Ouargla (la casbah de Ouargla), ce dernier présente un symbole d'une spécificité culturelle classé le 5 mars 1996 comme patrimoine national.

Figure 34 : L'ancien Ksar de Témacine, Touggourt Ouargla
(Source : http://liberte-algerie.com/radar/ancien-ksar-abandonne-a-temacine-touggourt-231638)

Figure 33 : L'ancien Ksar de N'goussa
(Source :https://si.huffpost.com/gen/4151984/images/n-KSAR-DE-NGOUSSA-628x314.jpg)

3. Présentation de la ville :

Ouargla, porte du désert, à 845 km au sud d'Alger, célèbre oasis de plus d'un million de palmiers, une Wilaya saharienne située au sud-est à une distance de 800 Km d'Alger , limitée par les wilayas de Biskra et d'El Oued au Nord, d'Illizi et de Tamanrasset au Sud, de Ghardaïa et Djelfa à l'Ouest.

Figure 36 : Cartes Algérie, plans et maps des villes Algériennes
(Source :https://www.google.com/intl/fr/earth/)

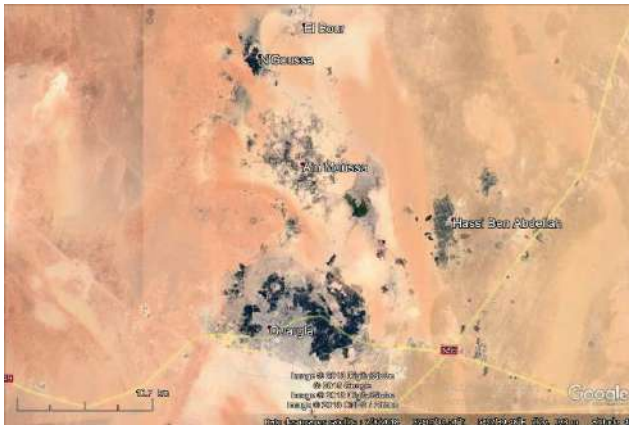


Figure 35: Vue aérienne sur la ville de Ouargla
(Source : www.carte-algerie.com)

« Antique cité saharienne localisée dans les bas-fonds salés de l'immense cuvette de Ouargla, dans le prolongement de la basse vallée de l'Oued Mya, le fleuve aux cent affluents, l'illustre Casbah de Ouargla (dénomination moderne) plus connue sous le nom de Ouardjelane (ibadhite), ou Ouargrène (berbère), est sans doute l'un des ksour les mieux enracinés dans l'histoire du Sahara »[53].

3.1 Limites de la ville :

La ville de Ouargla se limite par le grand Erg oriental à l'Est, et par les Hamadas à l'ouest, qui forment une enceinte naturelle à la ville en protégeant de ce qui l'entoure.

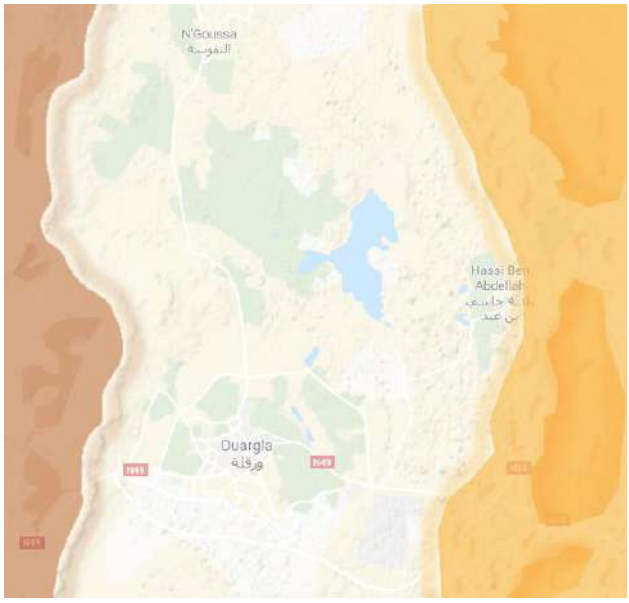


Figure 37: Les limites naturelles de la ville de Ouargla

(Source : https://www.google.dz/maps/place/Ouargla/)

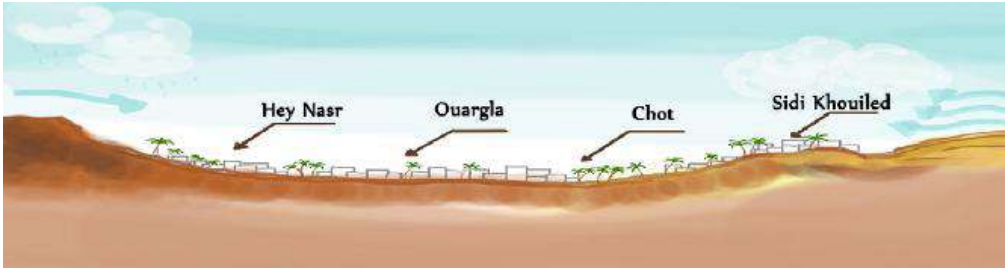


Figure 38: Coupe schématique limites naturelles de la ville

(Traitée par l'auteur. 2019)

[53] Manel Bouchemal, Salah Chaouche (2015) .La patrimonialisation d'un site suffit-elle à sauvegarder un lieu historique ? Cas du Ksar de Ouargla. Disponible sur : https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01237201/document consulté en février 2019.

3.2 Topographie :

Le relief de Ouargla est caractérisé par la prédominance des dunes. Il n'y a pas de plissement à l'ère tertiaire, si bien que le relief revêt fréquemment un aspect tabulaire aux strates parallèles.

3.3 Climat :

Ouargla a un climat désertique chaud (Classification de Koppën *BWh*) typique du désert du Sahara dans lequel elle se trouve. La ville possède des étés très longs et extrêmement chauds et des hivers courts et agréables. La chaleur prend un caractère persistant et désagréable en été avec des températures qui dépassent parfois les 49 °C. En moyenne, la ville de Ouargla connaît une température égale ou supérieure à 35 °C sur plus de 135 jours et 40 °C sur plus de 83 jours.

3.3.1 Les vents :

Les vents sont fréquents sur toute l'année, ils ont des vitesses moyennes très variables comprises entre 4,34 m/s au mois de Décembre et de 7,08 m/s au mois d'Avril.

Figure 39: Les vents chauds et froids qui fréquentent la ville
(Source : https://www.google.com/intl/fr/earth/)

3.3.2 Les précipitations :

Généralement, Les précipitations sont faibles et irrégulières, selon les saisons et les années. Le cumul annuel est de 57 ,14 mm pour la période (1996-2013).
Elles sont très faibles au mois de juin avec 0,39 mm et juillet avec 0,62. La période pluvial est très restreinte elle s'étale sur deux ou trois moins. Au mois de janvier enregistrée le maximum de 13,06 mm.

3.3.3 Humidité relative :

L'humidité de l'air est très sèche. L'humidité moyenne annuelle est de 42,05%. Elle varie d'une saison à autre de l'année, L'humidité maximum étant de 60,55% pour le mois de

décembre, et le minimum au mois de juillet avec 24,88% à cause des vents chauds et des fortes évaporations.

3.3.4 Insolation :

La durée moyenne d'insolation est d'environ 259,78 heures par mois, La durée maximale d'insolation est de 314,03 heures enregistrée au mois de juillet et un Minimum de 186,59 heures au mois de décembre.

4. Genèse et évolution de la ville[54] :

« Ouargla est une oasis qui s'étale dans l'ultime cuvette de loued Mya. C'est un centre de peuplement extrêmement ancien. Des traces les plus anciennes d'habitat, d'époque paléolithique ou épipaléolithi- que, apparaissent aux yeux des spécialistes, comme des habitats de bords de lagunes. Les nombreux ateliers néolithiques des gisements sur les berges des sebkhas se rattachent à une tradition capsienne et la beauté de certaines pointes de flèches avait attiré l'attention des archéologues dès la fin du xixe siècle.»

Malgré l'existence de nombreuses pièces de monnaies romaines retrouvées dans la région, aucune mention du nom de Ouargla chez les auteurs grecs et romains ce qui nous laisse supposer que des échanges ont eu lieu entre les provinces romaines de Numidie et d'Ifriquia.

«Dans un vieux document qui dit explicitement que Ouargla fut bâtie un peu au nord-est des ruines, il apparaît bien que le hameau de Sidi El Ouargli s'identifie à Taizir ou Teisir. La kouba de Sidi Hafiane borde un très vieux site berbère où d'antiques tombes ont été découvertes. »

4.1 Fondation de la ville :

Ibn Qoutayba écrivait à la fin du ixe siècle : «*les Louata, les Ouaraglan»... «La fondation et le développement de la ville, les Béni Ouargla, peuple zenatien descendant du Ferini, fils de Djana... de toutes ces tribus celle de Ouargla est maintenant la mieux connue»*.

[54] Mohamed CHABA (2002). Une vieille cité devenue métropole : Ouargla. Alger, Algérie. P_103. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/medit_0025-8296_2002_num_99_3, Consulté en mars 2019.

La ville prit naissance sur un plateau traversé par un «canal de Sedrata», autour du point d'eau et de la tombe de Sidi l'Ouargli (probablement la première personne ayant habité sur ce plateau).

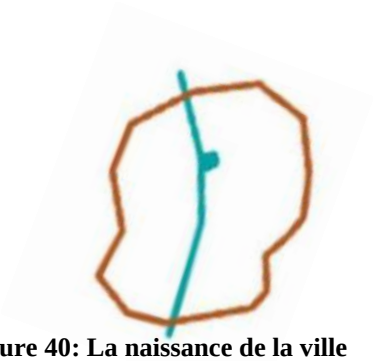


Figure 40: La naissance de la ville
(Source : Auteur.2019)

Des groupes ethniques se construisirent des habitations, embryons des trois quartiers de la future ville, Béni Brahim, Béni Sissine, et Béni Ouagguine dont chaque quartier a son propre oasis, où chaque communauté possède son quartier d'habitation, sa mosquée locale avec école coranique, ses deux portes et sa djemaa, lieu de réunion, et à l'extérieur, son cimetière et sa palmeraie.

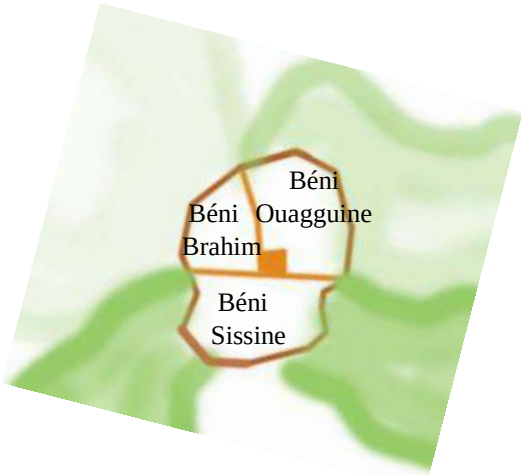


Figure 41 : Les groupes ethniques de la ville
(Source : Auteur.2019)

Tous les Ouarglis sont Zénètes et berbérophone, mais on distingue une certaine hiérarchie sociale : les Beni Brahim étant les plus nombreux et les plus aisés, les Beni Ouagguine étant les plus pauvres et les Beni Sissine dépossédés d'une partie de leur territoire, souvent anciens khammès.

Le tracé de la ville de Ouargla centré sur le vieux marché était influencé par les portes de l'enceinte qui entoure la ville, dont chacune de ses portes donnait sur la piste de la ville la plus proche (Ghardaïa, N'goussa, El-Goléa).

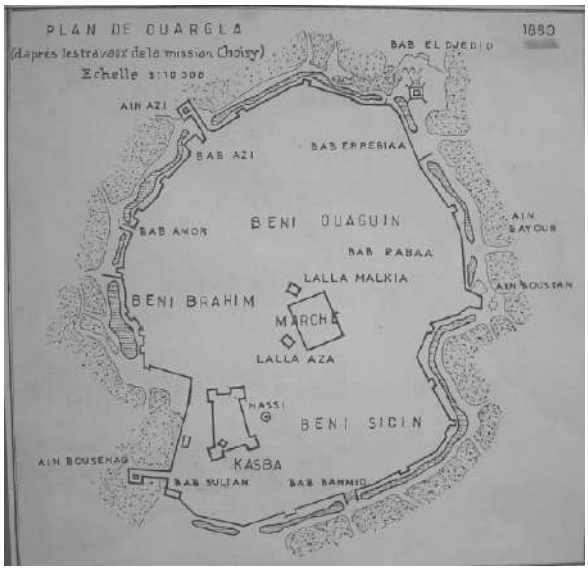


Figure 42 : Premier plan de Ouargla 1880
(Source : www.delcampe.net)

Figure 43 : Vue générale sir le ksar
(Source : www.delcampe.net)

À la fin du xive siècle Ibn Khaldoun décrit : *«de nos jours la ville de Ouargla est la porte du désert par laquelle les voyageurs qui viennent du M'Zab doivent passer quand ils veulent se rendre au Soudan avec leur marchandise».*

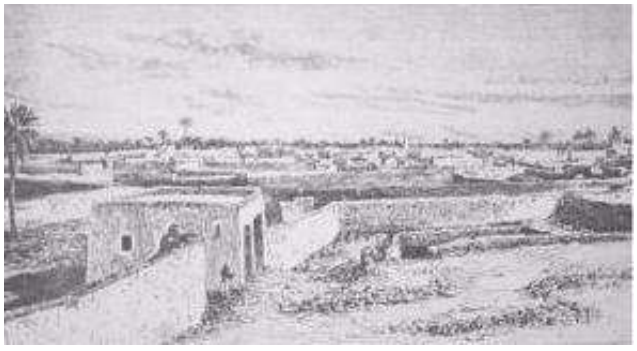


Figure 46 : Le Ksar vue de la Casbah, Largeau 1874-1878
(Source : http://ouargla.free.fr/5.html)

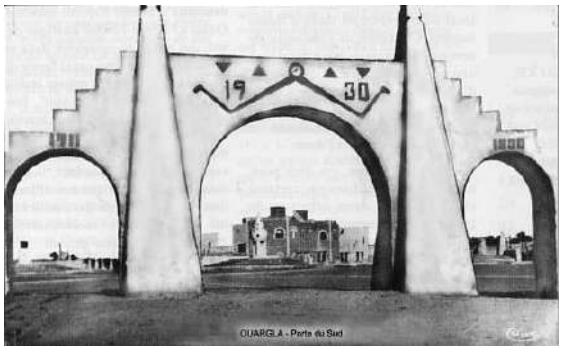


Figure 45 : La porte sud du ksar
(Source : https://jeanyvesthorrignac.fr/wa_files/info_380_20 Ouargla.pdf)

Figure 47 : Vue qui montre le positionnement du
(Source : www.decampe.net)

Figure 44 : Marché au bois
(Source : www.decampe.net)

4.2 La conquête française :

- **1887-1927: Période de la Construction et la superposition sur et dans le Ksar :**

La conquête française a commencé par la pénétration coloniale au ksar sous l'ordre du Général Lacroix Vaubois à travers la réalisation d'une percée effectuée sur les maisons de Béni Sissine aux bordent de la Casbah, qui a donné naissance à la rue dite « Rivoli » qui donne accès à la place dégagée du marché afin d'assurer une défense plus aisé.

- **Prémices d'un urbanisme moderne (opération Carbillet, 1927-1930) :**

L'étalement français s'est effectué à l'extérieur du ksar en 1927 par la création de l'axe Laperrine parle Colonel Carbillet : «*Lorsqu'il arrive à Ouargla, il n'existait en dehors du ksar que le bordj Chandez, le bordj Luthaud et le bordj du Génie, tous 3 situés au sud de celui-ci*» (Humbert, 1997). Nouvelle ville moderne selon une trame en damier était construite sur un terrain vierge, d'où les bâtiments étaient dispersés selon trois bordj, la déférence entre la typologie et la morphologie était remarquable.

