



MEMOIRE DE MASTRER
ARCHITECTURE ET PATRIMOINE

**EVOLUTION ET INNOVATION DE LA BRIQUE D'ADOBE POUR
L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE**

CAS D'ETUDE: TIMMOU (GOURARA)

Présenté par : FOUIA Ibtihal Hamza

Sous la Direction de : D' S. CHERGUI & Mme S. ALLICHE

Soutenu : le 22/06/2015

Devant le jury composé de :

Président du jury : Mme MAHINDAD Naima

Examineur : Mme HAOUI Samira

Année Universitaire : 2014/2015

REMERCIEMENTS

Mes plus vifs remerciements sont adressés au Dr. S. CHERGUI et à Mme ALLICHE Samira pour avoir accepté d'encadrer ce modeste travail. Je les remercie pour tous les conseils et remarques pertinentes qui m'ont aidé à le finaliser.

Je tiens à remercier aussi les membres du jury Mmes N. MAHINDAD et S.HAOUI d'avoir pris le temps d'évaluer ce mémoire.

Au terme de mon cursus universitaire, je souhaiterais rendre hommage sans exception à tous mes enseignants permanents comme associés et vacataires pour les efforts qu'ils ont consentis pour notre formation tant en Licence qu'en Master malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je remercie le personnel de CapTerre Timimoun et leur Directrice Mme K. Terki pour m'avoir ouvert le centre et la bibliothèque et pour m'avoir accompagné durant le travail sur site.

Aujourd'hui au terme de mes études je tiens à dire merci à mon père et à ma mère, merci pour tout.

CONFIDENTIEL

Evolution et innovation de la brique d'adobe pour l'architecture contemporaine

Cas d'étude: Timimoun (Gourara)

Par FOUFA Ibtihal Hamza

Sous la Direction de D^r S. CHERGUI & Mme S. ALLICHE

Résumé

Ce travail de recherche aborde la problématique de la construction en terre crue "adobe" dans une optique d'innovation pour les constructions futures. Il s'agit de vérifier le processus de construction dans la ville de Timimoun depuis son édification jusqu'à nos jours. Voir si les procédés et les typologies constructives ont évolué à travers le temps ou non. Dans le cas où il y a une innovation ou réadaptation ou pas nous essayons à travers des essais primaires de vérifier des amalgames d'adobe pour aboutir à une composition qui serait efficace en terme de construction c'est à dire du point de vue des caractéristiques, à la compression et à la traction.

Compte tenu de ma formation d'architecte il était important de réfléchir à une matérialité issue ou inspirée d'un modèle local. C'est ainsi qu'en plus de la recherche sur la meilleure composition de la brique crue on a essayé de modéliser une forme dont les caractéristiques seraient la mise en œuvre, la réponse aux écoulements des eaux pluviales, aux rayonnements solaires, à l'acoustique et à la thermique.

La méthode adoptée pour réaliser ce travail s'est basée sur la méthode de CraTerre qui est abordable par des essais simples possible à effectuer sur chantier sans matériel compliqué. De plus la méthode de CraTerre semble avoir fait ses preuves de par le monde.

Les résultats obtenus semblent en termes de composition d'amalgames (protocoles) acceptables compte tenu des moyens mis en œuvre pour réaliser ce travail. Par rapport à la forme de la brique, un outillage numérique et des machines ont été utilisés pour la fabrication du moule avec lequel quelques briques ont été réalisées pour monter une portion de mur.

Evolution and innovation of the adobe brick for contemporary architecture
Case study: Timimoun (Gourara)

By FOUFA Ibtihal Hamza
Under the direction of Dr. S. CHERGUI & Ms S. ALLICHE

Abstract

This research work aims to develop an optical innovation future construction in mud "adobe". Furthermore, it is essential to verify the construction process in the city of Timimoun since its foundation until today. It is necessary to verify if the processes and constructive typologies have evolved over time. If there is an innovation or only readjustment to achieve a composition that would be effective in terms of building that point of view is the strength of water, compression and tensile strength, we check adobe amalgams through primary tests.

As an architect it was important for me to think about an issue of materiality based on a local model. Thus, in addition to research on the best composition of the adobe we tried to model a form whose characteristics would be the implementation, response to runoff of rainwater, solar radiation, the Acoustic and thermal energy.

The method adopted to carry out this work is based on the method of CraTerre. It's simple tests can be performed on site without complicated equipment. Furthermore the method of CraTerre is a worldwide known.

The obtained results of composition amalgam (protocols) appear acceptable given the means employed to do this job. With respect to the shape of the brick, a digital tools and machines have been used for the manufacture of the mold which was used to make some bricks to make a wall portion.

Table des matières :

RESUME	3
ABSTRACT	4
TABLE DES MATIERES	5
TABLE DES ILLUSTRATIONS	8
CHAPITRE I : INTRODUCTION GENERALE	10
1. UNIVERSALITE	11
2. HISTOIRE DE L'ARCHITECTURE EN TERRE	11
3. L'ARCHITECTURE DE TERRE EN ALGERIE	13
4. PROBLEMATIQUE	14
5. HYPOTHESES	16
6. OBJECTIFS DE LA RECHERCHE.	16
7. METHODOLOGIE DE RECHERCHE	17
CHAPITRE II : DE L'ARCHITECTURE DE TERRE EN GENERAL	18
II.1 : ETUDES D'ENSEMBLE	19
1. NADER KHALILI	19
2. MARTIN RAUCH LE CERAMISTE AUTRICHIEN	20
3. SATPREM MAÏNI D'AUROVILLE EN INDE	21
4. ATELIER D'ARCHITECTURE DE GIUSEPPE FALLACARA	22
CONCLUSION	23
II.2 : ETUDE DU CAS DE TIMIMOUN	23
1. CONSTRUCTION PRECOLONIALE	23
a. CONSTRUCTION MAJEUR « AGHAM »	23
• <i>L'AGHAM A RAHBA</i>	23
• <i>L'AGHAM A ZKAK</i>	24
b. CONSTRUCTION MINEUR « HABITATION »	24
• <i>HABITATION A RAHBA</i>	24
• <i>HABITATION A RAHBA ET SABBAT</i>	25
TYPLOGIES CONSTRUCTIVES	25
• <i>LA STRUCTURE VERTICALE</i>	26
• <i>LA STRUCTURE HORIZONTALE</i>	27
TYPLOGIES ARCHITECTONIQUES	29
2. CONSTRUCTION COLONIALE	30
a. CONSTRUCTION MAJEUR « L'OASIS ROUGE »	30
TYPLOGIES CONSTRUCTIVES	31
b. CONSTRUCTION MINEUR « DAR ME. OMAR »	32
TYPLOGIES CONSTRUCTIVES	32
3. CONSTRUCTION CONTEMPORAINE « PROJET DE TALLA »	33
TYPLOGIES CONSTRUCTIVES	34
CHAPITRE III : ESSAIE PRATIQUE SUR LA BRIQUE D'ADOBE	35
1. PROPOSITION ET MODELISATION D'UNE BRIQUE D'ADOBE, UNE INNOVATION DANS LE MATERIAU TERRE	36
2. ESSAI D'AMALGAME POUR LA CONFECTION D'UNE BRIQUE DE TERRE INNOVANTE	37
3. IDENTIFICATION DES MATERIAUX ET DU MATERIEL	38
a. MATERIAUX	38
• <i>LA TERRE</i>	38

•	<i>LA PAILLE</i>	38
•	<i>LA CHAUX AERIENNE</i>	38
•	<i>L'HUILE DE VIDANGE</i>	38
•	<i>LE SABLE</i>	39
•	<i>L'EAU</i>	39
b.	MATERIEL	39
•	<i>LE TAMIS DE CONSTRUCTION</i>	39
•	<i>LE MOULE A BRIQUE</i>	39
•	<i>LE MALAXEUR PLANETAIRE</i>	40
•	<i>PELLE, SEAU ET BASSINES</i>	40
4.	ANALYSE PRELIMINAIRE ET ANALYSE VISUELLE DES FINES	40
a.	ANALYSE PRELIMINAIRES	40
•	<i>EXAMEN VISUEL</i>	40
•	<i>ESSAI DE L'ODEUR</i>	40
•	<i>ESSAI DE TOUCHER</i>	40
•	<i>ESSAI DE LAVAGE</i>	41
•	<i>ESSAI D'ADHERENCE</i>	41
•	<i>ESSAI DE SEDIMENTATION</i>	41
b.	ANALYSE VISUELLE DES FINES	42
•	<i>TEST DE CONSISTANCE</i>	42
5.	LA PRODUCTION DES PROTOTYPES	42
a.	BRIQUE TRADITIONNELLE	42
b.	PROTOCOL 1	43
c.	PROTOCOL 2	44
d.	PROTOCOL 3	44
6.	LES OBSERVATIONS APRES SECHAGE	45
a.	APRES UNE PREMIERE SEMAINE DE SECHAGE	45
•	<i>REMARQUE</i>	46
b.	APRES DEUX SEMAINES DE SECHAGE	46
•	<i>REMARQUE</i>	46
7.	LES ESSAIS	47
a.	POIDS PROPRE	47
b.	ABSORPTION D'EAU PAR CAPILLARITE	47
•	<i>BRIQUE TRADITIONNELLE</i>	48
•	<i>PROTOCOL 1</i>	48
•	<i>PROTOCOL 2</i>	48
•	<i>PROTOCOL 3</i>	48
	REMARQUE	49
•	<i>BRIQUE TRADITIONNELLE</i>	49
•	<i>PROTOCOL 1 ET 2</i>	49
•	<i>PROTOCOL 3</i>	49
c.	COMPRESSION ET TRACTION	50
8.	PRODUCTION DE LA BRIQUE INNOVANTE	50
a.	LA CONFECTION DU MOULE	50
b.	LA BRIQUE INNOVANTE	51
9.	CONCLUSION	52
	CONCLUSION GENERALE	53
	BIBLIOGRAPHIE	55

• OUVRAGE	55
• ARTICLES SCIENTIFIQUES	55
• REVUE	56
• THESES DE DOCTORAT ET MEMOIRES DE MAGISTERE	56
• PFE	56
• SITE WEB	56

CONFIDENTIEL

Table des illustrations :

Fig. 1 : Construction d'une maison en Super Adobe.	19
Fig. 2 : Maison en Super Adobe finie.	19
Fig. 3, 4, 5, 6, 7 et 8 : procédé de construction en Super Adobe.	20
Fig. 9 : Stockage des murs en pisé préfabriqués.	20
Fig. 10, 11 et 12 : Procédé de fabrication d'un mur en pisé préfabriqué.	21
Fig. 13 : Satprem MAÏNI, directeur d'Auroville Earth Institut.	21
Fig. 14 : Les différents BTCS fabriqués à Auroville.	21
Fig. 15 : Auram press 3000 manuelle d'Auroville.	22
Fig. 16 : Voûte de 10.35m de portée, réalisé par Satprem MAÏNI à Auroville.	22
Fig. 17 : Modélisation numérique d'une brique d'Adobe, Polytechnique de Bari.	22
Fig. 18 : plan d'Agham à Rahba.	23
Fig. 19 : plan d'Agham à Zkak.	24
Fig. 20 : plan maison à Rahba.	24
Fig. 21 : plan maison à Rahba et Sabbat.	25
Fig. 22 a et b : mur en adobe avec soubassement en pierre.	26
Fig. 23 a et b : mur en pierre.	26
Fig. 24 a et b : plancher à Djérid.	27
Fig. 25 a et b : plancher à Kernef.	27
Fig. 26 a et b : plancher à Tafza.	27
Fig. 27 a et b : couverture de foggaras.	28
Fig. 28 a et b : porte en linteau.	28
Fig. 29 a et b : ouverture avec arcature plein cintre.	28
Fig. 30 a et b : ouverture avec arcature en ogive.	28
Fig. 31 : Escalier en L.	29
Fig. 32 : Escalier droit à une seule volée.	29
Fig. 33 : ouverture de forme plein cintre.	29
Fig. 34 et 35 : claustras.	30
Fig. 36 a et b : contrefort.	30
Fig. 37 : El Labza.	30
Fig. 38 : village colonial.	30
Fig. 39 : l'Oasis Rouge.	30
Fig. 40 : mur en adobe.	31
Fig. 41 : Couverture.	31
Fig. 42 : image de synthèse de la façade de l'Oasis Rouge.	31
Fig. 43 : Intérieur de l'Oasis Rouge.	32
Fig. 44 : Mur et soubassement.	32
Fig. 45 : Couverture.	32
Fig. 46 : Escalier droit.	33
Fig. 47 : Façade.	33
Fig. 48 : Mur et soubassement.	34
Fig. 49 : Tronc de palmier et couverture.	34
Fig. 50 : Modélisation d'un modèle de brique.	36
Fig. 51 : Modèle de la brique et matérialité exprimée par les différents assemblages de la brique de terre.	36
Fig. 52 : Terre rouge.	38
Fig. 53 : La paille.	38
Fig. 54 : La chaux aérienne.	38
Fig. 55 : l'huile de vidange.	38