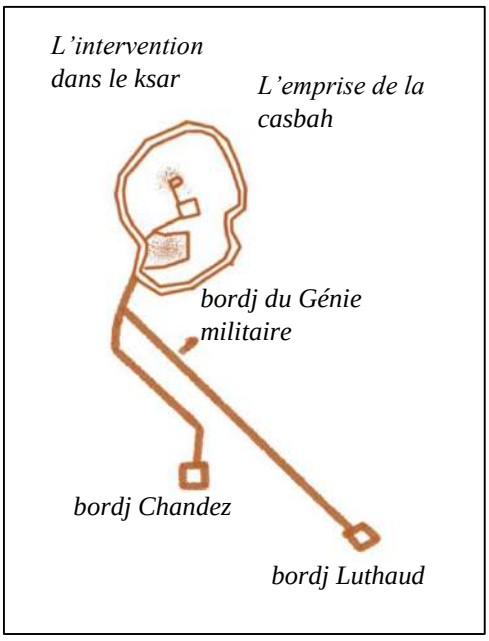


Figure 48: Les prémices de l'urbanisme moderne
(Source : Auteur.2019)

Figure 50: Bordj Lutaud
(Source : www.decampe.net)

Figure 49: L'urbanisme moderne
(Source : www.decampe.net)

- **Période 1940-1960 : mirage du pétrole et phénomène de sédentarisation :**

Construction des nouvelles cités destinées à accueillir les civils français(la cité Sélice) selon la charte d'Athènes après 1940 suivant le plan tracé par le colonel Carbillet.

Apparition des nouveaux quartiers nomades (Beni Thour, Mekahadma, Saïd Otba…) au sud de la ville coloniale comme résultat de la sédentarisation progressive. Ces agglomérations vont donner naissance à une structure lâche et un nouveau caractère morphologique et typologique propre, avec l'apparition de nouveaux équipements à caractère occidental comme résultat de la pénétration coloniale.

Figure 51 : L'église catholique
(Source : http://diaressaada.alger.free.fr/k Eglises/eglises-alger.html)

Figure 52 : L'école des pères blancs
(Source : http://tenes.info/nostalgie/OUARGLA)

- **Période 1960-1978 : poste indépendance :**

Les recherches de l'exploitation pétrolière de Hassi-Messoud étaient le premier facteur de développement de la ville, face à un faible rapport de l'agriculture et de l'élevage.

Cette période était caractérisée par une urbanisation rapide à cause de la sédentarisation de population venant d'autres régions, une promotion administrative après 1966, une polarisation urbaine et un développement urbain depuis 1978.

5. Etude architecturale :

5.1 Ouargla la ville protégée :

Un positionnement stratégique comme un véritable carrefour commercial et culturel d'importance régionale et africaine.

Le ksar de Ouargla est le plus enraciné dans l'histoire du Sahara, ce dernier et protégé par une enceinte de sept portes séculaire : Bab Amor, Bab Ami, Bab Bouchak, Bab El Boustène, Bab El Khoukha (Rabaa), Bab Azzi et Bab Errabia, dont chacune d'elle avait son gardien qui la ferme le soir.

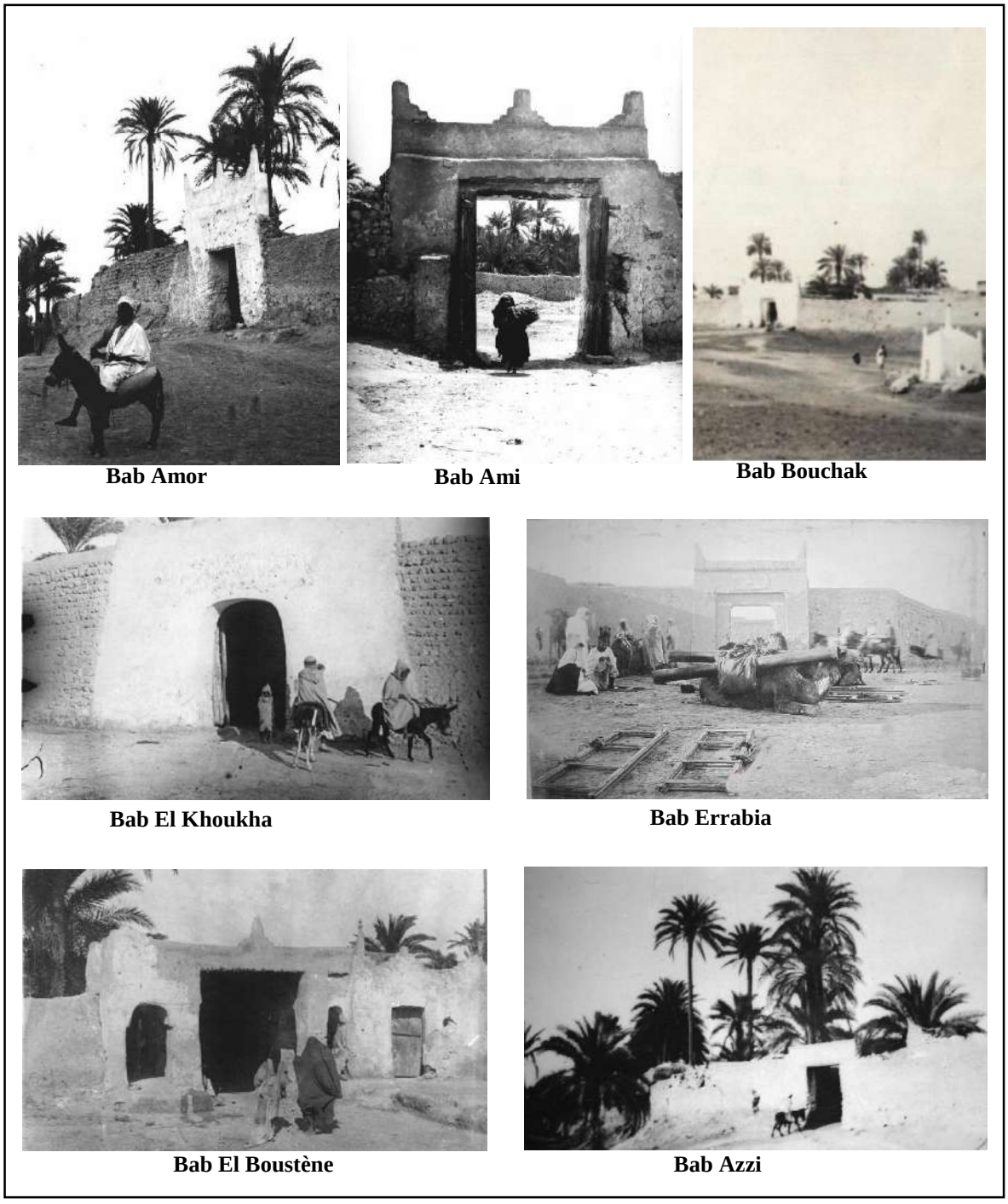


Figure 53 : Les portes du ksar

(Source : www.decampe.net)

5.2 Ingénierie urbaine :

La particularité et l'importance de la taille, la complexité, l'originalité, l'organisation urbaine et l'intérêt historique du ksar ont fait de ce dernier un patrimoine national.

C'est le produit de toute une civilisation qui a vécu la région depuis des siècles, ce dernier se présente comme un témoigne de la capacité d'adaptation de l'homme à son milieu naturel (l'hostilité du climat, l'aridité du milieu).

Un génie urbain et architectural comme résultat d'une richesse culturelle et artistique, un savoir-faire d'une population, des pratiques religieuses, une diversité ethnique et une organisation sociale.

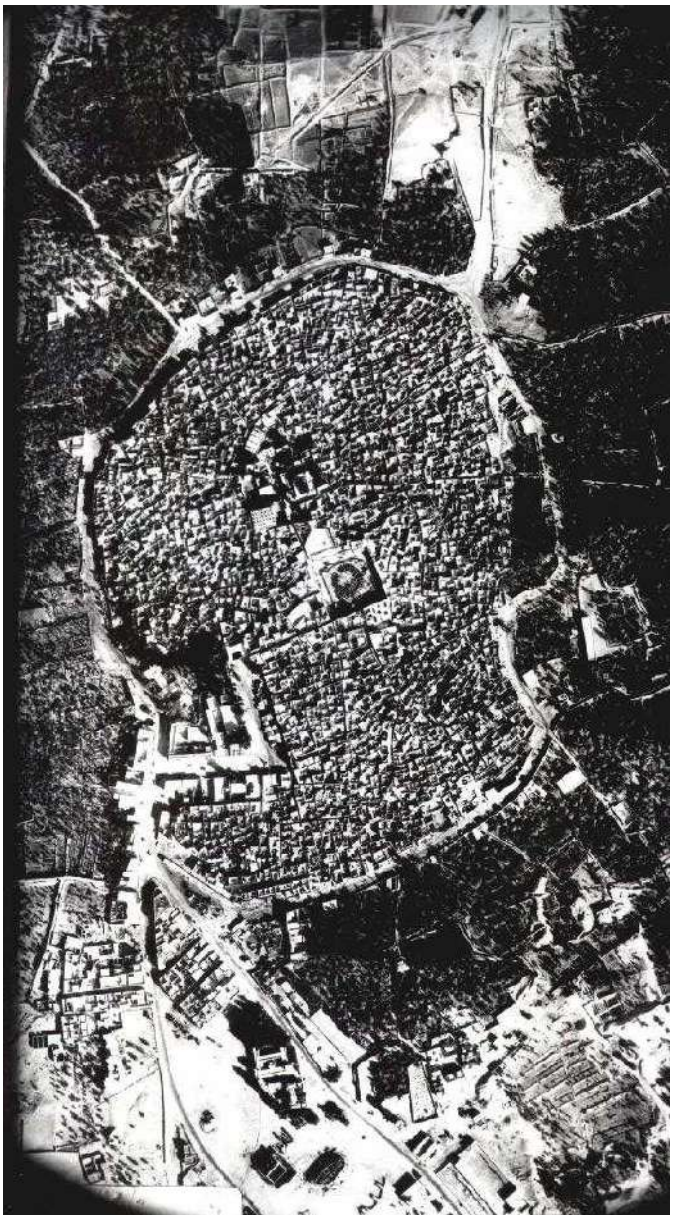


Figure 54: Vue aérienne sur l'ancien le ksar de Ouargla
(Source : www.decampe.net)

Comme tous les ksour, celui de Ouargla fait partie d'un ensemble complexe intégrant les systèmes d'irrigation et la palmeraie, où on peut remarquer la continuité de la trame bâtie vers la trame agraire.

Le ksar se repose sur une superficie de 30 ha intra-muros habitée par une population estimée à 10 000 âmes occupant 2 400 habitations. Le boulevard qui l'entoure occupe le site des anciens fossés, comblés en 1881, lors d'une touiza, limité par des contours circulaire. Le plan est original, il n'est ni circulaire ni radioconcentrique, centré par la place du marché de plan carré, avec une construction qui semble postérieure à l'ensemble du réseau urbain[55] (figure 55).

[55] Salima RAYANE KADRI, Salah CHAOUCHE et Amina Hadia BENAMEUR(2016) .Quelles formes de réhabilitation pour le ksar d'Ouargla ? Des objectifs urbains, patrimoniaux et sociaux. Algérie. P_133. Disponible sur : https://cahiers.crasc.dz/pdfs/2016_ksour_kadri.pdf (Consulté en juin 2019).

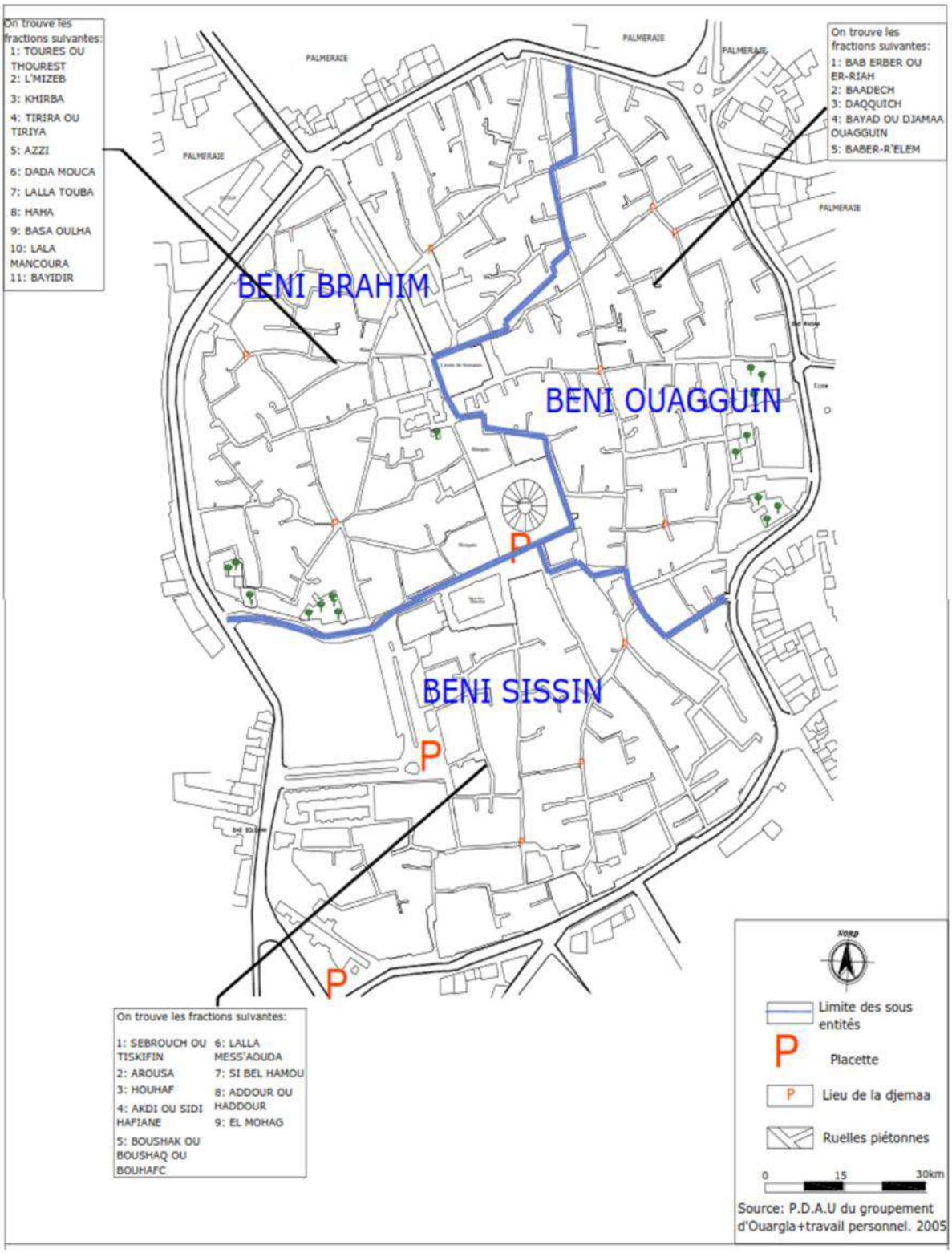


Figure 55 : Le ksar hiérarchie des éléments morphologique de communication sociale

(Source : Kadri S., 2007)

Le quartier Beni Brahim est plus étendu et complexe, où se trouve les grands équipements : le Vieux Marché, les deux grandes mosquées, Lalla Malkiya (rite malékite) et Lalla Azza (rite ibadite), ainsi que la mosquée Abou Zakariya (1230).

Beni Ouagguine est le seul quartier à abriter de grands jardins, Beni Sissine est le moins structuré, ce dernier s'ordonne autour de deux grandes rues parallèles a été tronqué à l'Ouest par les destructions de 1872[56].

Le schéma des rues sinueuses et profondes conçues comme une solution adaptée afin de procurer de l'ombre et éviter les radiations solaires intense et les vents indésirables (couloir du vent). Le croisement de ses ruelles s'élargissent brusquement pour former une place, appelée « *la djamaia* »,

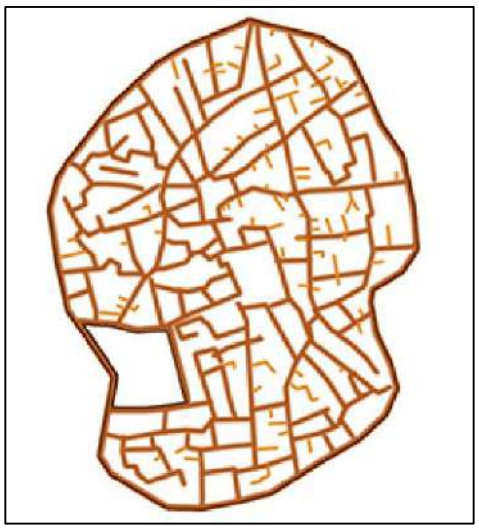


Figure 56 : Le réseau viaire du Ksar
(Traitée par l'auteur.2019)

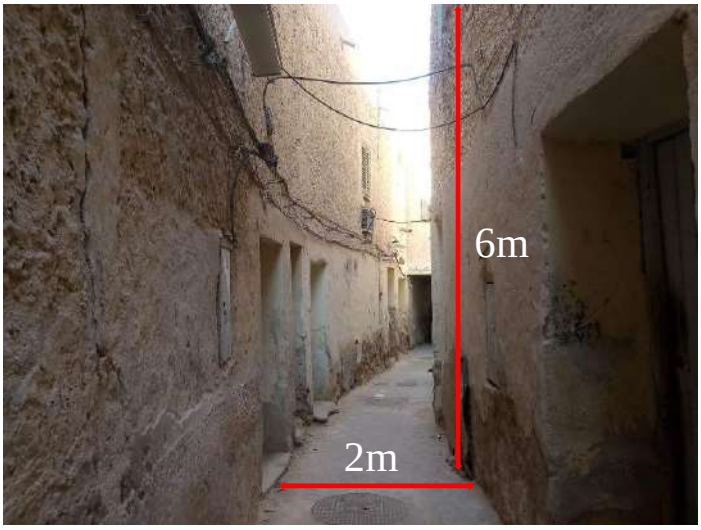


Figure 57 : La ruelle du Ksar
(Source Auteur.2019)

L'entrée de la maison et le seuil possède deux portes d'entrée, la principale « tawurt n imi n ahtuba », ou celle qui mène au niveau supérieur à partir de la rue, destinée à l'accueil des invités masculins.

La porte familiale dite aussi porte du dehors « tawurt n'uglad », Le seuil ou « *el-Atba* » est un élément marquant le franchissement et la discontinuité entre extérieur et intérieur.

[56] Salima RAYANE KADRI, Salah CHAOUCHE et Amina Hadia BENAMEUR (2016) .Quelles formes de réhabilitation pour le ksar d'Ouargla ? Des objectifs urbains, patrimoniaux et sociaux. P_135. Disponible sur : https://cahiers.crasc.dz/pdfs/2016_ksour_kadri.pdf Consulté en juin 2019.

Figure 58 : La porte familiale des Ksour
(Source : Auteur.2019)

Figure 59 : L'entrée des maisons
(Source : Auteur.2019)

5.3 Typologie du Ksar :

La morphologie des maisons s'étale sur le plan horizontal ayant un étage au plus, ce qui forme une bande des constructions collées les unes aux autres formant une masse compacte et homogène.

Figure 60 : La morphologie du Ksar
(Source : https://www.google.com/intl/fr/earth/)

Tout établissement humain traditionnel est organisé selon une hiérarchie des espaces correspondant à la privatisation des rapports humains. D'où la place représente l'élément central de la vie publique, et la pièce dans la maison constitue le dernier degré d'intimité.

La maison Ouarglie est une maison saharienne typique, de forme rectangulaire, plus profonde que large à cour intérieure et à terrasse, avec une façade aveugle qui donne sur la rue.

Les patios des maisons sont quasi fermés, les toitures en terrasses et les jeux de volumes sont les facteurs qui marquent la particularité de la région chaude aride.

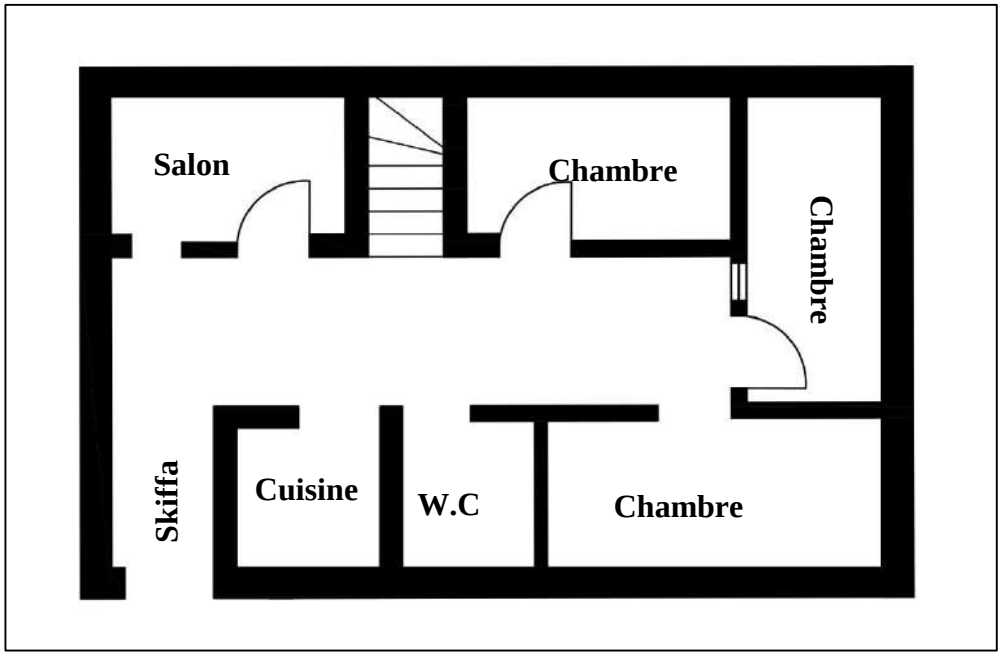


Figure 61 : L'organisation spatiale de la maison du ksar. Ech : 1/100
(Relevé établi par l'auteur.2019)

a- Askif : *« Taskift »* :

Entrée en chicane, l'espace le plus frais de la maison, conçue pour préserver l'intimité du groupe des regards étrangers.

b- Le patio *« Ammisidar »* :

Autour cet espace s'organise les pièces et les sanitaires de la maison, il est toujours rectangulaire est protégé par des hauts murs.

c- La cuisine *« Tacousint »*

Un espace destiné à la préparation des repas, possède une cheminée, la cuisson se faisait au bois sur âtre disposé au coin.

d- La chambre d'invité

Située près de l'entrée est grande utilisée pour recevoir les invités,

e*- La chambre *« lakoumar »

C'est une pièce (espace) destiné et organisé pour la fonction nuit.

f- Les sanitaires « Gouma »

Une petite pièce d'une petite hauteur.

Figure 62 : La maison organisée autour une cour intérieure

(Source : Auteur.2019)

g- Les terrasses :

La terrasse est accessible par les escaliers dotée des murets, « *imzargən* » pour l'intimité, la protection, cette dernière contient un puits de lumière qui éclaire la maison, elle est utilisée pour sécher les dattes.

Figure 63: Exemples des terrasses

(Source : OGEBC Ouargla, 2013)

5.4 Une architecture bioclimatique :

Les chambres organisées autour du patio en relation directe avec lui et constituent l'espace fermé le plus retranché de la maison qui assure les relations horizontales entre les différents espaces qui composent la maison.

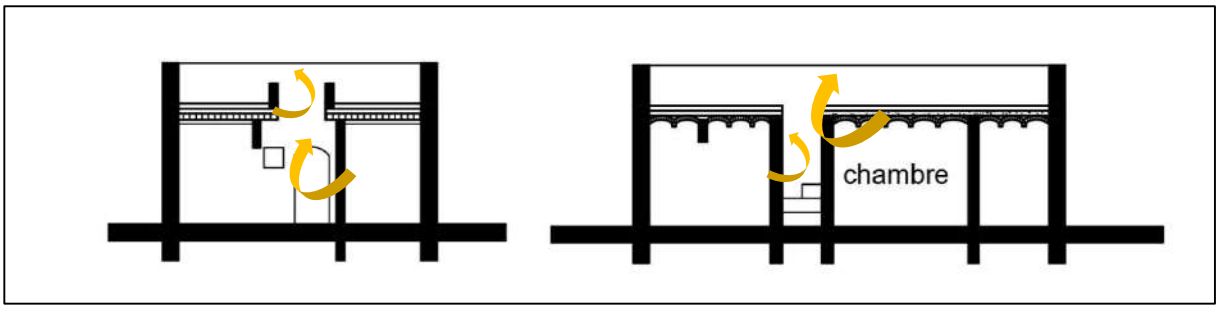


Figure 64 : Coupes qui montrent la ventilation naturelle assurer par le patio et l'escalier.
Ech : 1/200
(Source : Auteur.2019)

Le confort thermique au niveau de l'habitation se traduit par un mode d'organisation introvertie organisé autour un patio « *Ammisidar* », ce dernier a une forme géométrique rectangulaire et se présente comme un atrium avec une partie à ciel ouvert qui garantit l'éclairage et la ventilation des pièces.

La terrasse, l'espace le plus ouvert de la maison Ouarglie, très exposée aux radiations solaire de la journée, sa protection partielle selon la trajectoire du soleil est assurée par la projection de l'ombre des murets qui la bordent et le jeu de volume des constructions voisines, qui vont démunir l'effet de la transmission de la chaleur vers l'espace intérieur.

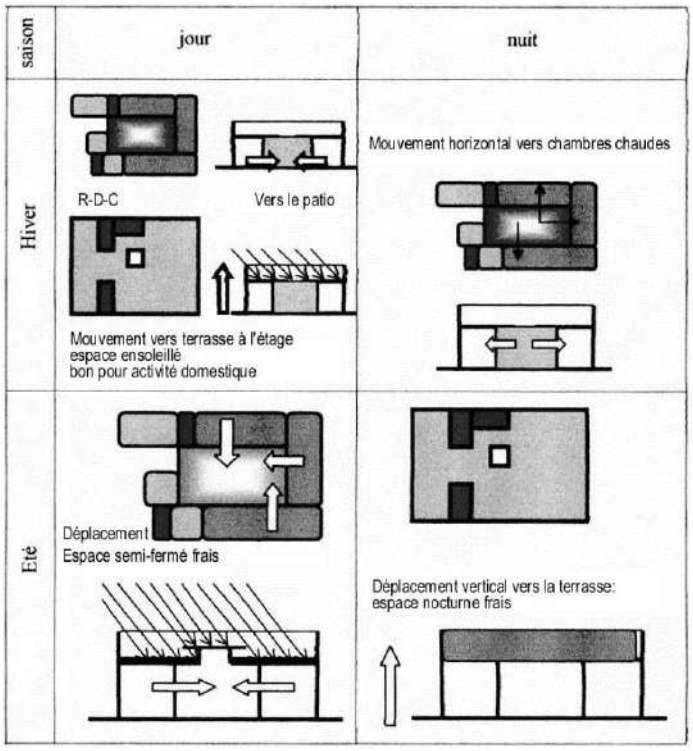


Figure 65 : Nomadisme journalier et saisonnier dans la maison

(Source : INVESTIGATION SUR L'INTEGRATION CLIMATIQUE DANS LA MAISON TRADITIONNELLE DU KSAR DE OUARGLA. Science et technologie B-N21. de S ABDOU - 2004.P_125)

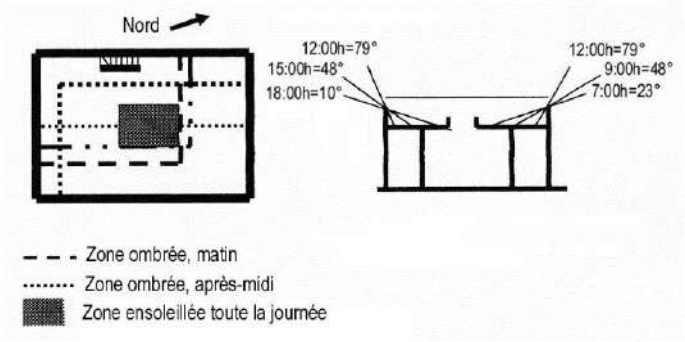


Figure 66: Projection de l'ombre sur la terrasse (23 juillet, 31°Nord)

(Source : INVESTIGATION SUR L'INTEGRATION CLIMATIQUE DANS LA MAISON TRADITIONNELLE DU KSAR DE OUARGLA. Science et technologie B-N21. de S ABDOU - 2004.P_125)

6. Les éléments architectoniques :

6.1 Les ouvertures :

a- Les portes :

La porte est construite en bois, d'où le linteau fait en morceaux de tronc de palmiers découpés, avec une largeur d'environ 0,80 m et une hauteur de 1,70 à 1,80 mètre (figures 67, 68,69).

Figure 69 : Porte familiale

(Source : Auteur.2019)

Figure 68: Porte extérieure

(Source : Auteur.2019)

Figure 67 : Porte à encadrement en un arc en plein cintre

(Source : Auteur.2019)

b- Les fenêtres :

On trouve l'utilisation des fenêtres à volets et cadre en bois, de forme rectangulaire de petites dimensions (50x60 cm) leur linteau est en morceau de troncs de palmier.

Ces dernières se trouvent au niveau des chambres sur terrasses, avec la présence des petites ouvertures qui donnent sur le patio de la maison.

Figure 70 : Les fenêtres

(Source : Auteur.2019)

c- Les ouvertures d'aération :

Figure 71 : Dispositif des petites ouvertures à différentes formes et dimensions pour la ventilation des pièces

(Source : Auteur.2019)

d- La « rozna », puits de lumière :

Une ouverture horizontale dans le plancher terrasse qui surplombe le patio, entourée d'un muret de hauteur limitée qui assure la protection contre les eaux de ruissellement ou les chutes des personnes. Sa mise en œuvre consiste à interrompre le plancher et y interposer des poutres en bois, selon des dimensions proportionnelles à celle de la maison.

Figure 72 : La « *rozna* », puits de lumière
(Source : OGEBC Ouargla, 2013)

6.2 La cheminée :

La cheminée se trouve au niveau des pièces de séjour ou dans la cuisine pour en servir d'hotte, construite avec des matériaux locaux (pierre et timchent).

Figure 73 : Exemples de le cheminés
(Source : OGEBC Ouargla, 2013)

6.3 Les Dispositifs de rangement :

La plus part sont sous forme des niches confectionnées dans les murs des espaces intérieurs comme des lieux de stockage de denrées, parfois ces dispositifs jouent le rôle des étagères. Au niveau des murs extérieurs la niche ou la logette « əlkiwət » avec un gabarit plus petit, selon Delheure (1973), dédiée à signaler un marabout et où on fait bruler des mèches imbibées d'huile.

Figure 75 : Exemple de logette
(Source : Auteur.2019)

Figure 74 : Des niches aux murs
(Source : Auteur.2019)

6.4 Les éléments de structure urbaine et mobilière :

Des passages couverts marqués par des tirants en tronc de palmiers et des encorbellements maçonnés construits avec les mêmes techniques et matériaux à ceux du bâti (figure75), une hiérarchie spatiale qui contribue au microclimat.

Figure 76 : Les passages couverts au niveau du Ksar
(Source : Auteur.2019)

«əddukkan » ou le banc maçonné l'un des mobiliers urbain du ksar, placés à l'ombre des couloirs frais sous les passages couverts (figure 77).

Figure 77 : Les bancs maçonnés

(Source : Auteur.2019)

6.5 Les éléments décoratifs :

a- Le signe TANIT :

Les décorations traditionnelles des portes de maisons sont remarquées par tous les visiteurs de Ouargla en 1856, dans la revue « le Magasin Pittoresque » p.336 « Oasis de Ouargla » on lit : « *les habitations …offrent cette particularité que toutes leurs portes d'entrée sont surmontées d'ornements en terre d'un relief grossier en mêlés de morceaux de faïences colories* ».

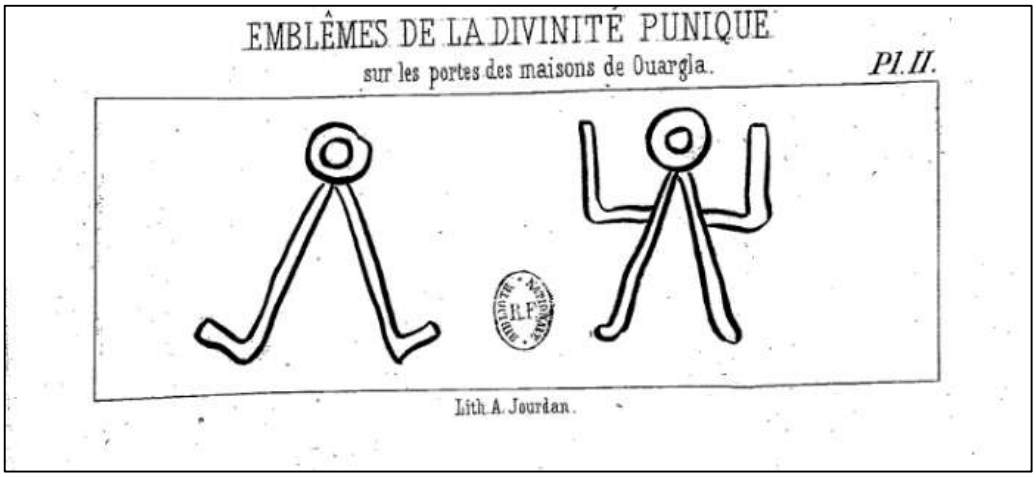


Figure 78 : La décoration traditionnelle des maisons, source : pointes de flèches en silex de Ouargla.Ch.Féraud

(Source : http://revueafricaine.mmsh.univ-aix.fr/Pdf/1872_092_003.pdf)

« Ces décoration semblent bien s'apparenter aux traditions de Carthage (814 à 146 avant l'ère chrétienne) où le signe de TANIT est celui de protectrice des femmes et des maisons. Ce serait donc un héritage bien antérieur au christianisme et à l'islam »[57].