Fig. 56 : Le sable.	39
Fig. 57 : Le tamis.	39
Fig. 58 : Moule à brique.	39
Fig. 59 : Malaxeur planétaire.	40
Fig. 60 : Examen visuel.	40
Fig. 61 : Essai de lavage.	41
Fig. 62 : Essai d'adhérence.	41
Fig. 63 : Essai de sédimentation.	41
Fig. 64 : Test de consistance.	42
Fig. 65 : Terre, paille et eau.	42
Fig. 66 : Mélange avec malaxeur.	43
Fig. 67 : Brique traditionnelle après décoffrage.	43
Fig. 68 : Terre, paille et 20% de chaux à sec.	43
Fig. 69 : Protocole 1 (20% de chaux).	44
Fig. 70 : Protocole 2 (20% de chaux sans paille).	44
Fig. 71 : huile de vidange.	44
Fig. 72 : Protocole 3 (huile de vidange).	45
Fig. 73 : Briques pendant le séchage.	45
Fig. 74 : Briques après une semaine de séchage.	45
Fig. 75 : Fissure au niveau de la surface.	46
Fig. 76 : Briques après deux semaines de séchage.	46
Fig. 77 : Fissure au niveau de la surface.	46
Fig. 78 : Effritement au toucher.	46
Fig. 79, 80, 81, 82 et 83 : Essai d'absorption par capillarité pendant 1 heure : Brique de Terre.	48
Fig. 84, 85, 86, 87 et 88 : Essai d'absorption par capillarité pendant 1 heure : Protocole 1.	48
Fig. 89, 90, 91, 92 et 93 : Essai d'absorption par capillarité pendant 1 heure : Protocole 2.	48
Fig. 94, 95, 96, 97 et 98 : Essai d'absorption par capillarité pendant 1 heure : Protocole 3.	48
Fig. 99 : Détérioration de la brique.	49
Fig. 100 et 101 : Protocole 1 et 2 après absorption d'eau par capillarité.	49
Fig. 102 : Effritement après absorption.	49
Fig. 103 : Découpage avec une défonceuse numérique.	50
Fig. 104 : Epaisseur obtenue après découpage.	51
Fig. 105 : Le moule fini (partie supérieure et partie inférieure).	51
Fig. 106, 107 et 108 : La brique innovante finie après démoulage.	51

Introduction générale

CONFIDENTIEL

1. Universalité :

Le matériau "terre" a été associée aux époques décisives de la révolution urbaine et qui servait la quotidienneté autant que le prestige des plus glorieuses civilisations de l'Antiquité¹. De nos jours, 30 % de la population mondiale vit dans un habitat en terre, soit près de 1 500 000 000 d'êtres humains construisent avec un matériau que l'on foule aux pieds tous les jours². La révolution industrielle a mis en arrière-plan les techniques constructives du passé (Terre, Bois et Pierre). L'homme découvre le béton et l'acier des matériaux révolutionnaires pour cette époque, des décennies plus tard ces derniers s'avèrent être en danger pour l'écosystème de la terre. A l'heure où le monde se préoccupe de la santé de notre terre et pour son équilibre menacé par l'industrialisation, les secteurs du bâtiment commencent à être sensibilisés sur le désordre qui s'abat sur cette planète. Pour résoudre ces problèmes, les secteurs actifs font retour vers la nature pour un développement plus durable.

2. Histoire de l'architecture en terre crue

A travers les quatre (04) coins du monde, soit sur tous les continents, de l'Amérique en Asie, au Moyen Orient, en Arabie, en Australie et Nouvelle Zélande, depuis plus de 10 000 ans la terre crue a été le matériau par excellence pour la construction.

La ville de Shibām au Yémen et son architecture en immeubles de briques de terre crue lui vaut l'inscription au patrimoine mondial de l'Unesco en tant que « plus ancienne cité grattée du monde ».³

En Asie, Chine, les habitats Hakkas, constitués d'une enceinte massive de pisé à l'intérieur de laquelle une vraie petite ville s'installe, sont encore habités et considérés comme patrimoine universel.

Sur le continent américain, les civilisations précolombiennes ont également utilisé la terre crue. Un des exemples les plus connus est Chan Chan, au Pérou, grand ensemble de douze palais construits sur une surface de 20 km² en bordure de l'océan. À Taos, les habitations empilées configurent une forme pyramidale à degrés. Les murs d'adobe sont enduits de terre mêlée de paille finement hachée, boules de terre jetées et lissées à la main. Cet habitat très

¹ Site web: http://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_la_construction/La_terre.

² Traité de construction en terre, Universalité, Page 16, CRAterre, édition Parenthèses, 1995. Anger, R., Fontaine, L., Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture, éditions Belin, Paris, 2009

³Salma Samar TAMJUDI, 2003, Leçon Inaugurale de l'Ecole de Chaillot.

élaboré a servi de modèle à l'architecture hispano-mexicaine en adobe qui fut depuis lors réalisée dans ces régions au Sud-Ouest des États-Unis.

En Europe, au 18ème siècle, François Cointeraux, a écrit plus de 70 fascicules sur l'architecture de terre et plus particulièrement sur le pisé utilisé dans la construction rurale⁴.

En Australie et Nouvelle-Zélande, la construction en terre crue est apparue avec les premiers colons. Toutes les techniques ont été utilisées dans un premier temps, mais aujourd'hui, deux prospèrent particulièrement : le pisé et l'adobe.

En Afrique, le développement de la construction en terre crue se fait sur tout le continent produisant une diversité et une richesse architecturale exceptionnelles. Les mosquées de Tombouctou, XIII^e siècle après J.-C., de Djenné est considérée comme patrimoine universelle.

Aujourd'hui, la brique d'adobe et le pisé sont associés au fantastique développement que connaît l'architecture solaire, dans l'ensemble de ces pays du continent américain.⁵

L'intérêt porté aujourd'hui au matériau dans certains pays européens (Allemagne, Pays-Bas, Danemark, France depuis peu) date du début des années 1980.⁶

Le pisé est toujours utilisé pour la construction en Chine.⁷

L'Australie est aujourd'hui le pays qui construit le plus au monde en utilisant ces techniques. Dans certaines régions, 20% du parc immobilier est en pisé.⁸

La terre crue reste en Afrique un matériau de construction majeur, même si son image est souvent fortement dégradée.⁹

⁴ Hubert Guillaud, 1997. Une grande figure du patrimoine régional Rhône-Alpes: François Cointeraux (1740-1830) : pionnier de la construction moderne en pisé », Numéro 3 de *Carnets de l'architecture de terre*, CRATerre-ENSAG, p

⁵ *Traité de construction en terre, Histoire : Amérique*, Page 24, CRATerre, édition Parenthèses, 1995.

⁶ *Traité de construction en terre, Histoire : Europe et méditerranée*, Page 20, CRATerre, édition Parenthèses, 1995.

⁷ Jean-Paul Loubes, 1988. *Maisons creusées du Fleuve Jaune: l'architecture troglodytique en Chine*, édition Créaphis, Page 20 – 47.

⁸ Site web :

<http://www.eartharchitecture.org/index.php?categories/12-AustraliaNew-Zealand>

<http://eartharchitecture.org/index.php?categories/12-AustraliaNew-Zealand/P2.html>

⁹ *Traité de construction en terre, Histoire : Afrique*, Page 18, CRATerre, édition Parenthèses, 1995.

3. L'architecture de terre en Algérie :

L'Algérie a connue plusieurs époques, dont chacune avait sa typologie constructive, les premières constructions ont été réalisées en terre crue ou en pierre. Bien que notre pays se soit montré intéressé par la revalorisation du matériau terre dans les différents territoires dans une période anticipée, ce fut vite fait un échec enterré.

Du nord au sud on compte plusieurs villes dont les architectures anciennes sont faites en terre crue, par contre cette dernière n'est pas aussi apparente au nord comme au sud, sauf pour quelques régions comme Tlemcen et les Aurès, mais pour les autres villes comme Elida, Cherchell, Ténès..., les constructions en terre crue sont réalisés en murs banché renforcé avec des assises de briques, résultat d'un savoir-faire empirique répondant à un souci préventif "les secousses de tremblement de terre"¹⁰

Ces constructions en terre crue sont l'objet d'un abandon total, dans les régions nordiques du pays, le climat est le principal facteur de dégradation du matériau terre, après cela vient l'abandon qui est aussi un facteur majeur sur la dégradation des constructions en terre crue. Les propriétaires des maisons en terre crue abandonnent leurs demeures pour des constructions en béton de ciment pour plus de confort et de sécurité.

Malgré cela L'Algérie est dotée d'un Centre National d'Etude et de Recherche Intégrées du Bâtiment (C.N.E.R.I.B), qui dirige des recherches depuis plus de vingt ans dans le domaine de l'architecture de terre et plus précisément sur la Brique de Terre Compressée Stabilisé BTCS, un matériau reconnu officiellement par le centre. Plusieurs expériences ont été faites par ce centre entre 1997 et 2006 et y sont inscrites comme expérimentations.

Entre 2007 et 2011 CRAterre et l'équipe d'OXFAM-solidarité ont réalisés un projet, « *Amélioration de l'habitat, prévention des catastrophes naturelles dans les camps sahraouis (Tindouf, Algérie)* », est un volet de l'action globale mis en place dans les camps sahraouis.¹¹

Depuis 2013, à Timimoun, le centre de CapTerre (Centre Algérien du Patrimoine Culturel Bâti en Terre) œuvre pour la protection des savoirs faire ancestraux en construction en terre et

¹⁰ A. Abdessemed-Foufa 2015. Identification du corpus des typologies constructives en terre pour la préservation du patrimoine bâti et la construction en Algérie. CIAT 2015. Congrès International sur l'Architecture de Terre

¹¹Site web : CRAterre.org / Action : Projet / *Amélioration de l'habitat, prévention des catastrophes naturelles dans les camps sahraouis (Tindouf, Algérie).*

la valorisation de ce matériau pour les nouvelles constructions. Une avancée supplémentaire pour l'avenir de l'architecture de terre.

4. Problématique :

En Algérie, la construction en terre crue demeure confinée dans les régions les plus isolées et les plus pauvres. L'usage de la brique de terre crue, tend à être de plus en plus remplacé par la brique creuse ou le parpaing. Ceux-ci n'équivalent pas à la terre crue du point de vue de leurs caractéristiques mécaniques et physico-chimiques, mais sur le plan de la conservation, la brique et le bloc de parpaing sont plus résistants que la brique de terre crue, face aux ruissellements d'eau pluviale. Ils sont plus durables.

Les régions sahariennes sont connues par leurs architectures traditionnelles construites en terre. Parmi ces régions sahariennes, notre sujet nous intéresse plus exactement au Gourara, un vaste territoire qui abrite plusieurs oasis les uns auprès des autres, différentes par leurs originalités architecturales qui se distinguent par les matériaux locaux « la terre et la pierre », une originalité qu'on ne retrouve pas dans d'autres régions sahariennes.