Cela montrerait l'ancienneté de la population Ouarglie et de ses traditions culturelles.

« *Tanit occupe la première place (religieuse) à Carthage. Sous l'influence du culte méditerranéen de la déesse-mère, elle a été identifiée à Héra, déesse de la fécondité, protectrice des moissons et des accouchements. Elle est par ailleurs, liée à Diane-Artemis, maîtresse de la lune, déesse de la nature sauvage et protectrice des femmes. Aucune statue ne la représente explicitement, mais des milliers de stèles qui lui sont consacrées portent le « SIGNE DE TANIT », le plus célèbre des symboles carthaginois. C'est un triangle ou un trapèze surmonté d'une barre aux extrémités et d'un disque, l'ensemble évoquant une silhouette humaine aux bras levés.* »[58]

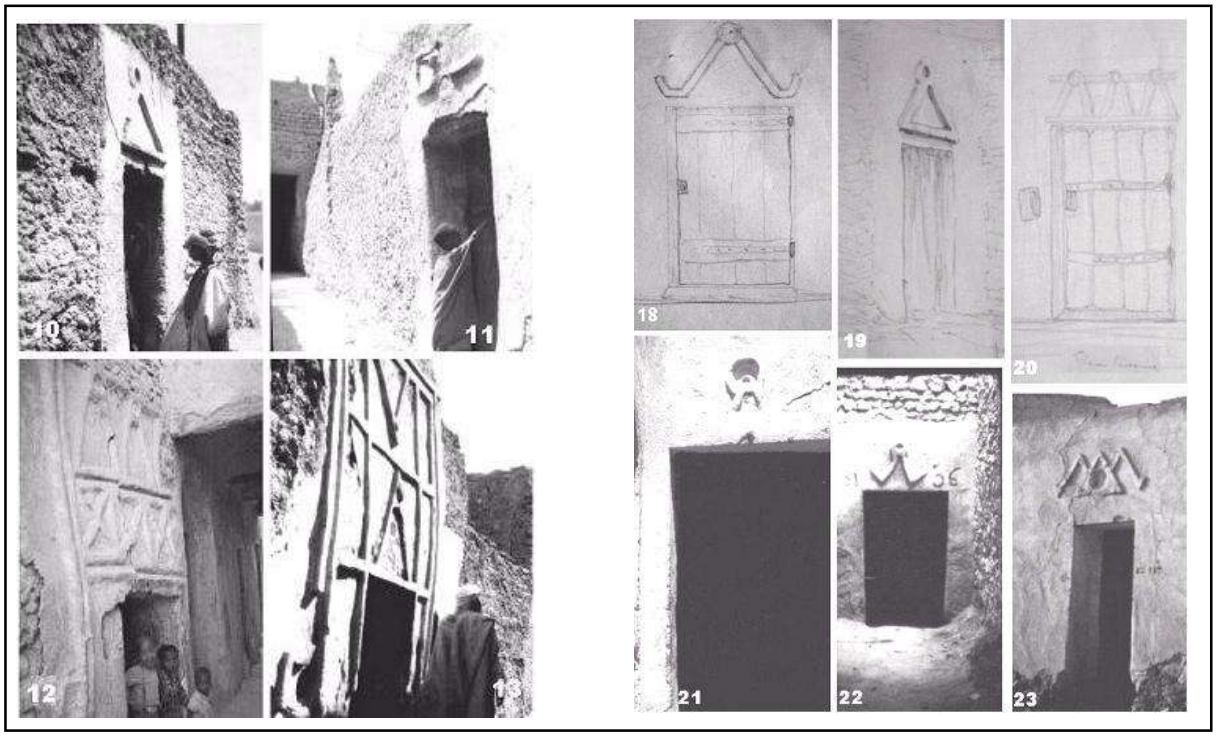


Figure 79 : La décoration traditionnelle des portes

(Source : http://ouargla.free.fr/3.html consulté en juillet 2019)

[57] Association du Ksar pour la culture et l'Islah avec Denys Pillet et Joseph Tawaf (2003).Une oasis saharienne à travers l'histoire OUARGLA 180 document et archives. P_15.

[58] Nacera Benseddik (1991). Les religions du Maghreb antique. Revue Athar n°3 de l'Association Algérienne pour la sauvegarde et la promotion du patrimoine archéologique.

Figure 80 : la décoration traditionnelle des murs

(Source : www.decampe.net)

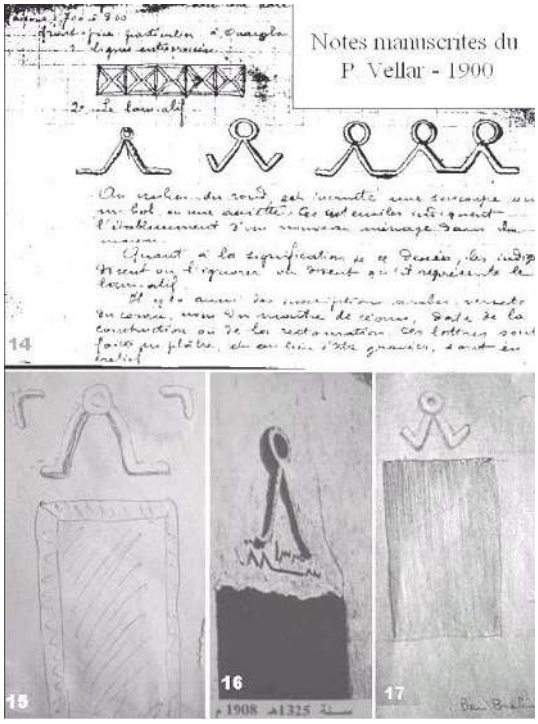


Figure 81 les notes de manuscrites du P.Valler-1900

(Source : http://ouargla.free.fr/3.html consulté en

Figure 82 : décoration des murs

(Source :Auteur. 2019)

Figure 83 : Le triangle comme motif de décoration

(Source :Auteur. 2019)

b- Le signe Khamsa ou « lam alif » :

Un symbole de la main qui signifie la protection contre le mavais œil.

Figure 84 : le signe lam alif qui surmonte les portes d'entrée
(Source :Auteur. 2019)

7. Etude constructives du Ksar

7.1 La pierre :

Dite pierre de Ouargla, utilisée depuis le huitième siècle pour bâtir les maisons et les édifices publics, de couleur tendant vers le rouge « adyay azəggay » de bonne qualité (figure85). Ces gros blocs de dimensions variables sont utilisés dans les murs, les fondations, ils présentent des caractéristiques indéniables de résistance mécanique, d'isolation phonique et thermique.

Figure 85 : La pierre de Ouargla « hadjret Ouargla »
(Source : Auteur.2019)

7.2 Le bois :

Les palmiers offrent le bois de construction, ces troncs sont utilisés comme des éléments poutrelles. Le bois acheminé de la palmeraie et généralement abattu, taillé et travaillé par des bûcherons après laissé trempés dans de l'eau puis séchés pour être bons à utiliser dans les constructions. On utilise des vieux palmiers ou ne donnant pas de fruits.

Figure 86 : Poutrelle en tronc de palmier dans la maison
(Source : Auteur.2019)

Figure 87 : Une poutre en tronc de palmier au niveau du passage couvert
(Source : Auteur.2019)

7.3 Le toub :

Touba l'un des matériaux les plus anciens en zones sahariennes, une brique d'argile et de sable séchée au soleil sans adjuvant stabilisateur ou liant, souvent armée de fibres végétales (Paille, hachures de palme), c'est un matériau très avantageux : économie, isolation thermique.

Figure 88 : La Touba « hadjret El-toub »
(Source : Auteur.2019)

7.4 Le timchent :

Le sol donnant la pierre de Ouargla « adyay » qui est à l'origine du plâtre local «timšənt» ou timchent obtenu par l'opération de cuisson de la pierre dans un four, l'installation des fours à plâtre se fait à proximité du site d'extraction de la pierre locale hourdée au timchent.

Le timchent obtenu est sous forme de poudre pouvant contribuer à son adhérence surtout en tant que revêtement mural.

Figure 89: Pierre cuite et produit obtenu « timchent »
(Source : Auteur 2019)

7.5 Les techniques constructives :

Le système constructif ksourien de Ouargla se caractérise par une grande simplicité : Des murs porteurs en pierre, des fondations du type filant.

7.5.1 Les fondations :

La fondation filante réalisée en moellons hourdées au timchent avec une largeur de 0.50m. Les pierres dures de grand gabarit sont les préférées pour les fondations.

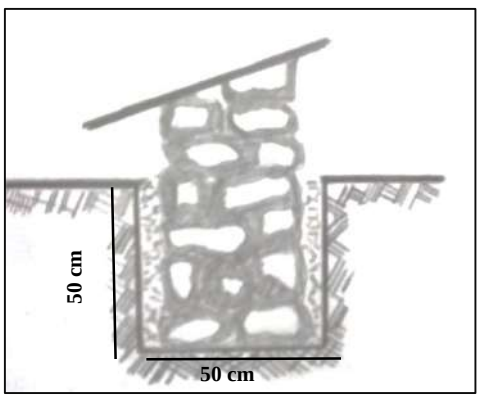


Figure 90 : Coupe d'une fouille et fondation de mur en pierres hourdées
(Source : Auteur.2019)

7.5.2 Les murs :

Les murs « *imuran* » sont porteurs à deux types : extérieur et intérieur d'où on remarque que les murs de l'étage sont moins large que ceux du RDC puisque ils supportent que leurs poids et le poids de planchers terrasse.

Figure 91 : Mur porteur extérieur et intérieur
(Source : Auteur.2019)

Figure 92 : Mur porteur intérieur
(Source : Auteur.2019)

Les murs sont construits avec des pierres de forme irrégulière de tout gabarit liées avec un mortier de timchent. L'épaisseur des murs est de 0.4-0.5 m avec une hauteur entre les 2 à 3 m. On remarque l'utilisation des pierres les plus grandes et solides (30 à 40cm) pour les soubassements.

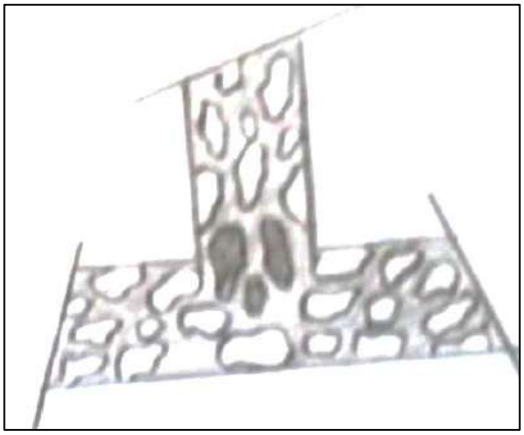


Figure 93 : chainage d'angle
(Source : Auteur.2019)

7.5.3 Les planchers :

Les planchers sont à voutains « tikərbas » de petites pierres liées au timchent et à solive en troncs de palmiers.

Figure 94 : Plancher en voutain qui couvre un passage urbain

(Source : Auteur.2019)

Figure 95 : Plancher en voutain d'une maison

(Source : Auteur.2019)

La structure du plancher constituée de solives, un corps en voutains composé de moellons noyés dans du mortier « timchent » pouvant atteindre 20 cm d'épaisseur et un revêtement au même plâtre, formant une couche de 5cm au minimum.

L'entrevous est formé d'un arc (surbaissé), le vide entre sa base et son sommet ne dépasse pas les 10cm.

La liaison entre le plancher et le mur est assurée par le bais des solives en bois posées à équidistance, parallèlement aux solives le corps du plancher (les deux voutains d'extrémités) reposent sur les murs latéraux.

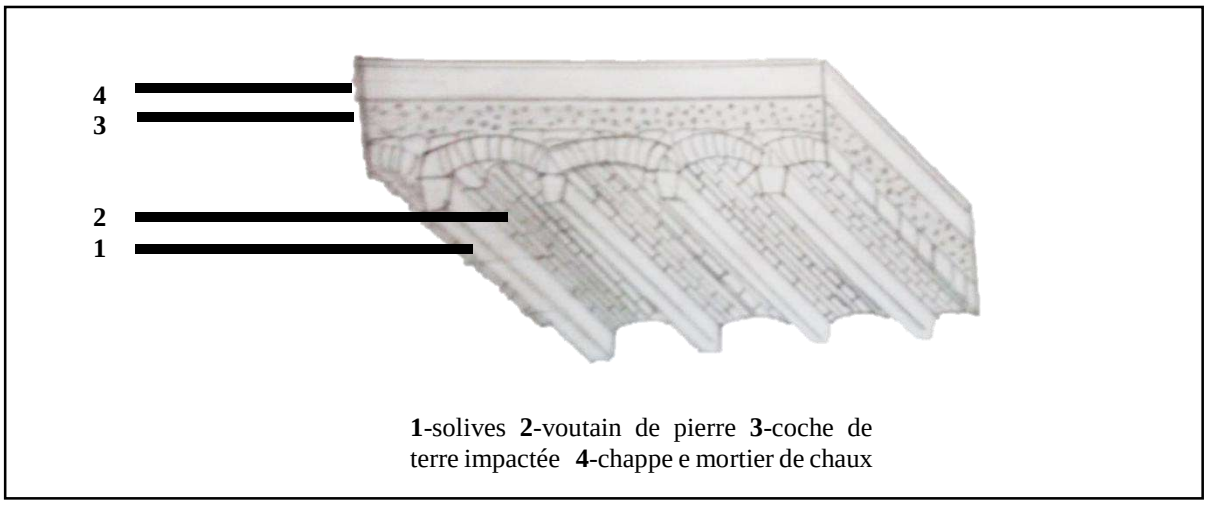


Figure 96 : Consistance d'un plancher à voutains de pierres, et revêtement en terre et chaux

(Source : Auteur. 2019)

Les couvertures des planchers terrasses ont une épaisseur plus grande de par la couche d'étanchéité et la forme de la pente nécessaire pour l'évacuation, en gardant les mêmes consistances et caractéristiques des planchers intermédiaires.

7.5.4 Les arcs et les voutes :

Les arcs « *laqwas* » et les voutes « *tikərbas* » peuvent exister comme éléments architecturaux dans la construction. Ces derniers sont conçus pour matérialiser ou couvrir un espace, où on remarque la construction des coupoles au niveau des édifices publics religieux.

Les voutains *« tikərbas »* sont construites en pierres liées au timchent et à solives en troncs de palmier fendus en deux ou en trois dans le sens de la longueur, avec une épaisseur moyenne de 30 cm.

Figure 98 : L'arc au niveau des passages

(Source : Auteur.2019)

Figure 97 : L'arc au niveau d'une impasse

(Source : Auteur.2019)

Figure 100 : La voute au niveau d'une ruelle

(Source : Auteur.2019)

Figure 99 : la coupole au niveau de la mosquée

(Source : Auteur.2019)

7.5.5 Les revêtements :

Les murs extérieurs et intérieurs des ksour sont enduits au mortier de timchent, tamisé et appliqué à la main ou avec autre dispositif avec une épaisseur minimale de 2 cm.

Figure 102 : Revêtement des murs extérieurs
(Source : Auteur.2019)

Figure 101 : Revêtement des murs intérieurs
(Source : Auteur.2019)

7.5.6 Les escaliers :

Le sol constitue le support des escaliers au niveau de RDC et à l'étage ils s'accrochent aux murs. Les escaliers sont construits en pierre liée avec un mortier de timchent, la technique de sa construction consiste à poser comme paillasse un long madrier fait de tronc de palmier, où cette dernière supportera le corps de l'escalier qui peut être droits ou balancés.

Figure 104 : Exemple d'un escalier
(Source : Auteur.2019)

Figure 103 : Structure apparente d'escalier sur paillasse en bois
(Source : Auteur.2019)

8. Conclusion :

Le ksar de Ouargla, l'un des plus beaux ksour du Sahara, qui constitue un patrimoine millénaire enraciné dans l'histoire de la région.

Ce chapitre a eu pour but la présentation de la culture constructive traditionnelle du ksar de Ouargla, à travers l'étude architecturale et la décortication du système constructif de ce patrimoine. Ces éléments de construction et ces matériaux utilisés : murs, planchers, pierre, bois …constituent les surfaces d'échange soumises au rayonnement solaire, à la pluie, aux effets du vent, le comportement thermique des unités d'habitation fonctionne selon les caractéristiques thermo physiques des matériaux de construction utilisés.

La particularité du contexte réside dans le savoir-faire des anciens habitants, leurs connaissances et leurs maîtrises de cet art de bâtir local.

Chapitre II :

La réhabilitation du Ksar de Ouargla :

1. Introduction :

Ouargla maitrise moins en moins son patrimoine architectural, malgré la valeur historique et culturelle du ksar qui reflète l'authenticité de sa population, il connait une dégradation menacée causé par les interventions improvisés de sa population et la manque d'entretien, d'où ses remparts, ses portes, ses ruelles étroites et ses maisons à moitié effondrées témoignent de sa richesse patrimoniale et de ses valeurs architecturales et historiques.

Les interventions effectuées par les habitants ont fait garder l'ossature du ksar, tout en oubliant son authenticité, son âme et son identité, où il continu à être ravagé par le béton, et perdre ses critères de classement comme patrimoine national, et secteur sauvegardé.

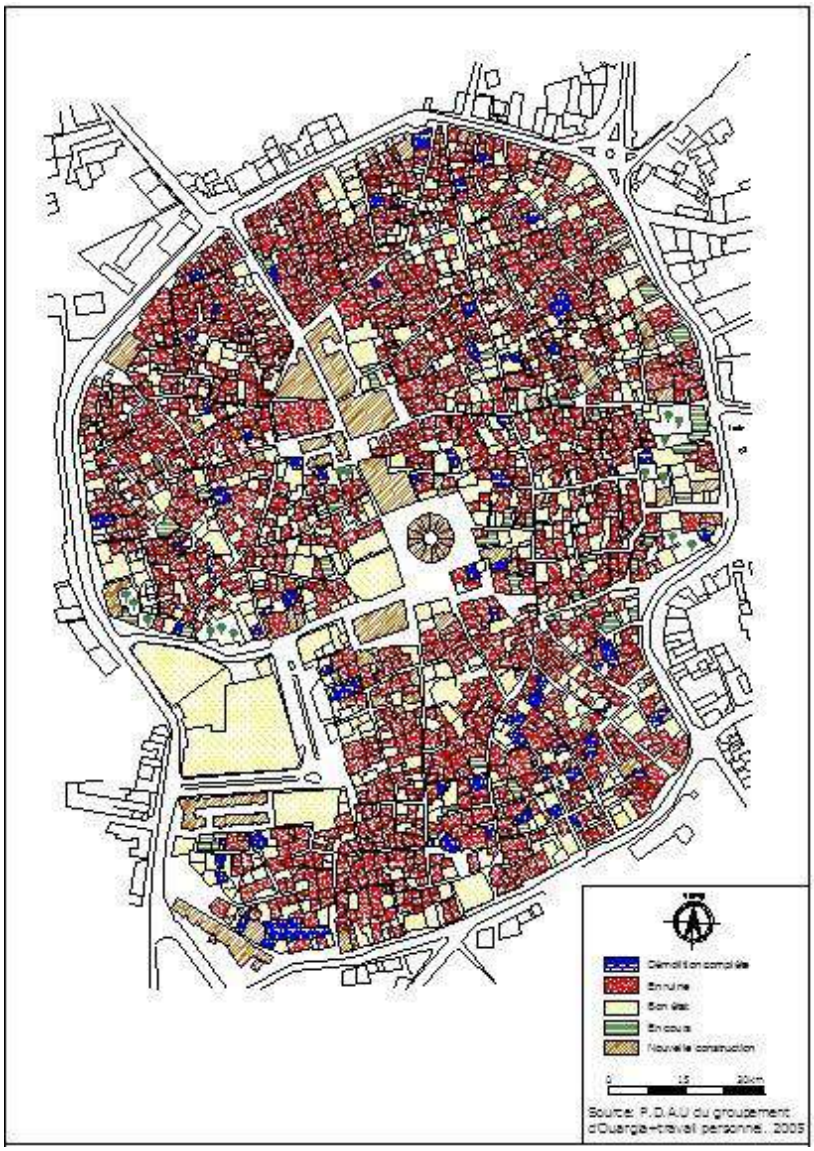


Figure 105: Carte qui montre l'état des constructions au niveau du ksar
(Source : Kadri.S.2007)

2. L’état du ksar :

Le ksar de Ouargla a connu une série de réparation des toitures, de ravalement des façades, et du colmatage des fissurations, par des personnes non-spécialistes dans la restauration, d’où on a remarqué des interventions anarchiques qui ne respectent pas les normes de réhabilitation et qui altèrent partiellement son cachet architectural initial et le rend vulnérable aux divers facteurs de démolition. Cela dû au manque de prise de conscience de la valeur de cet héritage, où il risque d’être déclassé.

Figure 106 : des maisons effondrées

(Source : Auteur.2019)

« Il est à noter que si le ksar de Ouargla continue toujours à se dégrader, c’est parce que ces opérations de réhabilitation restent ponctuelles ou partielles et sont parfois abandonnées par manque de compétences et de moyens adéquats (humains ou matériels)» [59] .

Plusieurs interventions provoquent une rupture avec le cachet traditionnel de la typologie du cadre bâti, telle que la réhabilitation du mur d’enceinte et les portes du ksar. L’utilisation excessive de matériaux modernes est remarquable, où l’application du timchent se trouve au niveau de l’enduit extérieur des murs peint avec leur couleur initiale.

[59] HAFSI Mustafa (2012). Réhabilitation du patrimoine ksourien à travers la revitalisation de l’habitat, cas des ksour de la wilaya de OUARGLA. Mémoire de magister : LVAP. Algérie : école polytechnique d’architecture et d’urbanisme.

Figure 107 : la réhabilitation actuelle du ksar
(Source : Auteur.2019)

3. Le diagnostic du ksar :

3. 1 Les pathologies des Ksour :

Sous l'effet des facteurs anthropiques et naturels notamment l'action de l'eau, on remarque l'apparition des plusieurs dégradations et dommages au niveau de ces anciennes constructions.

3.1.1 Pathologies sous l'action des charges et sollicitations dynamique :

3.1.1.1 Les fissurations :

a- Les murs

Figure 108 : Les fissurations au niveau des murs
(Source : Auteur.2019)

b- Les planchers en voutains :

Figure 109 : Les fissurations au niveau des planchers
(Source : Auteur.2019)

c- Les ouvertures :

Les linteaux des ouvertures en pierre ou en bois ont un inconvénient de taille, celui de subir toutes les surcharges et les mouvements des murs provoquant des fissures situées dans leur partie médiane inférieure.

Figure 110: Les fissurations au niveau des ouvertures
(Source : Auteur.2019)

3.1.1.2 La dégradation :

Dégradation de l'enduit timchent et l'apparition des éléments structuraux.

Figure 111 : L'apparition de la pierre au niveau des murs dû à la dégradation du timchent

(Source : Auteur.2019)

Figure 112 : L'apparition des poutrelles du bois au niveau des planchers dû à la dégradation du timchent

(Source : Auteur.2019)

3.1.1.3 Le flambement des murs :

La perte de stabilité des murs en pierre est engendrée par le phénomène du flambement qui affaiblit la résistance du mur à la pression verticale et qui se termine par l'écoulement partiel ou total de ses éléments.

Figure 113 : Le flambement des murs

(Source : Auteur.2019)

3.1.2 : Effets de l'eau sur un édifice :

La région de Ouargla est connue par la présence d'une nappe phréatique, l'eau parvient du sous-sol jusqu'elle arrive sur le sol et la fondation ainsi les murs à travers la remonté capillaire, ce phénomène est accentué si les matériaux sont poreux.

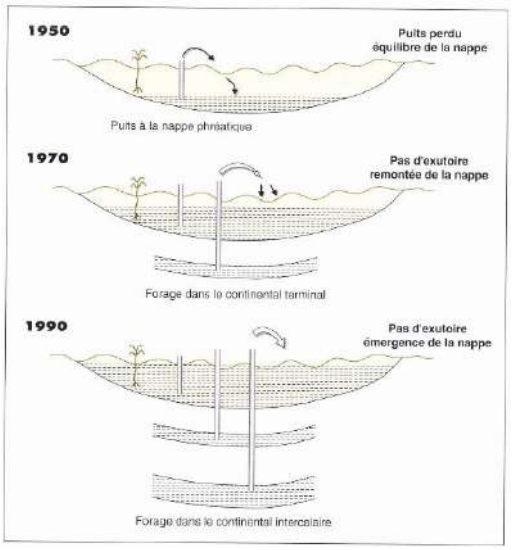


Figure 114: La remonté de la nappe phréatique de la région de Ouargla

(Source : coté, 1998)

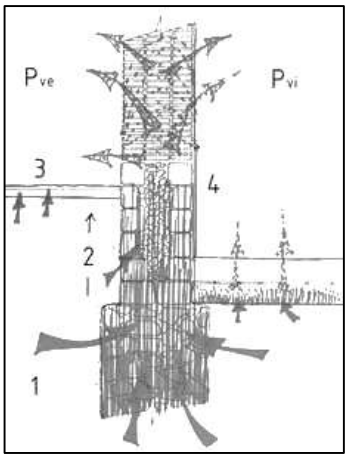


Figure 115 : La remonté capillaire
(Source : Rehabimed)

Figure 116: L'action de l'eau sur des murs
(Source : Auteur.2019)

3.1.3 Pathologies sous l'action du climat :

3.1.3.1 L'érosion : l'action du vent

Le phénomène d'érosion est le processus de dégradation et de transformation du sol consiste en l'entrainement des particules qui le constituent, sous l'action d'agent climatique le vent et l'effet du l'eau.

L'action du vent sur les murs en pierre est nuisible où elle entraîne des dégradations sur les éléments qui les composent.

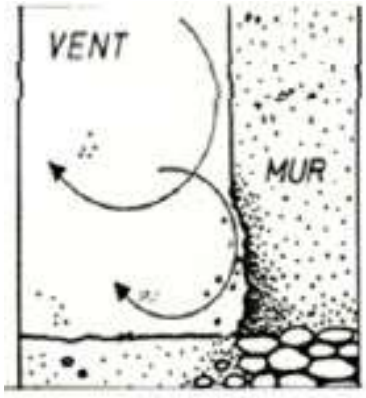


Figure 118 : L'action du vent sur les murs

*(*Source :Alili Sonia 2014)

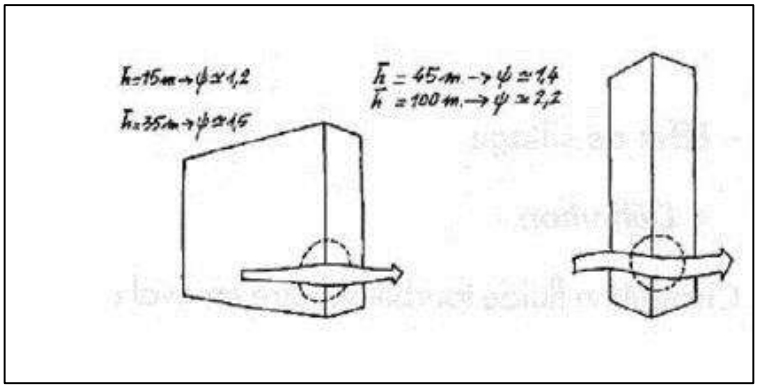


Figure 117: L'effet de coin

(Source :M1CV-SB02-thaermique_urbaine.PDF consulté en septembre 2019)

La pierre est un matériau qui s'altère naturellement à l'état de roche, et son utilisation dans la construction ne fait qu'accentuer ce phénomène d'altération, celui- ci est dû aux modifications des contraintes mécaniques et physico-chimiques ainsi qu'à une exposition prolongée aux vents[60].

[60] ALILI Sonia (2013). Guide technique de réhabilitation du patrimoine villageois en Kabylie. Mémoire de magister en architecture. Algérie. P _78.

Figure 119: L'action du vent sur les murs

(Source : Auteur.2019)

3.1.3.2 L'action de la température :

La différence de températures entre le jour et la nuit affecte particulièrement le matériau. La ville de Ouargla comme la majorité des villes sahariennes est connue par ses températures souvent élevées, ces variations peuvent entrainer des nuisances à la longue terme, où des contractions volumique, des éclatements, des fissurations et des écaillements vont être engendrés au niveau de ses composants.

3.1.4 Les pathologies anthropiques : L'introduction de nouveaux matériaux :

Ces pathologies sont liées aux interventions de l'homme, elles sont dues à l'intégration de matériaux nouveaux incompatibles avec ceux traditionnels.

a- L'acier :

Figure 120: Le renforcement de l'ancienne structure par le rajout des structures métalliques

(Source : Auteur.2019)

b- Le béton :

Figure 121 : L'introduction du béton

(Source : Auteur.2019)

c- La brique :

Figure 122 : L'introduction de la brique

(Source : Auteur.2019)

d- Le parpaing :

Figure 123 : L'introduction du parpaing

(Source : Auteur.2019)

e- Le crépissage avec du ciment :

La flexion et la porosité de l'enduit du ciment sont faibles ce qu'il empêche au mur de respirer.

Figure 124 : Le crépissage avec le ciment afin de remplir les vides et réparer les patries endommagées

(Source : Auteur.2019)

4. Le relevé du ksar :

Afin de réhabiliter le ksar et se permettre de vérifier et confirmer les détails et assurer la compatibilité des propositions avec l'état des lieux, on a fait le relevé architectural de ce dernier (à l'aide d'un distomètre) pour pouvoir faciliter la lecture architecturale structurelle et constructive des ksour et préciser les informations techniques nécessaires.

5. Proposition d'approches et de technique de réhabilitation du ksar par renforcement :

La préservation des ksour consiste à garder son identité et son authenticité, cette opération ne se limite pas uniquement à l'image du ksar, elle s'étale afin d'insister sur les matériaux et les technique de construction utilisés au niveau des opérations de réhabilitation.

5.1 Méthodologie pour la prise de décision de renforcement :

L'exécution d'une technique de renforcement, de réparation d'une bâtisse est la dernière étape après l'avoir diagnostiqué, cela passe par les étapes suivantes :

A/ analyser les désordres :

1-Déterminer les causes de désordre.

2-Inventaire de tous les désordres.

3-Evolution (mesures extensomètres, et témoins).

4-Surveillance (analyse des mesures sur une période suffisamment longue).