Notre choix s'est porté tout naturellement sur la capitale du Gourara qui est « Timimoune » comme site d'intervention pour sa particularité en architecture de terre ancestrale très spéciale, mais aussi pour la dégradation du matériau causé par l'abandon et la destruction.

Les habitants de la région de Timimoun abandonnent leurs demeures du Ksar vers les cités logements qui selon eux, offrent plus de confort et de sécurité, et demandent beaucoup moins d'entretien par rapport aux maisons traditionnelles construites en brique de terre « Toub ». Par contre les habitations du village colonial restent dans un bon état, selon plusieurs études, on peut constater que tout le village a été construit en terre crue, l'enduit et les revêtements ont cachés l'aspect du matériau terre, le seul souci qu'on rencontre est qu'on ne sait pas avec quelle technique les colons ont construits. Le béton de ciment et le parpaing sont utilisés à l'intérieur du Ksar et en dehors de ce dernier, les habitants détruisent leurs habitations pour reconstruire avec les matériaux industriels malgré les conditions climatiques de la région.

A partir de ces nombreux constats, on remarque que le béton de ciment et le parpaing sont des matériaux luxueux pour les gens de la région. Des questions d'ordre général nous interpellent

- ❖ Qu'en est-il réellement du matériau terre « Toub » ?
- ❖ Pourquoi le choix du béton et du parpaing comme matériaux constructifs au lieu de la brique de terre contemporaine ?
- ❖ Comment peut-on intervenir avec un savoir-faire ancestral actualisé innovant et contemporain auprès des autorités locales, afin de promouvoir les nouvelles techniques du matériau terre, pour les projets à venir prévus pour la région ?
- ❖ Comment revaloriser le matériau terre et sensibiliser les gens de la région malgré leur délaissement de ce dernier pour les inciter à l'utiliser comme matériau de construction locale ?

Des questions plus spécifiques concernant la culture constructive à Timimoun et sur lesquelles on doit se pencher :

- ❖ Quel est l'avenir du matériau terre "Toub" ?
- ❖ Quelle est la technique utilisée dans les constructions de Timimoun dans les ksours, dans le village colonial et aujourd'hui ?
- ❖ Y a-t-il différentes typologies constructives liées à leur temps ou alors nous avons le même remplissage ?
- ❖ Quelle innovation peut-on introduire aujourd'hui dans le "Toub" pour l'avenir de la construction en terre ?

Le constat fait est que les études approfondies dans les techniques innovantes en architecture de terre ne sont pas suffisamment développées en Algérie. Il est par conséquent nécessaire de mobiliser et d'accroître les connaissances en matière de terre et de ses techniques constructives.

5. Hypothèses :

Dans le cadre de cette recherche, nous nous autorisons à avancer trois hypothèses :

- Le choix du parpaing et du béton comme matériaux constructifs pour la région s'est fait par rapport à la sécurité et le confort, après les inondations de 2004 qui ont détruits et endommagés les constructions, les habitants fuient leurs demeures.
- Les caractéristiques physico-chimiques de la brique de terre crue « Toub » n'est pas aussi performantes et résistantes contre le climat de la région (ruissèlements d'eaux pluviales, tempête de sable...)
- L'utilisation de la terre crue comme matériau de construction dans le village colonial a été utilisée avec une autre technique que celle du « Toub ».
- Les techniques innovantes dans les constructions en terre crue sont plus développées de nos jours, les connaissances des experts dans le matériau terre et leurs savoir-faire pourront inciter les autorités et les habitants de la région à prendre conscience et utiliser la terre comme matériau de construction local.

6. Objectif de la recherche :

Notre projet de recherche aura comme objectif de proposer des solutions, c'est à dire essayer de répondre aux questions posée dans la problématique à travers:

L'identification des techniques constructives de la région et les options innovatrices dans ce domaine par la recherche d'un protocole d'amalgame (terre + matériaux hydrofuges) lui permettant d'être plus résistantes à l'eau, et par la modélisation numérique d'une brique qui répondra aux contraintes climatiques surtout celles des vents et de la chaleur diffusée sur les murs.

7. Méthodologie de recherche :

L'approche de la recherche que nous nous proposons de réaliser aujourd'hui est fondée sur la mise en évidence des techniques constructives ainsi que de l'évolution dans l'utilisation des matériaux locaux à travers trois périodes: précoloniale, coloniale et postcoloniale. Sera alors fait par la suite une comparaison entre les techniques traditionnelles et les techniques innovantes du matériau terre. Et pour ce faire nous relèverons les trois typologies constructives et les présenterons et les comparerons. Celui-ci nous permettra de conclure en proposant des alternatives plus performantes tout en conservant le cachet architectural de la région.

La méthodologie de travail que nous avons choisi est celle de CTA Terre pour leur expériences dans le domaine de la terre, mais aussi parce que leur ouvrage est très bien illustré et bien expliqué pour les méthodes traditionnelles et ou les méthodes de chantiers. Leurs tests ont été essayés et approuvés et sont aujourd'hui une référence internationale reconnu.

Plusieurs phases sont nécessaires pour la réalisation de cette recherche :

- Les références contextuelles devant la région.
- Les relevés métriques et architecturaux des habitations.
- Les documents graphiques.
- Les documents écrits.
- Les relevés des détails techniques et constructifs.
- Les essais d'algames Terre + matériaux hydrofuges, un travail de laboratoire (empirique)
- Produire un modèle de briques (formes et dimensions) dont la géométrie et l'assemblage pourront apporter une réponse aux facteurs climatiques (pluies, vents et soleil)
- Arriver à une matérialité nouvelle inspirée de celle ancestrale dans le cadre du projet d'architecture.

CONFIDENTIEL

CHAPITRE II
De l'architecture de terre en général

II.1 : Etudes d'ensemble :

Bien que la construction en terre crue demeure une préoccupation pour les architectes et les constructeurs d'aujourd'hui, certains pays ont pris l'initiative de percer et d'innover dans ce domaine-là, parmi ces innovateurs sur les architectures de terres, on peut citer :

1. Nader KHALILI :

Un architecte d'origine iranienne installé aux États-Unis, ancien architecte de grattage. Il a fait aboutir son concept d'habitations universelles dans le "*Cal-Earth Institute*" (institut pour l'architecture et l'art de la terre de Californie).¹²

Nader KHALILI a développé un tout nouveau concept d'habitation ayant des caractéristiques de résistance aux incendies, aux tremblements de terre et ne coûtant presque rien, le tout reposant sur le fait que les matériaux qui ont servi à élaborer ces habitations viennent des terres environnantes. La terre est rassemblée dans des sacs fermés puis empilés et fixés avec des fils barbotés. Tout est après dans la forme arrondi, pour les petits dômes comme pour les grandes maisons, tout repose sur l'arc. Une fois montée, la maison est brûlée de l'intérieur et une coquille de terre cuite vient sceller l'édifice.¹³

Baptisé "*SUPER ADOBE*", allusion aux premières maisons en terre crue (adobe) construites par les colons espagnols en Californie. Elle bénéficie d'une climatisation naturelle, grâce à des ouvertures judicieusement placées. Ces prototypes d'habitations ont attiré l'attention de plusieurs organismes tels que la NASA.¹⁴



Figure 1 : Construction d'une maison en Super Adobe

Source : www.terragora-lodges.com/dwIInd/construction-super-adobe.pdf



Figure 2 : maison en Super Adobe finie.

Source : www.terragora-lodges.com/dwIInd/construction-super-adobe.pdf

¹²https://fr.wikipedia.org/wiki/Nader_Khalili

¹³Terragora lodges, www.terragora-lodges.com/dwIInd/construction-super-adobe.pdf, 10 /08/15.

¹⁴ Idem.

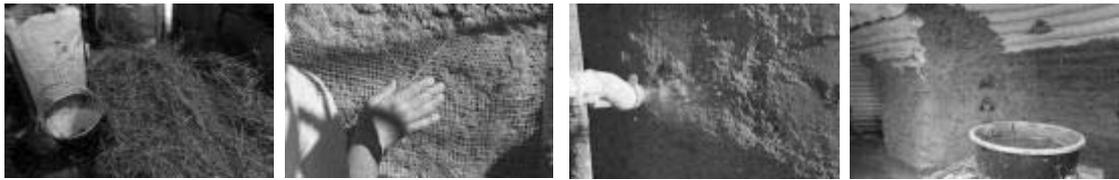


Figure 3, 4, 5, 6, 7, 8 : procédé de construction en super adobe.

Source : www.terragora-lodges.com/dwIInd/construction-super-adobe.pdf



2. Martin RAUCH le céramiste autrichien:

Souvent appelé l'artiste du pisé contemporain, RAUCH a découvert l'architecture de terre non pas à travers l'architecture mais plutôt par son éducation et de ces premiers projets en tant que céramiste. Sa tendance vers les constructions en terre crue commencée en Afrique quand il a travaillé en tant qu'aide bénévole. Ces débuts avaient plutôt un intérêt plus particulier, celui de travailler avec de l'argile sans amélioration supplémentaire.¹⁵



Figure 9 : Stockage des murs en pisé préfabriqués.

Source : <http://www.timurersen.com/rammed-earth-facade-martin-rauch-ricola-house-of-plant-design-by-herzog-amp-de->

Bien après sa tendance vers les structures en terre, il développe une nouvelle technique de construction « le pisé préfabriqué » ; une technique ancienne connue sous le nom de « Mur Banché » ou « Pisé » mais industrialisé. Cette technique consiste à fabriquer des murs en pisé de toute dimension qu'on laisse sécher dans un entrepôt, entreposés comme une marchandise, puis montés en murs porteurs dans le chantier en toute facilité.¹⁶

¹⁵<http://www.lehmtonerde.at/en/martin-rauch/>

¹⁶ Idem.

Figure 10, 11 et 12 : procédé de fabrication d'un mur en pisé préfabriqué.

Source :
<http://www.timurersen.com/rammed-earth-facade-martin-rauch-ricola-house-of-plant-design-by-herzog-amp-de-meuron>



3. Satprem MAÏNI d'Auroville en Inde:

Satprem MAÏNI est un architecte français directeur de « Auroville Earth Institut » à AUROVILLE en Inde depuis 1989. Intéressé par les constructions en terre traditionnelles et plus précisément par la construction des voûtes et des coupôles avec de la brique de terre.¹⁷

Depuis le début des années 1980, son travail a été fondé sur l'adaptation et la renaissance des techniques traditionnelles, l'utilisation de matériaux locaux, la participation des individus et la reconsidération du rôle de l'architecte. Depuis 1985, les efforts pour cette renaissance des techniques traditionnelles et des matériaux locaux sont essentiellement basés sur l'utilisation de la terre crue comme matériau de construction, et notamment le bloc de terre comprimée stabilisée (BTCS), un bloc qu'il a développé durant toutes ces années de recherche, stabilisé avec 5% de ciment.¹⁸



Figure 13 : Satprem MAÏNI, directeur d'Auroville Earth Institut.

Source : <http://www.thehindu.com/features/homes-and-gardens/design/rediscovering-ageold-techniques/article5354386.ece>



Figure 14 : Les différents BTCS fabriqués à Auroville.

Source : http://www.earth-auroville.com/earth_in_auroville_introduction_en.php

¹⁷<http://archive.auroville.org/thecity/architecture/satprem.htm>

¹⁸ Idem.

MAÏNI s'est spécialisé dans le développement de la construction d'arcs, de voûtes et de dômes en terre, et la résistance sismique avec des BTCS à emboîtement creux.



Figure 15 : Auram press 3000. Presse manuelle d'Auroville.

Source : http://www.earth-auroville.com/earth_in_auroville_introduction_en.php

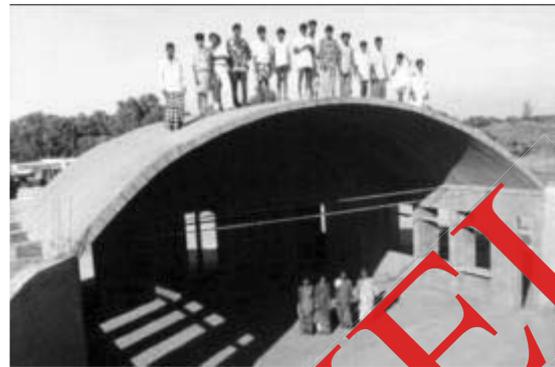


Figure 16 : Voûte de 10,25m de portée, réalisée par Satprem MAÏNI à Auroville.