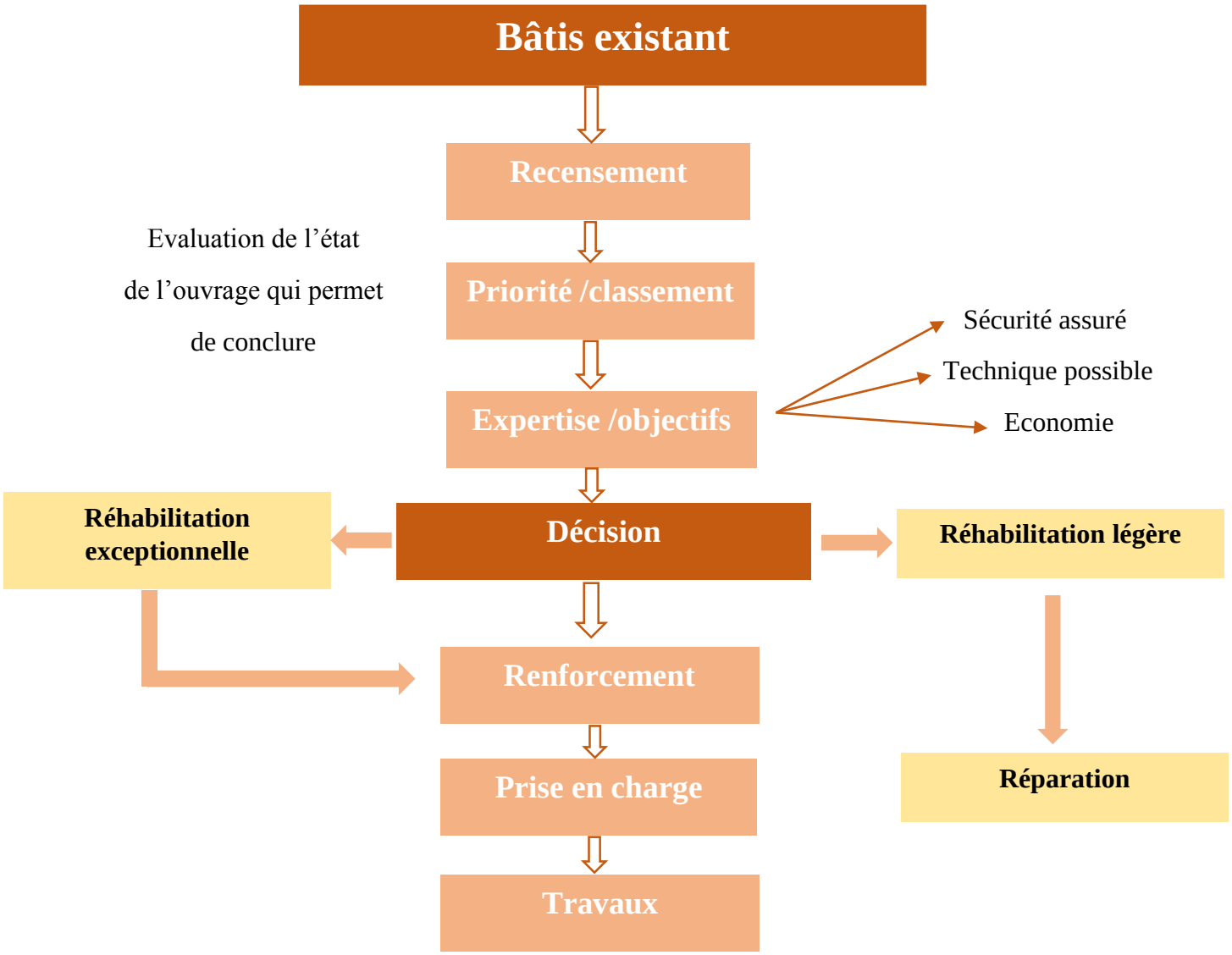
B/ avoir une bonne connaissance de la structure existante :

1-Evaluation des résistances de la structure.

2-Evalaution de la capacité portante d'un ouvrage après répartition ou renforcement.

Comme le synthétise l'organigramme [61] :

[61] Hamid Azouz (Février 2006) .Confortement des ouvrages : un atout majeur pour la réduction de la vulnérabilité sismique, par, Revue Vie de ville. Edition alternative Urbaine. N°04.



Le renforcement d'une structure est donc la dernière étape, après évalué sa vulnérabilité et les risques majeurs auxquels elle est exposée pour arriver à la fin à proposer une approche convenable, pour la renforcer.

5.2 La démarche adoptée pour l'intervention sur le Ksar de Ouargla :

a- L'intervention minimale :

Afin d'assurer l'authenticité de l'œuvre artistique on doit intervenir d'une manière simple et cohérente avec son unité potentielle en respectant ses valeurs artistiques et historiques afin de faciliter la lisibilité compromise pour une meilleure compréhension et lecture de l'édifice.

b- La réversibilité :

La réversibilité obéit à un critère de prudence auquel il faudrait toujours se confirmer dans une intervention de restauration et de renforcement.

L'ajout des parties neuves au niveau des patries manquantes doivent être conçue de façon pouvoir être supprimée en cas où elles provoqueraient des dommages matériel[62].

c- La compatibilité

La sélection des produits selon les caractéristiques des matériaux originaux, où la nouvelle matière utilisée ne vienne pas agresser l'état physique actuel de l'ancienne matière, afin de compléter son usage.

Il convient aussi de s'assurer de la compatibilité physico-chimique de ces différents matériaux avant d'en poser l'indication[63].

d- La distinguablilité et la transparence :

Intervenir en conservant l'authenticité de l'ouvrage et réparer ses dommages matériels qui en compromettent sa jouissance esthétique, son usage et sa mémoire.

Les principes qui guident ce paramètre sont :

-l'intervention minimale.

-la simplification des silhouettes.

-le caractère visible et reconnaissable de l'intervention.

-l'utilisation des matériaux et de moyens constructifs.

-la nécessité de documenter de façon rigoureuse toutes les phases de vie de l'œuvre.

[62] Giandro, Palamerio (1993).Cours de restauration .Roma : centro analisi social progetti s.r.l. P_35-37.
[63] Nicolas, Concha (2012). Compatibilité et durabilité des pierres de substitutions dans les monuments. Aspects physicochimique et visuel. Autre. Saint-Etirnne. Thèse de doctorat : science de la terre. France : Ecole Nationale Supérieur des Mines. P_30-31.

e- L'authenticité :

Maintenir et intégrer l'authenticité, en respectant les valeurs historique et l'intégrité physique de la structure.

L'action du temps sur ce dernier se manifeste par le vieillissement et la transformation, détermine et enrichie son caractère historique de façon irréversible. Pour cela toutes les modifications sont introduites dans la matière dans les conditions de perception de l'œuvre ne peut être effacées et l'effort produit pour retrouver « l'état original présumé » et vain, afin de garder son authenticité et son intégrité physique, où l'opération de restauration ne devra pas supprimer les modifications naturelles et le témoignage de l'activité humaine.

5.3 Proposition d'approches et de technique de réhabilitation du ksar par renforcement :

5.3.1 Traitement des pathologies liées à l'humidité :

a- Traitement des ruissellements et remontées capillaires :

Pour lutter contre les remontées capillaires et canaliser les eaux de pluie à la base des murs, on propose de procéder à un drainage intérieur (à cause de la mitoyenneté des constructions).

b- Traitement de l'humidité des sols :

Afin de traité cette humidité on propose de supprimer la couverture étanche du sol (ciment) rajoutée par les propriétaires et la remplacer par une couche de drainage sur toute la surface au- dessus de laquelle une couche d'enduit sera étalée.

5.3.2 Proposition d'approche pour le renforcement des fondations :

Où on propose d'ajouter une semelle élargie en béton armé sous les fondations existantes qui assurent la stabilité des murs, et augmentent la surface de répartition des charges.

5.3.3 Proposition d'approche pour le renforcement des murs :

Selon des méthodes traditionnelles nous avons privilégié l'utilisation des matériaux de récupérations ou bio sources tels que la pierre, le bois, avec un mortier de plâtre dont la résistance et la déformabilité est similaire à l'originel.

- **Notre proposition :**

L'injection du béton fibré teinté qui va maitriser les fissurations et répondre aux efforts de traction et confèrent au matériau un comportement ductile.

Pour le remplissage de parties vides détruites des murs on propose de projeter le béton de fibres métalliques qui va reprendre les efforts de cisaillement une fois le mur sera fissuré :
Selon la démarche suivante :

-Préparer le support mural en enlevant son revêtement pour faire apparaitre la pierre et le décaper afin d'éliminer les irrégularités de surface.
-Poser une grille métallique afin de séparer l'ancien matériau du nouveau.
-la projection du béton de fibre d'acier sous forme des tôles ondulées déformées qui développent un ancrage supplémentaire, en plus de l'adhérence avec la matrice, les rendant plus efficaces que les fibres droites et qui assurent une bonne répartition dans les murs en pierre.

Cette technique garde l'aspect architectural et l'authenticité des murs façades et assure une remise à neuf respectueuse de l'esthétique est de performance de l'habitat ksourien.

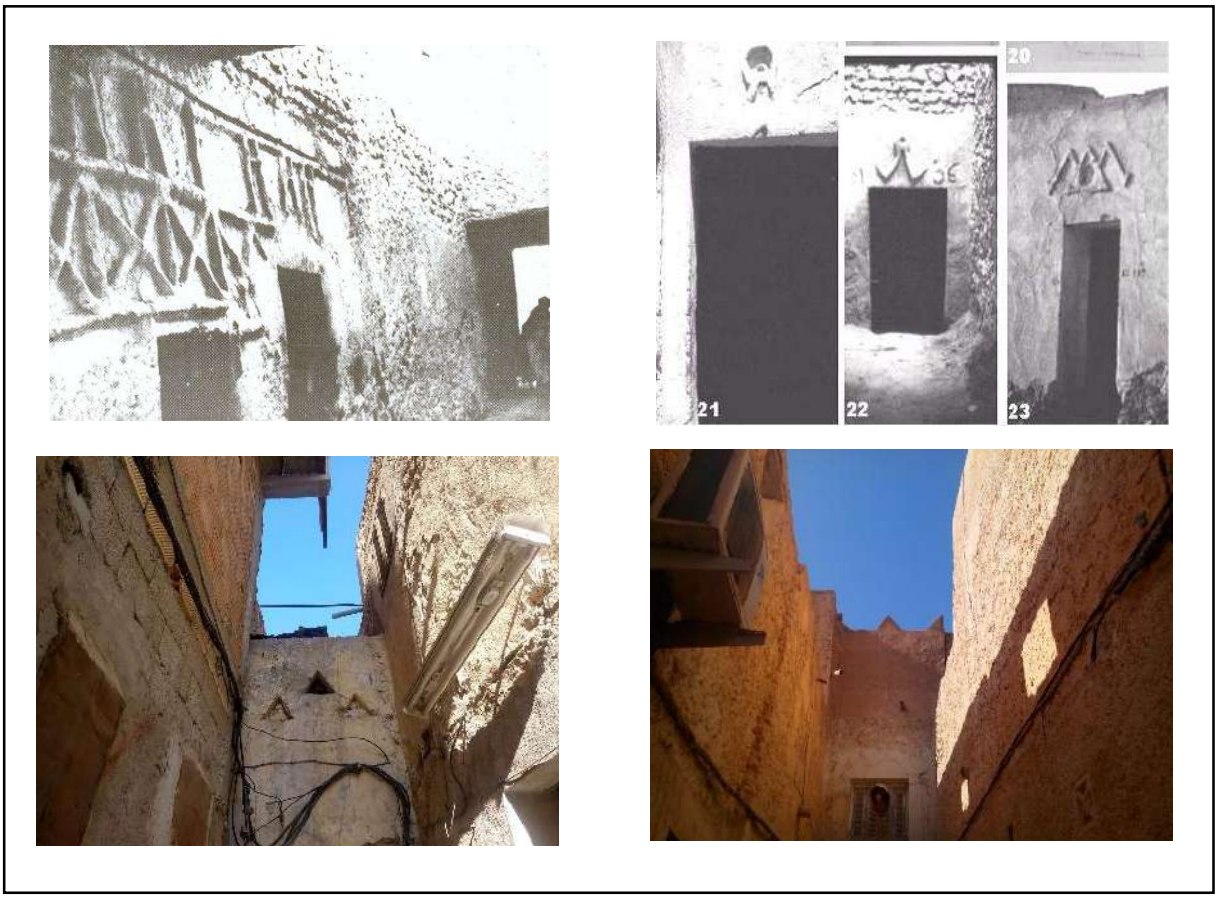
Figure 125 : Les fibres métalliques ondulées

(Source : http://dlibrary.univ-boumerdes.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/4284/1/m%C3%A9moire%20pdf.pdf)

5.3.4 La reprise des fissures au niveau des façades ;

En profitant des matériaux disponibles sur le site par l'utilisation des troncs de palmier pour la technique de consolidation contreventée élaborée par Pr. Djebri et moi-même sur les façades fissurées afin d'optimiser la stabilité et la résistance des murs, sans toucher la structure existante, ayant aussi des fondations indépendantes.

Cette technique est aussi inspirée de la forme triangulaire utilisée comme motif de décoration traditionnelle des murs et des portes par les anciens habitants.



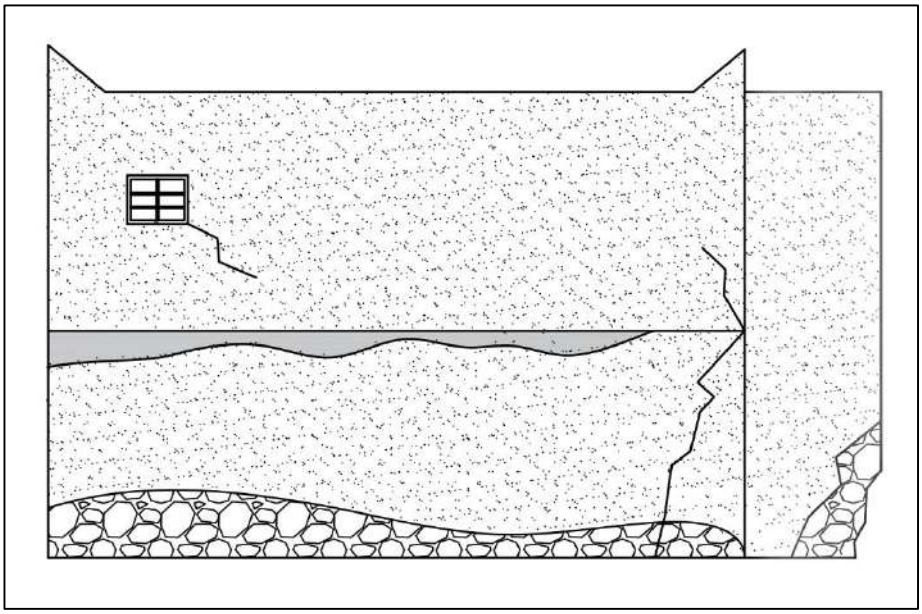


Figure 126 : façade d'une maison du ksar .Ech :1/100

(Source : Relevé établi par l'auteur.2019)

Figure 127 : Proposition de renforcement des murs par la technique de consolidation contreventée en troncs de palmier

(Source : simulation 3D réalisée par l'auteur)

5.3.5 L'enduit de crépissage de la façade :

Après le décroutage de la partie détériorée et le piquage de l'enduit ancien, et à l'aide d'un rouleau ou une spatule on réalisera un crépi pour la façade qui offre un aspect traditionnel et plein de volume, par utilisation de la chaux plâtre comme liant.

Le plâtre à une plasticité élevée et une excellente adhérence aux pierres et qui fait face aux effets du vent et de l'érosion, l'ajout de chaux offre une meilleure perméabilité à la vapeur, et une souplesse. Cet enduit est adapté à la maçonnerie de pierre par « son adhérence, sa légèreté, son ouvrabilité, sa perméabilité à la vapeur et une résistance faible).

Ce mélange (plâtre avec de la chaux teinté avec la couleur marante claire) permet d'obtenir d'un mortier qui durcit plus rapidement et avec des qualités supérieures à celles d'un mortier constitué entièrement de plâtre et préserve l'authenticité de l'édifice et son aspect traditionnel.

L'enduit extérieur aura une influence sur l'apport thermique des murs dû au rayonnement solaire, où sa couleur marante claire est réfléchissante, donc la quantité de chaleur absorbée sera faible contrairement aux couleurs sombres

La technique de crépissage des murs avec le timchent est utilisée dans les constructions traditionnelles de la région de Oued Souf sous la forme d'une couche rugueuse protectrice contre l'effet du vent qui le freine (stage de découverte 2ème année EPAU).

Figure 128 : Le crépissage des murs au niveau des constructions traditionnelles de Oued Souf
(Source : Auteur.2016)

5.3.6 Reprise au niveau des ouvertures :

On propose le changement des linteaux par des solives en bois

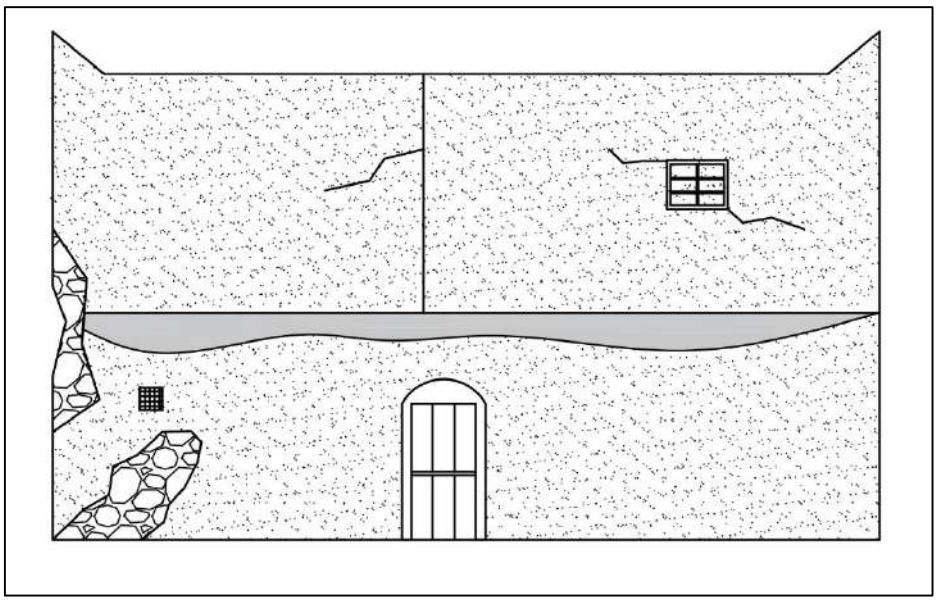


Figure 129 : façade d'une maison du ksar
(Source : Relevé établi par l'auteur.2019)

Figure 130 : Proposition de renforcements des murs + enduit de crépissage+ reprise des ouvertures
(Source : Simulation 3D réalisée par l'auteur)

5.3.7 Proposition d'approche pour le renforcement des arcs et des voutes :

On propose la réparation des arcs par l'injection du béton fibré, après l'avoir colmatés on met un gainage de l'arc avec un profilé métallique de forme de U épousant la partie intrados de l'arc. Le renforcement de ce dispositif se fait par des tirants perforés dans l'épaisseur de l'arc fixé par des systèmes d'ancrage modifiable.