Source : http://www.earth-auroville.com/earth_in_auroville_introduction_en.php

4. Atelier d'architecture de Giuseppe FALLACARA :

En Italie et plus précisément à Bari, l'atelier d'architecture de Giuseppe FALLACARA du polytechnique de Bari connu pour leur développement de la stéréotomie de la pierre de sa modélisation pour les nouveaux projets ont développé au courant de l'année universitaire 2013-2014 une brique en terre crue « brique d'Adobe » dont la forme est inspirée des « Wave Block » pour un projet d'habitation économique en Australie.¹⁹



Figure 17 : Modélisation numérique.

Source : Etudiant 5^{ème} année, Polytechnique de Bari

Cette innovation dans la forme de la brique pour constituer des blocs a été imaginé puis modélisée telle que cela se fait pour la stéréotomie pour trouver les faces de contact pour ne rajouter aucun mortier de pose. Le projet a été proposé au australiens pour un habitat économique car dans ce pays les constructions en terre crue sont très répandues.

¹⁹ PFE 5^{ème} année, Domenico Cannito, Giuseppe Clemente et autres, la morphologie structurelle et la projection d'une unité d'habitation, 2013 / 2014, polytechnique de Bari, département d'architecture.

Conclusion :

Parmi les innovations dans les constructions en terre crue à travers le monde, seul l'atelier d'architecture de Bari ont développé une brique d'adobe pour des constructions future, ils ont modélisés et développés leurs amalgames dans le laboratoire de recherche.

II.2 Etude du cas de Timimoun :

Durant les deux (02) années (2014, 2015) d'investigation in-situ à Timimoun et de recherche universitaire, nous avons relevé ce qui suit :

1. Construction précoloniale :

On distingue deux (02) typologies de constructions, majeur qui est représentée par l'Agham, et mineur qui est représentée par l'habitation.²⁰

a. Construction majeur « Agham » :

L'Agham est une entité constructive séparée et autonome (défense, vie sociale, économie...). Il est construit sur des pitons rocheux à partir desquels s'élèvent les murs de rempart, le tout entouré par un fossé (*H'fir*). Son implantation est accompagnée par le creusement de la foggara. Il y a deux types d'organisations internes pour les Agham.

- L'Agham à Rahba : La Rahba est un espace à ciel ouvert, assurant par sa forme et sa position la concentration de la vie communautaire. Par sa forme carrée ou rectangulaire, elle contribue à donner à l'Agham, une forme géométrique marquante (fig 18).

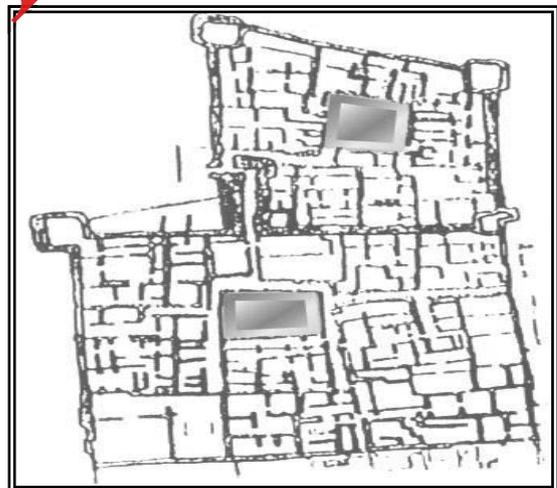


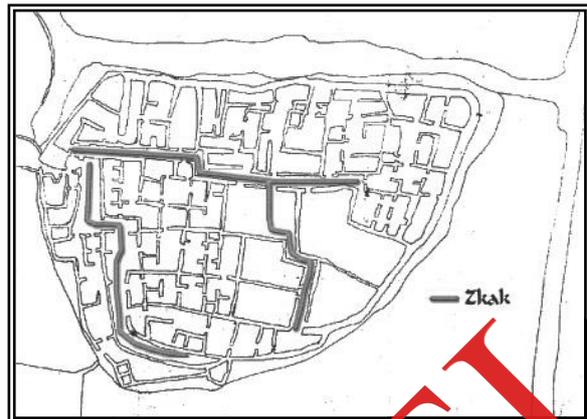
Figure 18 : plan d'Agham à Rahba

Source : PFE 5^{ème} année MATEC

²⁰JEAN BISSON, LE GOURARA, UNIVERSITE D'ALGER INSTITUT DE RECHERCHE SAHARIENNE, PP 160-171

- L'Agham à Zkak : Le Zkak est un parcours linéaire, en fourche, distribuant les habitations, là où les accès ne sont pas visibles, c'est un espace long et couvert (fig 19).

Figure 19 : plan d'Agham à Zkak
Source : PFE 5^{ème} année MATEC



b. Construction mineur « Habitation²¹ » :

A Timimoun, la typologie architecturale de l'habitation est de deux types :

- Habitations à Rahba :

Est un habitat qui s'organise autour d'un espace régulateur la "Rahba", un espace non couvert dont les dimensions et la position diffèrent d'une habitation à une autre. L'essentiel est que c'est autour de cet espace que s'articulent et s'organisent la "Skiffa", la cuisine, les chambres, le makhzen, le sanitaire, l'espace aux animaux, le salon, l'escalier et la galerie arcades (fig 20).

- 1- La 1ere skiffa
- 2- La 2eme skiffa
- 3- Cousina (cuisine)
- 4- Makhzen (stockage des aliments)
- 5- Bit (chambre)
- 6- Bit Echyah / Zriba

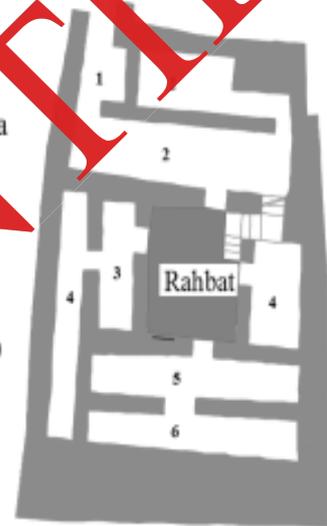


Figure 20 : plan maison à Rahba
Source : repris d'après MATEC 2008.

²¹Haoui. S. Thèse de magistère « l'Agham entre l'habité et l'urbanité ». EPAU, juin 1993.

- Habitation à Rahba et Sabbat :

Est un habitat qui s'organise par rapport à deux espaces, la "Rahba" et le "Sabbat" donnant une organisation non seulement centrale mais linéaire en même temps. La nouveauté est cet espace linéaire dénommé "Sabbat" de forme longue ressemblant à un couloir, qui distribue la partie réservée au visiteur étranger à la maison. Ainsi deux parties distinctes sont définies dans ce 2ème type (fig 21).

- 1- Sabat
- 2- Bit Eddif (accueil)
- 3- Tchikitaouin (Escalier)
- 4- Assareg (toilette)
- 5- La Rahbat (Amas n'tidah)
- 6- Bit (Chambre)
- 7- Cousina (la cuisine)
- 8- Makhzen (stockage des aliments)

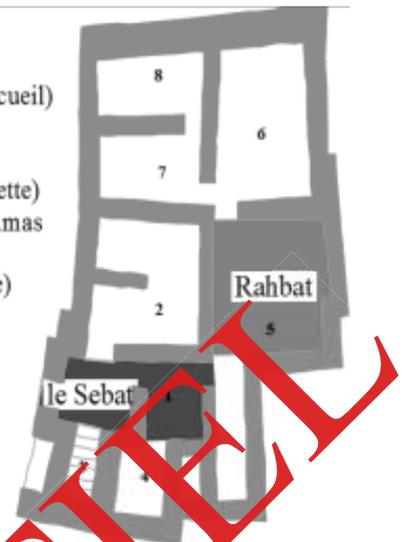


Figure 21. Plan maison à Rahba et Sabbat.
Source : repris d'après MATEC 2008.

- ❖ Typologies Constructives :

La présence en abondance du matériau terre a favorisé son utilisation dans la ville de *Timimoun* à l'instar de tous les ksour du Sud. Ce matériau est utilisé dans chaque élément structurel, dans les mortiers, enduits ainsi que pour les couvertures.

Le bois est un autre matériau utilisé dans ce cas c'est le palmier et toutes ses composantes qui ont été utilisés; le stipe ou tronç, la palme et la crosse de palmier. Il a été utilisé dans les couvertures; les planchers mais aussi dans les franchissements et ouvrants.

La pierre ou "*Tafza*" un autre matériau local a également été utilisé dans la construction à *Timimoun*. Elle a été utilisée dans certaines parties de la structure comme les fondations, mais aussi dans les escaliers.

Nous avons relevé plusieurs techniques de construction qui sont classées en ordre par structure verticale, structure horizontale et franchissements.

- La structure verticale :

Les fondations constituent le premier élément structurel rattaché à la verticalité. Ils sont réalisés dans des tranchées de largeur uniformes correspondant à la largeur des murs. Ils sont généralement à une profondeur de 50 à 80 cm car nous sommes en présence d'une bonne qualité de sol. Ils sont construits avec des moellons de pierres souvent la "*Tafza*" liés avec un mortier de terre et chaux. Ces fondations peuvent atteindre

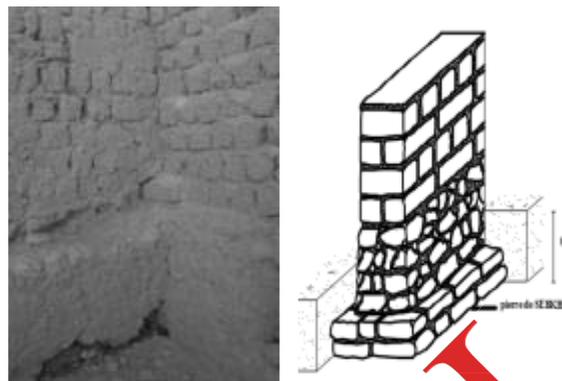


Figure 22 a et b : mur en adobe avec soubassement en pierre.

© Auteur 2014, dessin repris d'après MATEC 2008.

une hauteur de 1m80 au-dessus du niveau zéro pour former un soubassement qui résisterait à l'effritement résultant des eaux pluviales (fig 22 a et b).

Les murs sont de deux types en adobe et en pierres :

Ceux réalisés en adobe sont les plus courants, ils sont soit doubles soit simples. Les murs doubles ont deux assises, l'une disposée en carreau et l'autre en boutisse. Ceux à un seul parement ont des assises disposées en boutisse créant ainsi la même largeur de 45 cm. Ces murs sont enduits avec un mortier de terre. Les murs

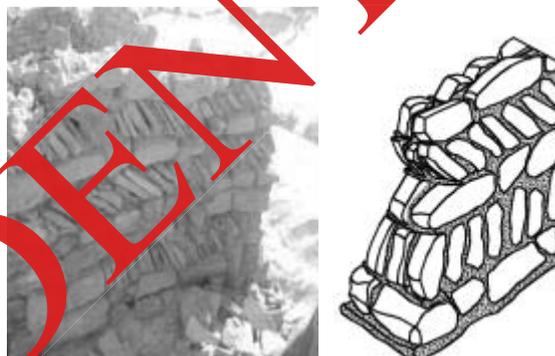


Figure 23 a et b : mur en pierre.

© MATEC 2008 dessin repris d'après MATEC 2008.

en pierres la "*Tafza*" sont de deux types, les moellons non équarris disposés de manière aléatoire pour former des murs de 60 cm. Ceux sont généralement des murs de rempart, de contrefort ou de soulassement.

Le 2^e type est un "*opus spicatum*" ou appareillage en arête de poisson composé d'assises de pierres posées à plat au-dessus desquelles est disposée une assise à 45°. Ces murs atteignent la largeur de 60 cm. Ils sont utilisés comme murs dans certaines habitations du ksar (fig 23 a-b).

- La structure horizontale :

Elle concerne tous les franchissements comme les planchers, les linteaux et les arcatures.

Les planchers et toits terrasse à *Timimoun* sont en bois. On utilise le palmier avec toutes ses composantes.

Les éléments porteurs sont les troncs de palmiers, généralement des demi-palmiers dont les espacements entre les uns et les autres varient en fonction du matériau de support. Nous avons ainsi trois types de support, des support en palme "*El Djérid*" formant un tapis continu disposé en "*tête-bêche*" (fig 24 a-b), des supports en crosse de palmier "*El Kernef*" formant un plancher en

lattes de bois (fig 26 a-b), des supports en roseaux "*Al Ksab*" formant une couverture serrée, des supports en moellons de "*Tafza*" formant une dalle (fig 26 a-b). Au-dessus de ces différents supports est disposée une couche de mortier de terre argileuse de 15 à 20 cm. Pour la construction des toits-terrasse, on dame de la terre battue puis on pose une couche de mortier de chaux afin d'assurer l'étanchéité.

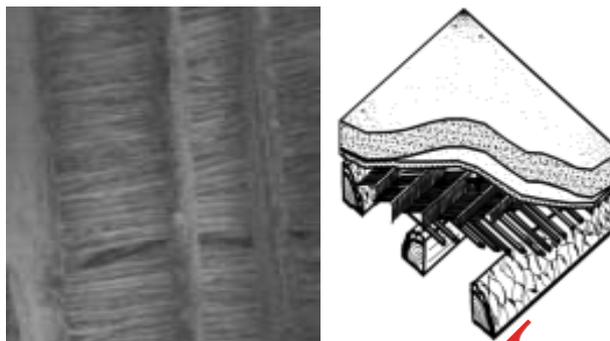


Figure 24 a et b : plancher à Djérid.

© Auteur, dessin repris d'après MATEC 2008

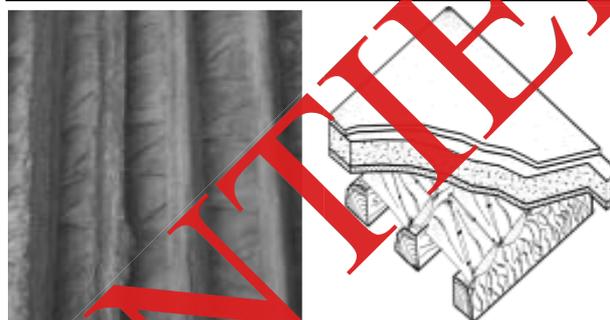


Figure 25 a et b : plancher à Kernef.

© Auteur, dessin repris d'après MATEC 2008

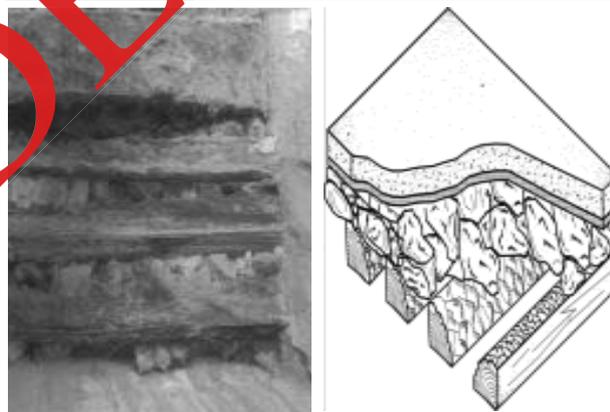


Figure 26 a et b : plancher à Tafza.

© Auteur, dessin repris d'après MATEC 2008

Les couvertures maçonnées comme les voutes et coupoles sont surtout utilisés dans les édifices religieux tels que les mosquées et les tombeaux sacrés, dans les mausolées et pour couvrir les foggaras. Les voutes sont soit de forme ogivale à base circulaire ou des pyramides (fig 27 a-b).

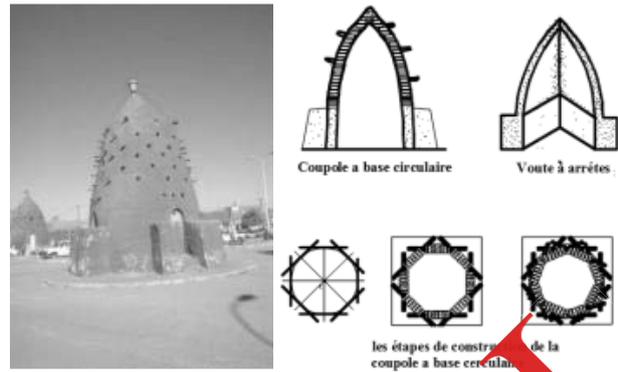


Figure 27 a et b : Couverture de foggaras.

© Auteur, dessin repris d'après MATEC 2008

Les ouvrants tels que les portes et fenêtres sont franchis soit par des linteaux en bois (fig 28 a et b), soit par dalles en pierres lorsque les ouvertures sont petites, soit par des arcatures maçonnées de forme plein cintre (fig 29 a et b), outrepassé ou surbaissé (fig 30 a et b).

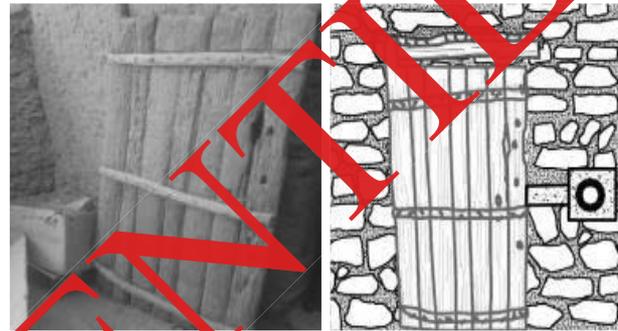


Figure 28 a et b : Porte en linteau.

© Auteur, dessin repris d'après MATEC 2008

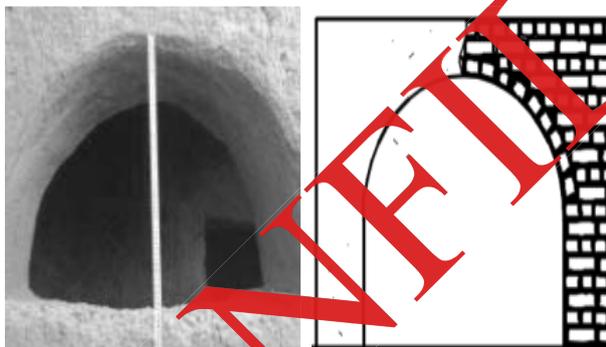


Figure 29 a et b : ouverture avec arcature plein cintre.

© Auteur, dessin repris d'après MATEC 2008

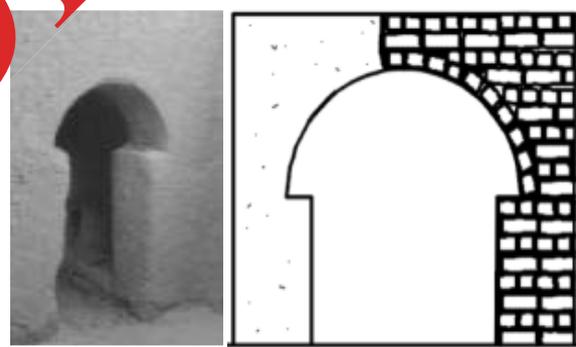


Figure 30 a et b : ouverture avec arcature outrepassé.

© Auteur, dessin repris d'après MATEC 2008

Les escaliers sont maçonnés entre deux murs, ils sont droits à une ou deux volées (fig 31), ou en L (fig 32). La hauteur des marches est relativement élevée 30 cm.

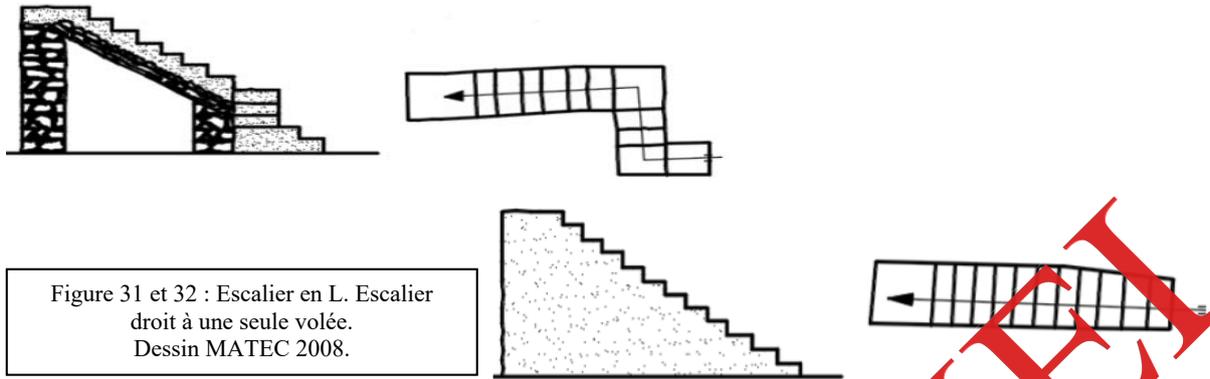


Figure 31 et 32 : Escalier en L. Escalier droit à une seule volée.
Dessin MATEC 2008.

Typologie architectonique :

Les éléments architectoniques de *Timimoun* sont variés, on trouve :

Des arcades pour franchir et supporter les galeries de la "*Rahba*", ou pour franchir des ouvrants, ou des niches maçonnées dans les murs. Elles sont de forme plein cintre ou demi-lune (fig 33).



Figure 33 : Ouverture de forme plein cintre.
© Auteur.

Les claustras sont maçonnés en forme géométrique assurant une ventilation naturelle. Les losanges sont entrecoupés horizontalement (fig 34). Ces mêmes éléments sont utilisés comme soulignage des hauts de murs (fig 35).



Figure 34 et 35 : Claustras.
© Auteur.

Les contreforts, maçonnés enduits de boules de terre "*al labza*" (fig 36 a et b).

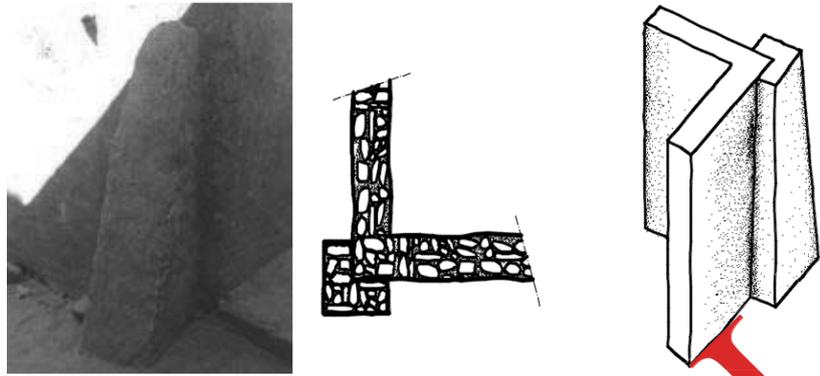


Figure 36 a et b : Contrefort.

© Auteur, dessin repris d'après MATEC 2011

Les enduits, "*el labza*" une sorte de boule de mortier projetée sur les murs pour donner une texture ondulée et les protéger des ruissellements des eaux pluviales est utilisée à Timimoun et lui donne une spécificité (fig 37).

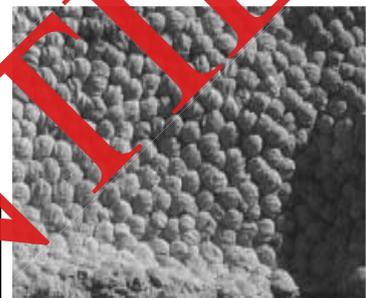


Figure 37 : El labza.