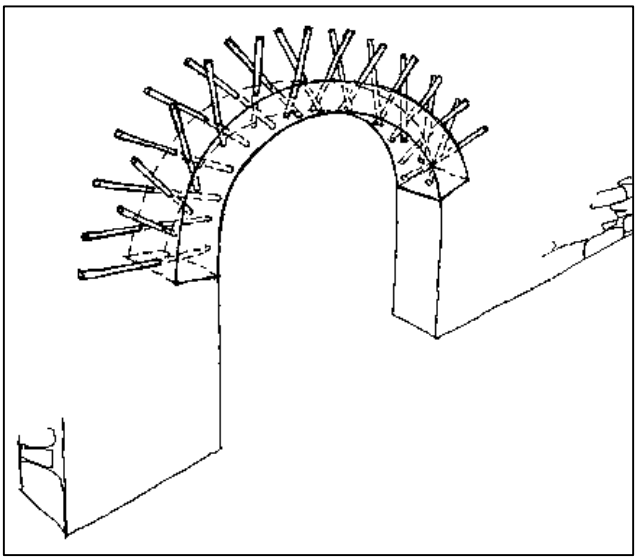


Figure 131 : proposition de renforcement des arcs et des voutes
(Source : Simulation 3D réalisée par l'auteur)

5.3.8 Renforcement des planchers :

Par l'emploie des poutres en en trocs de palmier, disposées en travers de la poutre à renforcer qui divisent sa portée.

Figure 132 : Proposition de renforcement des planchers

(Source : Simulation 3D réalisée par l'auteur)

- **Notre proposition : renforcement des planchers par l'introduction du BFP (Béton de fibres de palmier dattier) :**

Vue la disponibilité des palmiers dattier au niveau de la zone d'étude, et le comportement mécanique que ses fibres offrent au béton, on propose le renforcement des planchers avec ce béton de fibre, par la pose additionnelle de dalles en béton de fibre de palmier, raccordées aux poutrelles en bois couvertes par la chaux.

Figure 133 : fibre da palmier dattier
(Source : Auteur.2019)

5.3.9 Intégration des nouvelles installations et les nouveaux équipements :

Pour avoir vivre dans une maison ksourienne on doit répondre au confort de la modernité : l'électricité, l'eau courante, le gaz…, à travers l'intégration et l'adaptation de ces derniers le plus savamment possible, sans perturber l'espace intérieur, ni porter atteinte à son caractère patrimonial.

Les dispositifs qu'on propose :

a. l'installation électrique par la réalisation des gaines techniques dans des endroits peu visibles (au niveau du plafond) pour cacher les circuits.

b. Le réseau de plomberie doit être centralisé et apparent pour faciliter le contrôle est l'entretien. réaliser avec des siphons du sol, selon une pente de drainage suffisante.

c. Assurer une ventilation pour éviter des concentrations accidentelles du gaz.

6. Conclusion :

L'architecture ksourienne de la ville de Ouargla représente un patrimoine riche de valeurs, elle est le témoignage de géni savoir et la capacité de leurs occupants à s'adapter dans le milieu difficile.

Le ksar garde toujours son ossature mais entraine de se disparaitre, où les restes sont menacés par plusieurs facteurs engendrent le désordre de ce dernier, des facteurs climatiques, facteurs d'humidité, le manque absolu d'entretien ont causé la perte son architecture, sa mémoire et son histoire gravés dans ses murs et ses ruelles.

Face à ces dégradations nous avons essayé dans ce travail d'établir un guide technique de réhabilitation de l'habitat du ksar en mettant l'accent sur les grandes pathologies et comment pouvoir les traiter.

Plusieurs approches de renforcement existent où on a focalisé sur le renforcement par l'introduction des matériaux composites qui vont maitriser les pathologies tout en améliorent le comportement mécanique des matériaux, et qui peuvent être efficaces pour sauvegarder et protéger ce ksar et imprégner les générations futures des valeurs architecturales de cet héritage.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L’association de la casbah « El Islah » créée en 1989 a réussi à classer le ksar de Ouargla parmi les douze ksour classés et l’inscrire dans la liste du patrimoine national en 1996, puis un second classement comme secteur sauvegardé en mars 2011.

L’habitat représente la totalité de la composition du ksar et considéré comme le noyau essentiel de son architecture, la conception de ses ksour est inspirée de l’environnement immédiat et caractérisée par des techniques constructifs simples (système constructif en murs porteurs) qui utilisent les matériaux locaux d’une grande résistance et moins couteux.

Les opérations de réhabilitation du ksar sont des opérations ponctuelles et timides se focalisent sur son cadre physique, où le ksar continue à se dégrader à cause du manque de compétences et de moyens adéquats (humains ou matériels), cela provoque une rupture avec le cachet traditionnel de la typologie du cadre bâti.

La préservation et la revalorisation de ce patrimoine nécessite la mise en place d’un processus de réhabilitation et des techniques de renforcement, ces derniers se varient en fonction du système et matériaux constructifs.

L’analyse constructive et le diagnostic architectural nous ont aidé à comprendre le désordre, qui nous a mener à proposer l’introduction des matériaux compatibles et des technique les plus adéquats pour l’opération de réhabilitation en mettant l’accent sur les matériaux composites. qui prennent en considération les facteurs liés à la nature thermique.

Notre étude nous a mené à proposer des approches de renforcement pour la réhabilitation exceptionnelle vue à l'état de dégradation très avancé de l'habitat du ksar de Ouargla en respectant ses matériaux, son architecture et son authenticité afin de conserver durablement ce patrimoine et de se bénéficier du patrimoine au secteur du tourisme ou même pour la fonction d'habitat.

Perspective de recherche :

- Lancer les essais mécaniques et physicochimiques des matériaux constructifs des ksour (les ksour de Ouargla en particulier).
- Etudier l'efficacité énergétique des matériaux de construction dans les milieux désertiques.
- Formulation et optimisation d'un matériau composite à base de fibre de palmier dattier (**Pour une résistance à la traction de 290MPa en utilise : les fibres de langueur de 20 mm avec un dosage de 1.5% où le rapport G/S égale à 1**).
- Etudier le comportement mécanique et physicochimique des matériaux composites utilisés pour le renforcement (le béton de fibre métallique, le béton de fibre de palmier dattier BFP).
- Etudie le développement du tourisme culturel du ksar afin de désenclaver ce patrimoine caché.
- Développer la modélisation numérique.
- Lancer le relevé 3D du ksar selon un scanner laser tridimensionnel.

Bibliographie :

- **Ouvrage :**

- Boualem Djebri, Radia Bouaidat (2019) : Approches sur les nouvelles techniques de renforcement du vieux bâti. Universitaire européenne.P_45-81.

- Boualem Djebri, Samira Akkouche, Nesrine Meddour (2017). Renforcement du vieux bâtis vis-à-vis les sollicitations sismiques. P_60-77.

- COOK D.J (1980). Concrete and cement composites reinforced with national fibres, proc. Symp. On fibrous concrete. Construction press ltd. Lancaster. P_ 99-114.

- DREGE Jacques, PUTTATI Jacques, ILLOUZ Gorinne (1997). Pathologies des ouvrages des bâtiments T.1 : Fiche technique pour l'établissement du diagnostic-la mise en œuvre des solutions appropriées-la prévention et la résolution des litiges. Edition Weka, Paris : Dispositions générales relatives à la pathologie. Chap1/1, P_7-8.

- Giandro, Palamerio (1993).Cours de restauration .Roma : centro analisi social progetti s.r.l. P_35-37.

- Hugo Houben, Hubert Guillaud (2006). CRATerre, Traité de construction en terre. P_14-208, 506.

- JOFFROY Pascale (1999). La réhabilitation des bâtiments : conserver, améliorer, restructurer les logements et les équipements, col. « Techniques de conception ». Edition Le Moniteur. Paris.P_13.

- Mouloud DEKHMOUCHE (2007). Procèdes de renforcement de vieux bâtis, l'office des Publications universitaires. Alger. P_03.

- Nesrine Meddour, Boualem Djebri (2016). Le béton de fibres métalliques dans la conception architecturale. Etude des caractéristiques physico-chimiques d'un matériau composite et optimisation de sa formulation. Edition universitaire européenne. P_52.

- Nicolas, Concha (2012). Compatibilité et durabilité des pierres de substitutions dans les monuments. Aspects physicochimique et visuel. Autre. Saint-Etirnne. Thèse de doctorat : science de la terre. France : Ecole Nationale Supérieur des Mines.P_30-31.

- Samira Akkouche, Boualem Djebri (2015). Renforcement du vieux bâtis vis-à-vis des sollicitations sismique : cas d'étude le fort Turk de Bordj el Kiffen. Algérie : école polytechnique d'architecture et d'urbanisme. P_59.

- **Dictionnaire**

- Petit Larousse en couleur, (1980). Ed.1984.Librairie Larousse.Paris.P_1665.

- **Support de cours**

- Boualem Djebri (2006). Cours : Construction en terre. Document interne. EPAU. Alger.

- **Thèses et mémoires :**

- A KRIKER (2005). Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec. Thèse de Doctorat d'Etat. EN. P_166.

- DJOUDI A (2001). Caractérisation structurale et rhéologique des bétons de plâtre et leurs renforcements par les fibres végétales du palmier dattier. Mémoire de Magister. C.U Laghouat.

- HAFSI Mustafa (2012). Réhabilitation du patrimoine ksourien à travers la revitalisation de l'habitat, cas des ksour de la wilaya de OUARGLA. Mémoire de magister : LVAP. Algérie : école polytechnique d'architecture et d'urbanisme. P_56.

- KADJILE Edouard (2015). Les enduits traditionnels : techniques de fabrication, mise en œuvre et durabilité. Mémoire de master. Génie civil. Ouagadougou : institut international d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement. P_05.

- Lila Amroun (2017). Ksar de Bent Elkhss : ORIGINE, HISTOIRE ET FILIATION. Thèse de magistère : patrimoine architectural et urbain. Algérie : école polytechnique d'architecture et d'urbanisme. P_20.

- Nadjia BENZAYAED (2014). LES METHODES D'ENTRETIEN ET DE REMISE EN ETAT DES CONSTRUCTIONS TRADITIONNELLES EN TERRE ET PIERRE. Mémoire de master : architecture et environnement. Algérie : école polytechnique d'architecture et d'ubanisme.P_12.

- Nessrine Makhlouf (2018). Corrélation entre comportement mécanique des matériaux et la typo-morphologie structurale .cas d'étude le fort turc de fort de l'eau. Mémoire de master : patrimoine architectural et urbain. Algérie : école polytechnique d'architecture et d'urbanisme.P_47-49-51.

- Radia BOUAIDAT (2018) : Les rapproches de renforcement du bâtis ancien vis-à-vis des risques naturels. Cas d'étude le fort turc de fort de l'eau. Mémoire de master : patrimoine architectural et urbain. Algérie : école polytechnique d'architecture et d'urbanisme. P_48-84-89.

- S ABBANI (2003). Caractérisation et durabilité des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier. Mémoire de magister. Algérie : université de Kasdi Merbah, Ouargla.

- Sonia ALILI (2013). Guide technique de réhabilitation du patrimoine villageois en Kabylie. Mémoire de magister en architecture. Algérie. P _78.

- **Articles :**

- Manel Bouchemal, Salah Chaouche (2015). La patrimonialisation d'un site suffit-elle à sauvegarder un lieu historique ? Cas du Ksar de Ouargla. Disponible sur : https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01237201/document (Consulté en février 2019).

- Mohamed CHABA (2002). Une vieille cité devenue métropole : Ouargla. Alger, Algérie. P_103. Disponible sur : https://www.persee.fr/doc/medit_0025-8296_2002_num_99_3_ (Consulté en mars 2019).

- M. Rachedi, A. Kriker et A. Mokhtari (2017). Contribution à l'étude de la durabilité de mortier de plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier. Revue des Energies Renouvelables. Algérie : Laboratoire Exploitation et Valorisation des Ressources

Naturelles en Zones Arides Université Kasdi Merbah Ouargla.P_251. Disponible sur : https://www.cder.dz/download/Art20-2_6.pdf (Consulté en décembre 2019).

- Salima RAYANE KADRI, Salah CHAOUCHE et Amina Hadia BENAMEUR(2016) .Quelles formes de réhabilitation pour le ksar d'Ouargla ? Des objectifs urbains, patrimoniaux et sociaux. Algérie. P_133-135. Disponible sur : https://cahiers.crasc.dz/pdfs/2016_ksour_kadri.pdf (Consulté en juin 2019).

- **Revue :**

- Association du Ksar pour la culture et l'Islah avec Denys Pillet et Joseph Tawaf (2003). Une oasis saharienne à travers l'histoire OUARGLA 180 document et archives. P_15.

- Hamid Azouz (Février 2006) .Confortement des ouvrages : un atout majeur pour la réduction de la vulnérabilité sismique, par, Revue Vie de ville. Edition alternative Urbaine. N°04.

- Nacera Benseddik (décembre 1991). Les religions du Maghreb antique. Revue Athar n°3 de l'Association Algérienne pour la sauvegarde et la promotion du patrimoine archéologique.

- **Webographie :**

- Abdelhak KARECHE (2014). Étude des matériaux à base de bois de palmier dattier : durabilité, dégradation et propriétés structurales et de transfert. Mémoire de magister. Algérie : Université Hadj Lakhdar Batna. P_60. Disponible sur : http://digitallibrary.univ-batna.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/424/1/Etude-des-materiaux-a-base-de-bois-de-palmier.pdf (consulté en décembre 2019).

- Bourhaneddine HABA(2017). Etude in-situ des performances énergétiques et mécaniques des matériaux biosourcés et locaux. Mémoire de master. Algérie : université d'El-Hadj Lakhdar Batna.P_36. Disponible sur http://theses.univ-batna.dz/index.php/theses-en-ligne/doc_download/5482-etude-in-situ-des-performances-energetiques-et-mecaniques-des-materiaux-biosources-et-locaux (Consulté en décembre 2019).

- CHARTE INTERNATIONALE SUR LA CONSERVATION ET LA RESTAURATION DES MONUMENTS ET DES SITES (CHARTE DE VENISE 1964). Disponible sur : https://www.icomos.org/charters/venice_f.pdf, (consulté en février 2019).

- David Dessandier, Shahinaz Sayagh, Philippe Bromlet, Lise Leroux (2011). La pierre de construction. Matériau du développement durable. Disponible sur : https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-00640971/document, (consulté en février 2019).

- Dominique Gauzin-Müller, Pauline Sémon, Patrice Doat, Laetitia Fontaine, Hubert Guillaud. Architecture en terre d'aujourd'hui LES TECHNIQUES DE LA TERRE CRUE. Disponible sur : http://www.amaco.org/spiral-files/download?mode=inline&data=3161, (consulté en février 2019).

- https://betonabq.org/wp-content/uploads/2017/09/aDocument_Fibres.pdf.P_16 .consulté en novembre 2019.

- https://www.humidite-expert.be/hydrofugation , (consulté en novembre 2019).

-http://thesis.univ-biskra.dz/1328/4/partieI%20chapitre%2001.pdf.P_13 (Consulté en décembre 2019).

- L'antique ville de Sedrata à Ouargla menacée (25 avril 2018). Disponible sur : www.sedrata.info, (consulté en mars 2019).

- Landowski M,Lemoine B (2005). Concevoir et construire en acier. Collection mémoires acier. P_11. Disponible sur : http://www.infosteel.be/image/publicitaire/cocevoir-et-construire-en-acier.pdf, (Consulté en février 2019).

- Les techniques de réhabilitation : renforcer les structures. P_8. Disponible sur : http://www.rehabimed.net/Publicacions/Metode_Rehabimed/II.%20Rehabilitacio_Ledifici/FR/2e%20partie.%20Outil8.pdf, (consulté en septembre 2019).

- Mohamed Hamza Bouaziz (2019). Formulation d'un BAP : influence du rapport G/S et de la fibre de palmier dattier de 30 mm de longueur. Mémoire de master. Algérie : Université Badji Mokhtar.Annaba. P_47. Disponible sur http://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-

content/uploads/2019/09/BOUAZIZ-MOHAMED-HAMZA.pdf (Consulté en décembre 2019).

- Mohamed Tlijani (2016). Contribution à la caractérisation thermophysique de matériaux bio-isolants : valorisation des déchets de bois de palmier.thèse de doctorat. France : UNIVERSITE PARIS EST – Créteil. P_32. Disponible sur https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01618318/document (Consulté en décembre 2019).

- MOKHTARI ABDESSAMED (2006). Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier. Mémoire de magister : génie civil. Algérie : université de Kasdi Merbah, Ouargla. P_72-74. Disponible sur : https://bu.univ-ouargla.dz/MOKHTARI_ABDESSAMED.pdf?idthese=588, (consulté en novembre 2019).

- Nabil GOSSA (2013). Elaboration et caractérisation expérimentale du comportement mécanique du béton à base de fibres de palmier dattier. Mémoire de master. Algérie : Université Kasdi Merbah. Faculté des Sciences et Technologie et des Sciences de la Matière. Ouargla. Disponible sur https://bu.univ-ouargla.dz/master/pdf/master_gossa.pdf?idmemoire=521, (consulté en novembre 2019).

- Souad MENADI (2015). Renforcement des murs en maçonnerie non porteurs soumis à la compression. Etude des mortiers renforcés de différents taux de fibres de jute. Thèse de doctorat. Algérie : université de Badi Mokhtar. Annaba. P_44. Disponible sur : http://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2016/11/These-Menadi-Souad.pdf, (consulté en novembre 2019).

Annexe :

Le dossier graphique établi par l'auteur :

Typologie 1 :

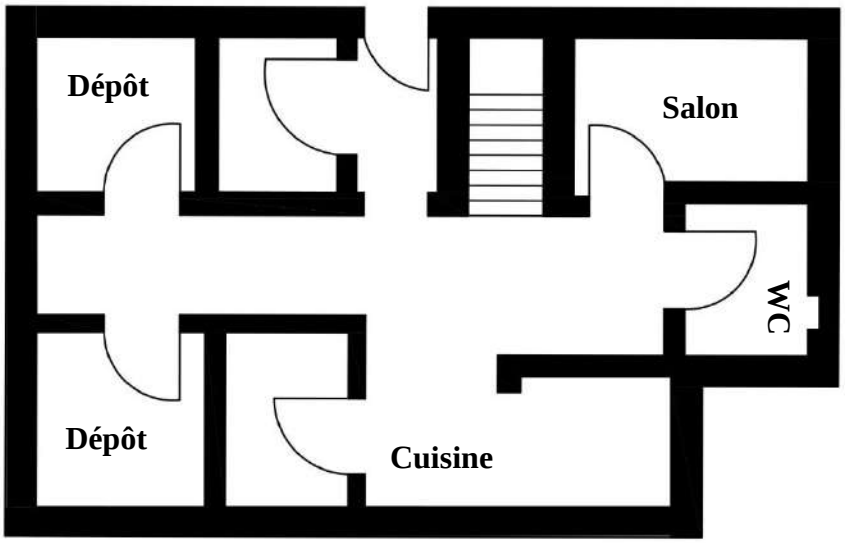


Figure 134 : plan RDC. Ech : 1/100
(Source : Relevé établi par l'auteur)

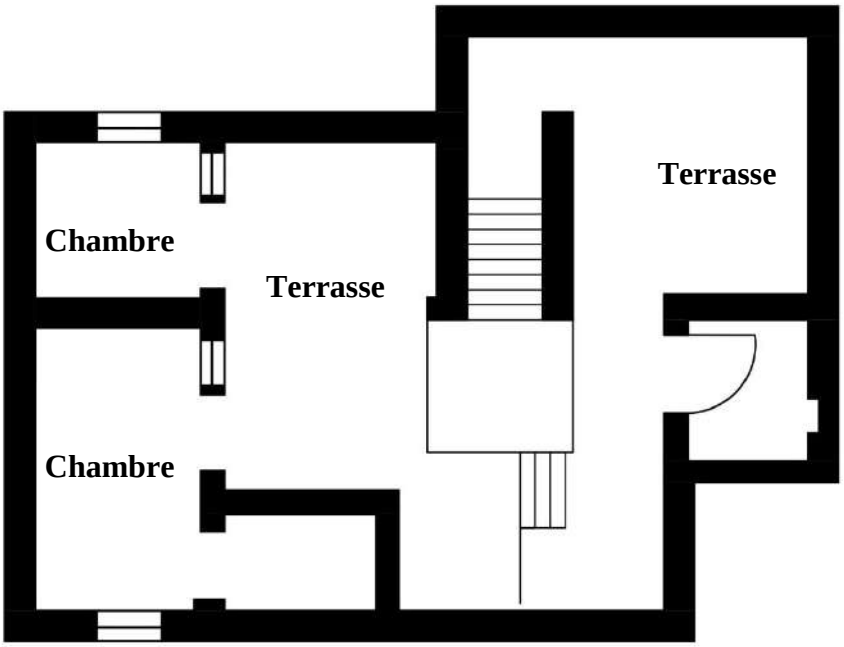


Figure 135 : Plan d'étage. Ech : 1/100
(Source : Relevé établi par l'auteur)

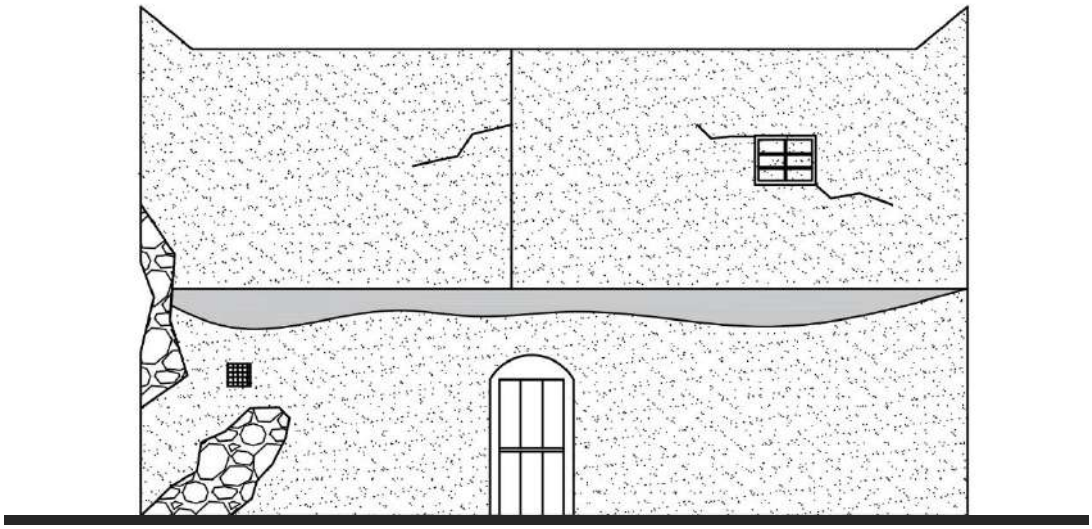


Figure 136 : Façade nord-est .Ech :1/100

(Source : Relevé établi par l'auteur)

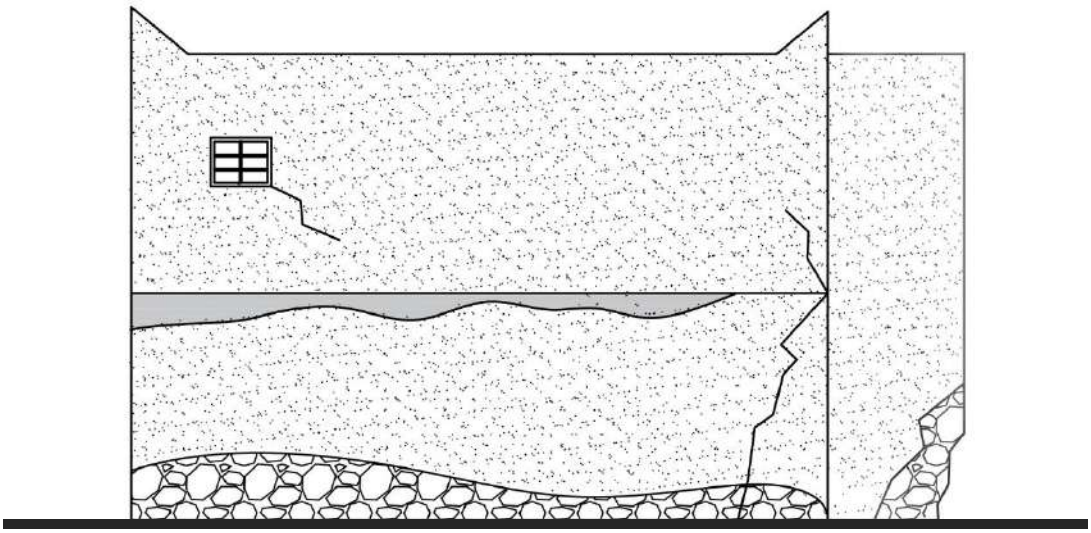


Figure 137 : Façade sud-ouest .Ech :1/100

(Source : Relevé établi par l'auteur)

Typologie 2 :

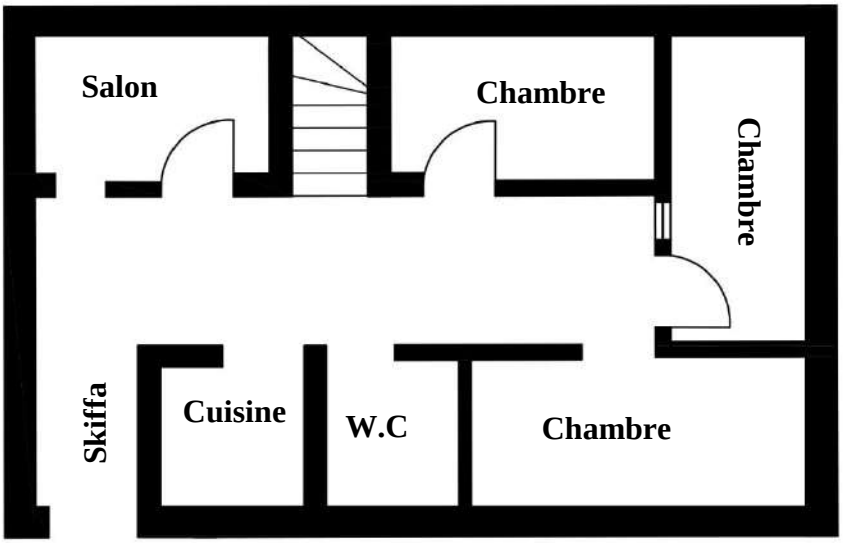


Figure 138 : Plan RDC. Ech : 1/100

(Source : Relevé établi par l'auteur)

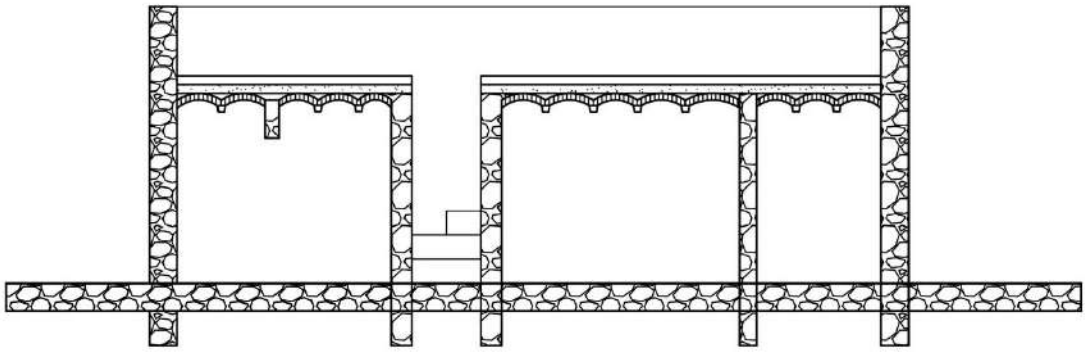


Figure 139 : Coupe A-A .Ech :1/100

(Source : Relevé établi par l'auteur)

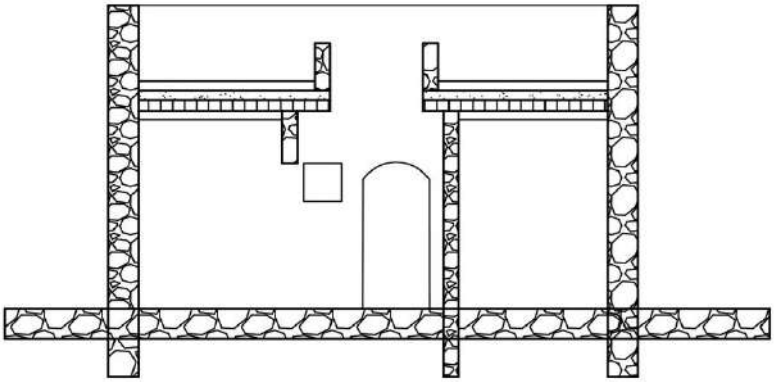


Figure 140 : Coupe B-B. Ech : 1/100

(Source : Relevé établi par l'auteur)

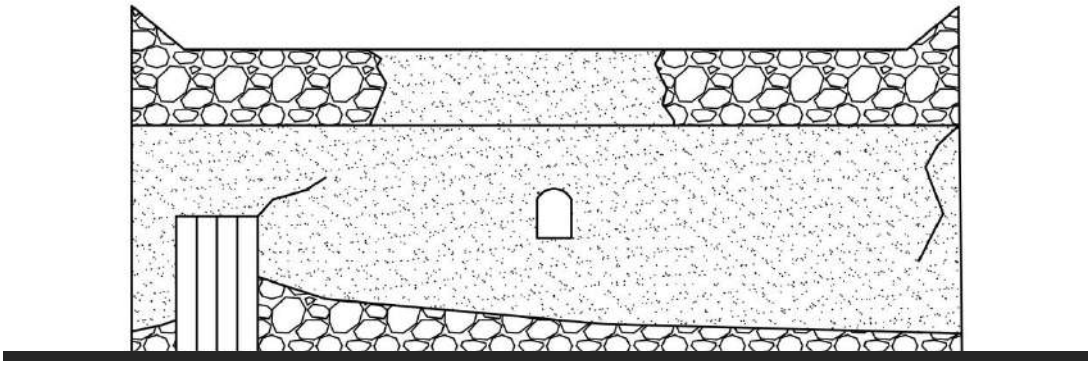


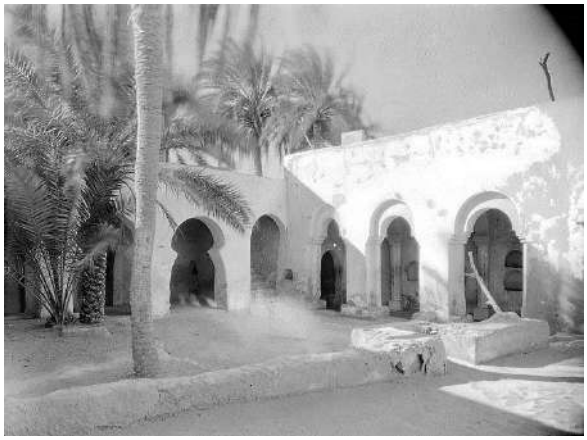
Figure 141 : Façade sud .Ech :1/100

(Source : Relevé établi par l'auteur)

Photos récoltées par docteur Kaddi Elhadj. Psychologie scolaire et chercheur dans le patrimoine matériel et immatériel de la culture berbère du ksar de Ouargla. Université de Kasdi Merbah Ouargla. Disponible sur : www.delcampe.net.

- **le ksar de Ouargla : une longue histoire !!!**

Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France



- Mission des pères blancs, le ksar de Ouargla :

Prise en 1892

Prise en 1891