© Auteur

2. Construction coloniale :

La ville s'est construite en face du ksar extra muros. Elle est organisée selon un tracé en damier typique des villages coloniaux offrant une façade urbaine portée par un boulevard important sur lequel se sont implantés les édifices du nouveau pouvoir dont l'architecture est inspirée du Soudan "*le néo soudanais*" (fig 38).

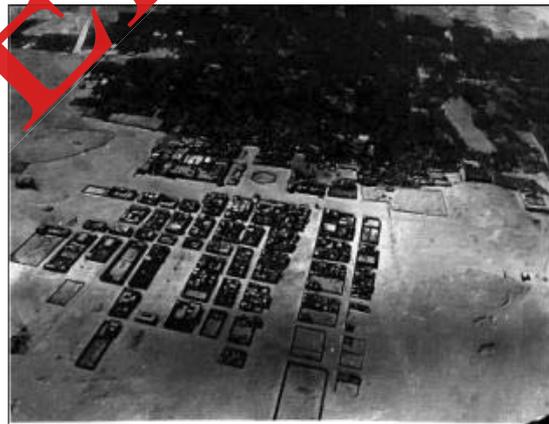


Figure 38 : Village Colonial.

© Archive

a. Construction majeur « L'Oasis Rouge²² » :

L'Oasis Rouge est aujourd'hui l'unique édifice public bâti en terre de toute la daïra de Timimoun, ce chef d'œuvre architectural est le dernier témoin du style néo-soudanais (fig 39).



Figure 39 : L'Oasis Rouge.

© Auteur

²²Dossier de classement de l'Oasis Rouge

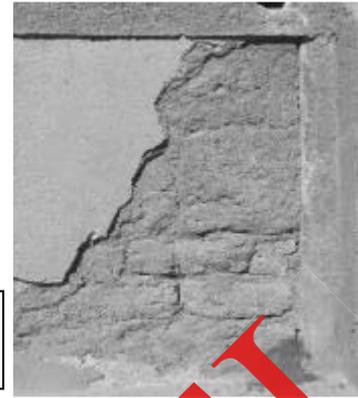
❖ Typologie constructive :

L'Oasis Rouge a été réalisé dans le plus grand respect des techniques et matériaux de construction traditionnels.

Les murs porteurs, d'une épaisseur moyenne de 50cm, sont réalisés en adobe (fig 40).

Figure 40 : Mur en Adobe.

© Auteur



La couverture, est réalisée grâce à des quarts de troncs de palmiers entre lesquels sont disposées deux rangées de bases de palmes (Kerf), avant d'être recouverts d'une épaisse couche de terre argileuse, imperméabilisée grâce à une fine couche de chaux (fig 41).

Figure 41 : Couverture.

© Auteur



La façade principale de l'édifice, rythmée par d'imposants contreforts incrustés de morceaux de troncs de palmiers, est constituée d'une longue galerie d'arcades fermées par un système traditionnel de claustras. L'entrée principale, surmontée d'un auvent, est enchâssée entre deux contreforts (fig 42).

Figure 42 : Image de synthèse de la façade de l'Oasis Rouge.

Source : ATM 3D et Y.TERKI



A l'intérieur, les murs du vestibule ainsi que ceux du couloir sont entièrement décorés de motifs géométriques ou en arabesques sculptés dans une pâte d'argile (fig 43).

Figure 43 : Intérieur de l'Oasis Rouge.

© Kays DJILALI



b. Construction mineur « Dar Me. Omar » :

Le lotissement dont la maison fait partie appartient au village de la période coloniale, elle donne sur la rue dite « *Zenqette Twareg* », elle a été édifiée dans la période des années 60.

❖ Typologies constructives :

La construction est mixte à l'origine construite en adobe.

Les murs porteurs, d'une épaisseur moyenne de 35 à 40cm, sont réalisés en adobe, avec un soubassement en pierre « Tafza » (fig 44).

Figure 44 : Mur et Soubassement.

© CAPTerre.



La couverture est réalisée grâce à des troncs de palmier, sur lesquels sont posés des cannes, avant d'être recouverts avec du foin et d'une couche de terre (fig 45).



Figure 45 : Couverture.

© CAPTerre.

Les escaliers sont maçonnés entre deux murs, ils sont droits à une volées. La hauteur des marches est relativement élevée entre 25 et 30 cm (fig 46).

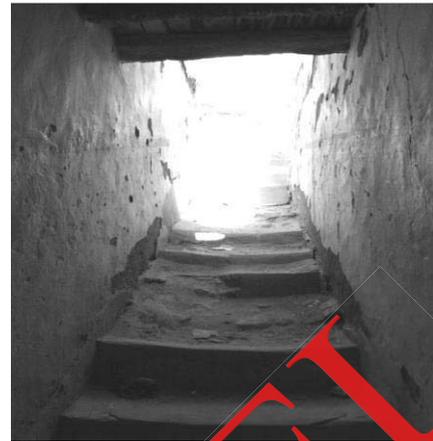


Figure 46 : Escalier droit.

© CAPTerre.

La façade de la demeure, est soutenu par 03 contreforts (fig 47).



Figure 47 : Façade.

© Auteur.

3. Construction contemporaine projet de « Talla » :

A 50Km de Timimoun se situe Talla, un petit village de la région avec peu d'habitant.

La région de Talla a assistée vers les années 2000 à la naissance du 1^{er} projet contemporain construit avec les matériaux locaux, le projet en question est un camp de vacances construit avec les savoirs faire ancestraux de la région de Timimoun. Le projet a drainé un grand nombre de touristes pour visiter la région.

❖ Typologie Constructives :

Les murs porteurs, d'une épaisseur moyenne de 40 à 45cm, sont réalisés en adobe, avec un soubassement en pierre (fig 48).



Figure 48 : Mur et soubassement en pierre.

© Auteur.

A l'intérieur, le seul mur de séparation est celui qui sépare entre la chambre et la salle de bain, on retrouve au milieu de la chambre un tronc de palmier qui fait office d'un poteau porteur pour la couverture.

La couverture, est réalisée grâce à des quarts de troncs de palmiers sur lesquels sont posées des pierres (Tafza), avant d'être recouverts d'une épaisse couche de terre, imperméabilisée grâce à une fine couche de chaux (fig 49).



Figure 49 : Tronc de Palmier et couverture.

© Auteur.

CHAPITRE III
Essai pratique sur la brique d'adobe

CONFIDENTIEL

1. Proposition et modélisation d'une brique d'adobe, une innovation dans le matériau terre :

L'adobe est de l'argile qui, mélangée à l'eau et à une faible quantité de paille hachée ou à un autre liant, peut être façonnée en briques séchées au soleil. Par extension, l'adobe est la brique de terre crue, moulée et séchée au soleil, elle est utilisée comme matériau de construction²³.

Il s'agit de l'un des premiers matériaux de construction : les premières villes connues étaient construites en briques de terre crue. Ce matériau est encore l'un des plus utilisés au monde.

L'innovation que je propose dans ce mémoire consiste dans un premier temps en une nouvelle forme de brique d'Adobe. Nous avons essayé de modéliser cette dernière d'une forme curviligne des six (06) faces. Ses dimensions sont de 30 x 15 x 10 (fig 50).

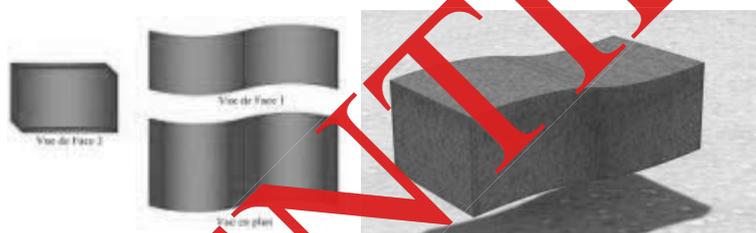


Figure 50: Modélisation d'un modèle de brique
© Auteur.

La forme de cette brique est inspirée de la « Labza » enduit de la région de Timimoun mais aussi utilisée par un constructeur tunisien qui vante ses bienfaits²⁴ pour obtenir différents aspects de



Figure 51 : Modèle de la brique et Matérialité exprimée par les différents assemblages de la brique de terre.
© Auteur.

matériau, d'esthétique, de diminution de rayonnements solaires et permet aussi grâce à sa forme de répondre à la correction acoustique dans les espaces qui le nécessitent telles que les salles de conférences, auditorium, salle de spectacles ... La forme proposée curviligne est l'une des formes les plus recommandée ainsi pour les ombres propres, ainsi que pour la diffusion du son en acoustique (fig 51). Cette brique assemblée de deux manières minimum nous donnera des aspects multiples:

²³ Corpus Ouvrage collectif, 2003. Architecture Traditionnelle Méditerranéenne, Chapitre 1.10.

²⁴ RSRV- ArtLand- Cal-Earth Nadhir Khalili

- Matérialité volumétrique sur les façades externes, produisant des effets d'ombre pour réduire du rayonnement solaire.
- De par les nombreux redans entre les lignes de briques nous obtenons un écoulement des eaux diminuant du ruissellement direct sur les faces.
- Matérialité intérieure sur les murs offrant une esthétique grâce aux nombreuses combinaisons possibles d'assemblage.
- Des parois acoustiques pour les salles de conférences ou de spectacle permettant la réflexion du son.

2. Essai d'amalgame pour la confection d'une brique de terre innovante :

Le second aspect d'innovation réside dans la composition de la brique c'est à dire les amalgames pour produire une brique qui résisterait à l'eau sans pour cela passer par la compression. Dans ce qui suivra on présentera les différents essais ou protocoles pour vérifier la résistance.

La méthode qu'on a utilisé pour élaborer ce travail est celle de CRATerre, pour leur expériences dans le domaine de l'architecture de terre, mais aussi parce que leur ouvrage est très bien illustré et bien expliqué pour les méthodes traditionnelles et ou les méthodes de chantiers. Leurs tests ont été essayés et approuvés.

Pour la confection d'une brique de terre innovante, on a opté pour trois (03) protocoles d'essais :

Brique Traditionnelle ²⁵	Protocol 1 (Brique d'Adobe + 20% de chaux aérienne = Brique Résistante) ?	Protocol 2 (Brique d'Adobe + 20% de chaux aérienne = Brique Résistante) ?	Protocol 3 (Brique d'Adobe + l'huile de vidange = Brique Etanche) ?
75% Terre Argileuse 5% Eau 20% Paille Hachée	Terre Argileuse Eau Paille Hachée + 20% de chaux aérienne	Terre Argileuse Eau + 20 % de chaux aérienne	Terre Argileuse Eau Paille Hachée + l'huile de vidange

²⁵ Idem, CORPUS.

3. Identification des matériaux et du matériel :

a. Matériaux :

- La terre :

D'une couleur rouge, c'est une terre argileuse et siliceuse (Fig 52).

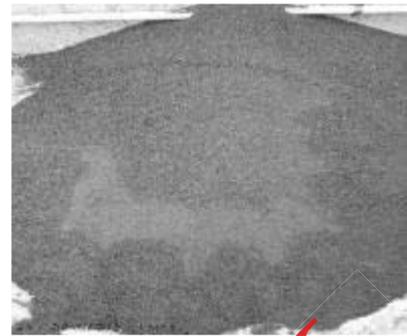


Figure 52 : Terre Rouge

© Auteur.

- La paille :

C'est la partie de la tige de certaines graminées, dites céréales à paille (blé), coupée lors de la moisson. Elle est employée comme matériau de construction depuis des temps immémoriaux. La paille a servi d'armature dans le mortier de terre, soit la chape sur les planchers, ou le hourdage entre les poteaux des cloisons. Dans la construction en paille, elle est compactée en bottes parallélépipédiques, réunies à la façon de briques de lego. Dans la couverture, rassemblée en botte, elle prend le nom de chaume (Fig 53)



Figure 53 : La Paille.

© Auteur.

- La chaux aérienne :

C'est une matière poudreuse de couleur blanche, vive de la région de BERNAÏNE à GHERDAÏA (Fig 54). Elle a été choisie comme matériaux de stabilisation. Les caractéristiques de ces chaux sont reconnues dans les projets de restauration en Algérie. Et son mélange avec de la terre et de la brique pilée a donné de bons résultats.

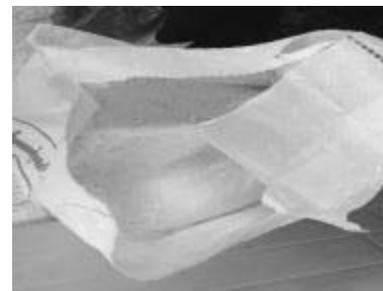


Figure 54 : La Chaux aérienne.

© Auteur.

- L'huile de vidange :

C'est une huile obtenue après une vidange d'un moteur (Fig 55) et qui est utilisé comme remplacement au bitume. Le choix de ce produit s'est fait sur la base de ses composants similaire au bitume humide et pour sa gratuité (on l'obtient auprès des stations de vidanges).



Figure 55 : L'huile de vidange.

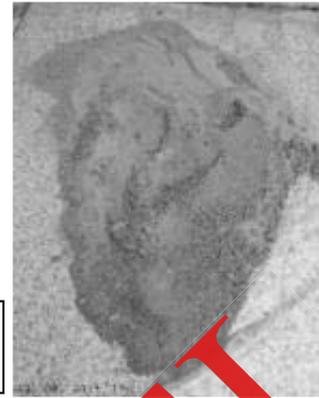
© Auteur.

- Le sable :

C'est un sable destiné pour le revêtement, nous l'avons utilisé en tant que surface de séchage pour que les briques ne collent pas, mais aussi nous l'avons utilisé pour revêtir le coffrage à fin de bien décoffrer (Fig 56).

Figure 56 : Le Sable.

© Auteur.



- L'eau :

L'eau de gâchage que nous allons utiliser pour les amalgames est une eau du robinet de qualité dur, nous n'avons pas pu avoir la teneur de l'eau, mais elle contient beaucoup de sels de calcium qui se transforment en calcaire.

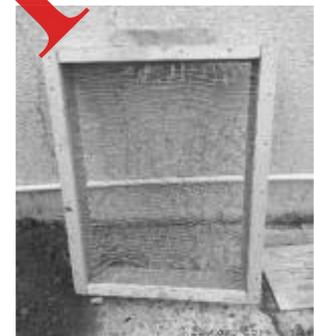
Matériels :

- Le tamis de construction :

C'est une grille de maillage plus ou moins fine (0.02/0.02), servant à trier les particules solides, fixée sur un cadre. Dans la construction il sert pour tamiser le sable ou la terre lors de la fabrication de mortier, et les granulats (Fig 57).

Figure 57 : Tamis.

© Auteur.



- Le moule à briques :

Il s'agit d'un cadre provisoire destinée à contenir un matériau de construction. Ces dimensions sont de 30 cm x 15 cm x 10 cm soit les dimensions d'une brique de terre. Dans notre expérimentation on a utilisé un coffrage de 4 moules (Fig 58) pour pré fabriquer d'un seul coup 4 prototypes. Nous avons utilisé deux moules identiques.

Figure 58 : Moule à brique.

© Auteur.



- Le malaxeur planétaire :

Ce genre de malaxeur convient parfaitement pour la préparation de la boue, même si celle-ci doit être mélangée à des fibres végétales (Fig 59).



Figure 59 : Malaxeur planétaire.

© Auteur.

- Pelle, seau et bassines.

4. Analyse préliminaire et analyse visuelle des fines :

a. Analyse préliminaires :

- Examen visuel :

Après une première vue sur la terre sèche et avant le tamisage, nous avons remarqué qu'elle a une importante fraction sableuse et fraction fines. Nous pouvons remarquer à travers la (Fig 60) que nous pouvons voir les deux fractions à l'œil nu (même pour les graviers d'un diamètre inférieur à 0.08 mm).

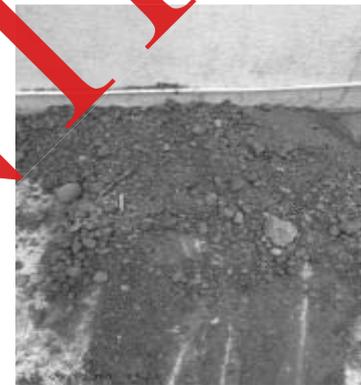


Figure 60 : Examen Visuel.

© Auteur.

- Essai de l'odeur :

La terre qu'on utilise a été exposée pendant plusieurs jours au soleil, c'est une terre sèche qui n'a aucune odeur.

- Essai au toucher :

Après avoir enlevé toutes les grosses particules de la terre, et de l'avoir effrité entre les doigts et la paume de la main, on a éprouvé une sensation de rugosité, ce qui implique que la terre est sableuse, mais aussi lors de l'humidification, la terre est devenue moyennement plastique ce qui implique aussi que la terre est argileuse.

- Essai de lavage :

On a effectué un lavage des mains avec de la terre légèrement mouillée et après rinçage qui n'était pas trop difficile avec une sensation savonneuse, on conclue que la terre est sableuse et argileuse (Fig 61).



Figure 61 : Essai de lavage.

© Auteur.

- Essai d'adhérence :

Après avoir confectionné une masse de terre humide qui ne colle pas aux doigts, on a enfoncé un couteau, la remarque qu'on a faite est que la terre est moyennement argileuse car le couteau a pénétré sans grande difficulté et la terre a adhéré quand on l'a retiré (Fig 62).



Figure 62 : Essai d'adhérence.

© Auteur.

- Essai de sédimentation :

Après avoir effectué tous les tests pour avoir eu une idée sur la texture et les quantités de fractions de la terre, on a fait un essai de sédimentation simplifiée sur le chantier. On a utilisé une bouteille en plastique transparente, cylindrique à fond plat, de capacité de 0.75 L et doté d'un col plus au moins large (Fig 63). La procédure est la suivante :



Figure 63 : Essai de sédimentation.

© Auteur.

- Remplir le flacon avec de la terre jusqu'au $\frac{1}{4}$ de la hauteur de la bouteille.
- Compléter les $\frac{3}{4}$ du volume avec de l'eau pure.
- Laisser reposer la bouteille pour permettre une imprégnation par une trituration manuelle.
- Fermer l'ouverture avec son couvercle et agiter vigoureusement la bouteille.
- Laisser décanter le mélange troublé sur une surface horizontale.
- Agiter de nouveau 1 heure après et laisser décanter (24H après).

Le résultat obtenu est une proportion de 50% entre sable et terre. Vers le haut au-dessus de l'eau un fin dépôt de matières végétales est fixé. L'observation sur la figure 63 est bien claire.

b. Analyses visuelles des fines :

• Test de consistance :

Après avoir confectionné une boule de mortier fin de 3 cm de Ø. On a modelé et roulé la boule sur une surface plane et propre, on a obtenu un cordon mince de 23 cm de long et dur, le cordon s'est fractionner lorsque son Ø était à presque 4 cm. Ce qui implique qu'il y a une bonne quantité d'argile (Fig 64).

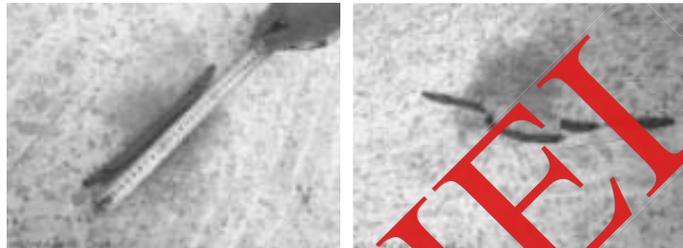


Figure 64 : Test de consistance.

© Auteur.

5. La production des prototypes :

Durant les essais de tous les protocoles, la méthode était la même, seuls les dosages ont changé.

Avant de commencer les essais, nous avons étalé le sable afin d'avoir une surface plane pour l'utiliser en tant que surface de séchage pour les briques et éviter tout collement avec le sol.

• Brique Traditionnelle : (2 briques)

Nous avons pris 75 % (soit 7 pelles et demie) de terre, après l'avoir tamisé nous l'avons mélangé à sec avec 20 % (sois 2 pelles) de paille hachée de 1 à 10 cm de long (Fig 65).



Figure 65 : Terre, paille et eau.

© Auteur.

Nous avons versé 5 % d'eau dans le seau, puis nous avons rajouté le mélange au fur et à mesure pour que la terre n'absorbe pas rapidement toute la quantité d'eau.

A l'aide d'un malaxeur planétaire nous avons fait le mélange pour obtenir la boue plus facilement (Fig 66).

Après cela nous avons versé le mélange dans les moules puis avons décoffré (Fig 67).

Figure 66 : Mélange avec malaxeur.

© Auteur.



Figure 67 : Brique Traditionnelle après décoffrage.

© Auteur.



Protocol 1 : (2 briques)

Nous avons pris 70 % (soit 7 pelles) de terre après l'avoir tamisé nous l'avons mélangé à sec avec 20 % (soit 2 pelles) de chaux aérienne et 10% (soit une pelle) de paille hachée de 1 à 10 cm de long (Fig 68). La quantité de chaux ajoutée a été déterminée suite à une référence qui expliquait le mélange de mur en pisé en Espagne durant la période médiévale. Pour obtenir un mur résistant cette quantité de chaux (soit 20%) a été ajoutée et a permis au patrimoine bâti de Valence de perdurer jusqu'à nos jours²⁶

Figure 68 : Terre, paille et 20% de chaux à sec.

© Auteur.



Nous avons versé plus de 5 % d'eau dans le seau (parce que la chaux absorbe l'eau rapidement), puis nous avons rajouté le mélange au fur et à mesure pour que la terre et la chaux n'absorbent pas rapidement toute la quantité d'eau.

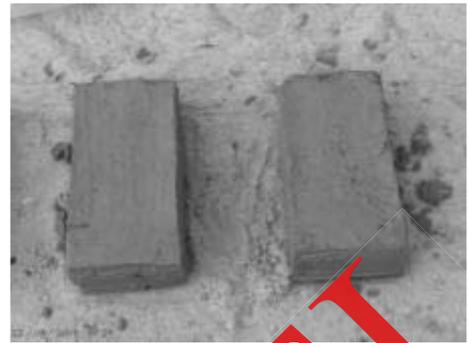
²⁶ Cristini V et Chéca J.R.R 2009. A historical Spanish traditional masonry techniques: some feature about *Tapia Valenciana* as a reinforced rammed earth wall. Actes du 11ème Symposium Canadien sur la maçonnerie. pp

A l'aide d'un malaxeur planétaire nous avons fait le mélange pour obtenir la boue plus facilement.

Après cela nous avons versé le mélange dans les moules et décoffré aussitôt (fig 69).

Figure 69 : Protocol 1 (20% de chaux).

© Auteur.



- Protocol 2 : (2 briques)

C'est le même protocole que le protocole 1 sauf que nous avons enlevé cette fois la paille hachée :

Nous avons pris 70 % (soit 7 pelles) de terre après l'avoir tamiser nous l'avons mélangé à sec avec 20 % (soit 2 pelles) de chaux aérienne.

Nous avons versé plus de 5 % d'eau dans le mélange (parce que la chaux absorbe l'eau rapidement), puis nous avons rajouté le mélange au fil et à mesure pour que la terre et la chaux n'absorbent pas rapidement toute la quantité d'eau.

A l'aide d'un malaxeur planétaire nous avons fait le mélange pour obtenir la boue plus facilement.

Après cela nous avons versé le mélange dans le moule (Fig 70).

- Protocol 3 (1 brique)

Nous avons pris 70 % (soit 7 pelles) de terre, après l'avoir tamiser nous l'avons mélangé à sec avec 20 % (soit 2 pelles) de paille hachée de 1 à 10 cm de long et 5% (soit une tasse) d'huile de vidange (Fig 71).

Figure 71 : huile de vidange.

© Auteur.



Nous avons versé 5 % d'eau dans le seau plus 5 % d'huile de vidange, puis nous avons rajouté le mélange au fur et à mesure pour que la terre n'absorbe pas rapidement toute la quantité d'eau.

A l'aide d'un malaxeur planétaire nous avons fait le mélange pour obtenir la boue plus facilement.

Après cela nous avons versé le mélange dans le moule (Fig 72).

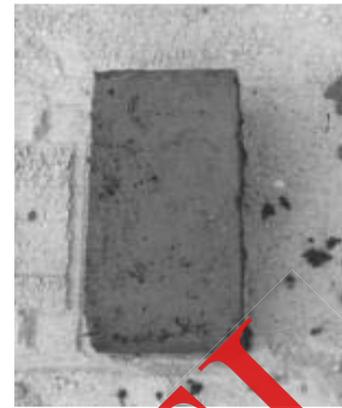


Figure 72 : Protocol 3 (huile de vidange).
© Auteur.

Après avoir terminé tous les mélanges, nous avons soulevé le coffrage pour obtenir enfin les briques. Nous avons couverts les briques avec un sac transparent et nous avons laissé sécher au soleil pendant 2 jours. Après ce temps nous avons enlevé le sac transparent et nous avons laissé sécher à l'air libre et au soleil pendant deux semaines (Fig 73).



Figure 73 : Briques pendant le séchage.
© Auteur.

6. Les observations après séchage

Après une première semaine de séchage :

Les briques à base de terre et de chaux ont bien séché, les autres briques sont restées toujours humides et molles (Fig 74).



Figure 74 : Briques après une semaine de séchage.
© Auteur.

❖ Remarque :

On remarque quelques fissures au niveau de la surface des briques traditionnelles (Fig 75).

Figure 75 : fissure au niveau de la surface.

© Auteur.



Après deux semaines de séchage :

Toutes les briques ont séché (Fig 76).

Figure 76 : Briques après deux semaines de séchage.

© Auteur.

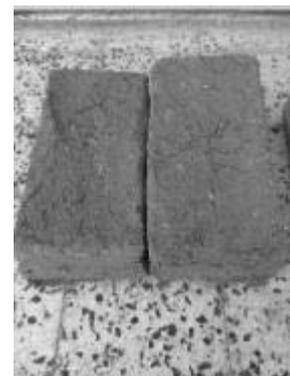


❖ Remarque :

Nous avons remarqué que les fissures au niveau de la surface des briques traditionnelles sont restées telles qu'elles étaient après une première semaine de séchage (Fig 77).

Figure 77 : Fissure au niveau de la surface.

© Auteur.

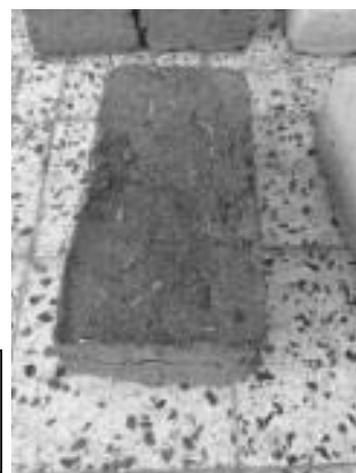


Par rapport aux briques à base de chaux, nous avons relevé aucune fissure ou détérioration.

La brique à base d'huile de vidange s'effrite au touché (Fig 78).

Figure 78 : Effritement au toucher.

© Auteur.



Le tableau ci-dessous est un récapitulatif des différents protocoles que nous avons fabriqué :

Brique Période	Brique Traditionnelle	Protocol 1	Protocol 2	Protocol 3
Semaine 1 (Du 22/08 au 29/08)	Humide et molle avec apparition de fissure.	Humide et dure	Humide et dure	Humide et Molle avec effritement.
Semaine 2 (Du 29/08 au 05/09)	Sèche et fissurée	Sèche et dure	Sèche et dure	Sèche avec effritement.

7. Les essais :

Après deux semaines de séchage, nous avons mesuré le poids propre de chaque brique et nous avons fait aussi des essais de chantier seulement sur, l'absorption d'eau, la compression et la traction non pu être effectué car nous ne disposions pas de matériel.

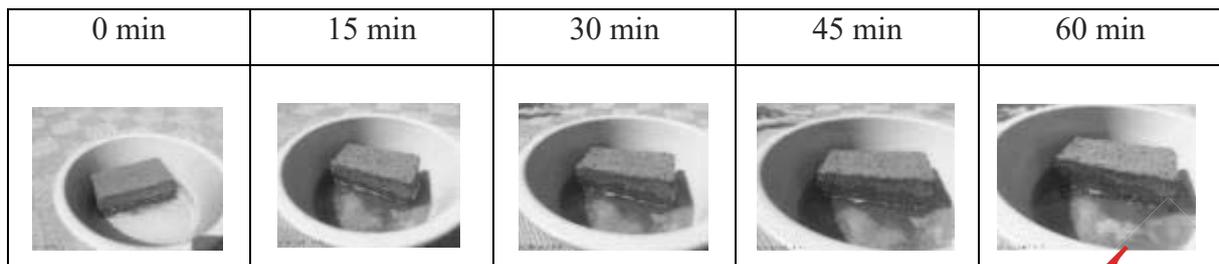
- Poids propre :

Le poids propre des briques est le même pour tous les amalgames, malgré leurs différence de mélange et il est de 7 Kg.

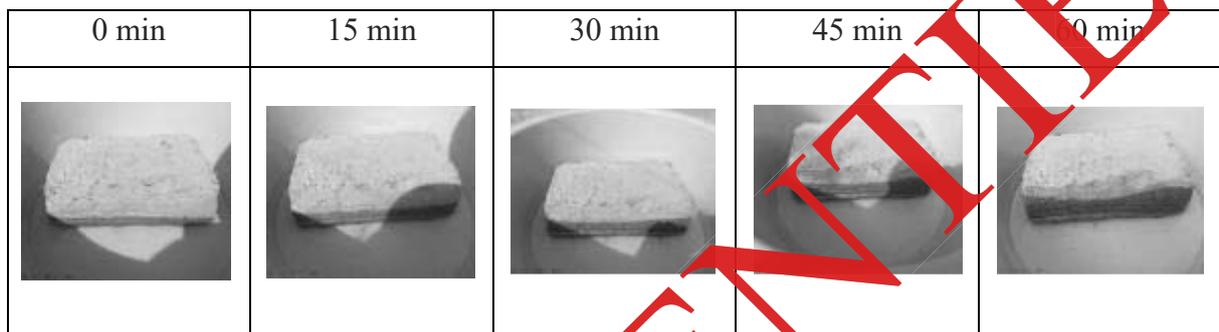
- Absorption d'eau par capillarité :

Nous avons rempli des bassines jusqu'à 2cm de hauteur d'eau, et nous avons posé les briques à l'intérieure pendant une heure et nous les avons contrôlé tous les quart d'heure.

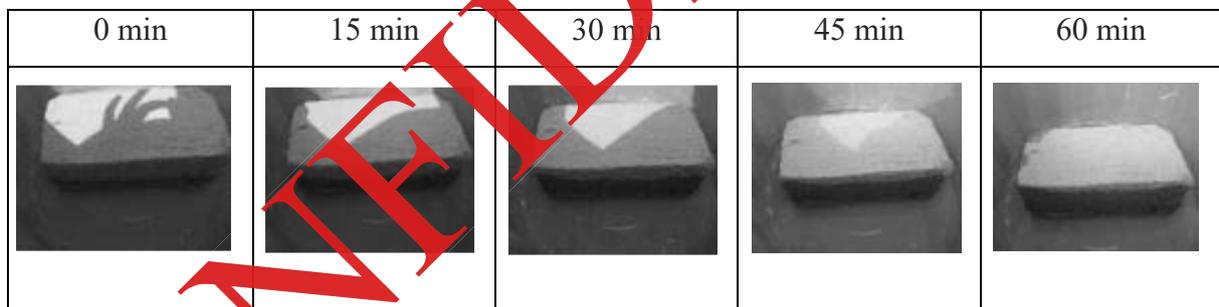
Brique traditionnelle :



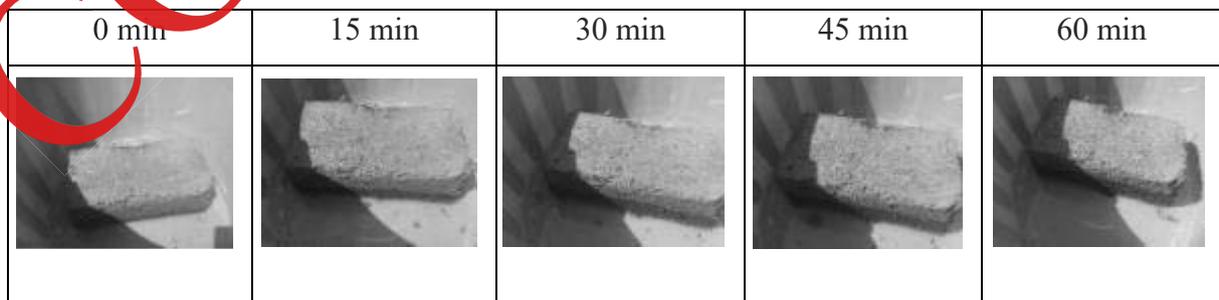
Protocole 1 :



Protocole 2 :



Protocole 3 :



❖ Remarque :

Après avoir réalisé les essais d'absorption d'eau on remarque des réactions différentes dans chaque protocole :

• Brique traditionnelle :

Après une heure d'absorption d'eau, on remarque que la brique s'est détériorée au niveau de la base et est redevenue molle après absorption d'eau (Fig 99).

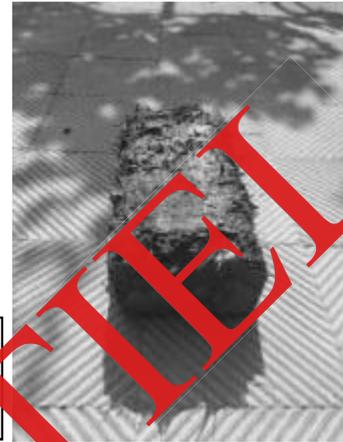


Figure 99 : Détérioration de la brique.

© Auteur.

• Protocole 1 et 2 :

Nous avons remarqué dans ces deux protocoles que l'absorption d'eau s'est faite d'une manière très rapide en seulement une heure. Malgré cette rapidité d'absorption la brique reste dure et ne montre aucune détérioration ou fissure à cause de l'eau (Fig 100 et 101).

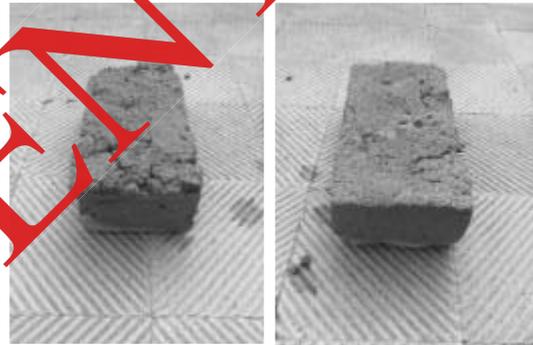


Figure 100 et 101 : Protocole 1 et 2 après absorption d'eau.

© Auteur.

• Protocole 2 :

Pour la brique à base d'huile de vidange, nous avons remarqué que l'absorption était lente à cause de l'huile que contient cette brique. Nous avons remarqué que cette dernière s'effrite au toucher et est redevenue molle après l'absorption (Fig 102).



Figure 102 : effritement après absorption.

© Auteur.

- Compression et traction :

Les essais de la compression et de la traction n'ont pas pu être réalisés par manque de matériels. Pour la compression il faut une presse qui peut atteindre les 400 KN, et pour la traction il faut un plateau avec un rythme de 250 Kg / minute.

8. Production de la brique innovante :

Après avoir fait une modélisation numérique de la brique, nous avons constaté que le moule doit être confectionné avec des machines et non manuellement.

a. La confection du moule :

A partir de la modélisation 3D de la brique, la conception du moulage selon le principe de deux éléments distincts qui composeraient le moule final a pris forme en tenant compte des paramètres suivants :

- Partie supérieure qui compose la base du moule selon le principe d'une assise plane solidaire du fond du moule épousant la forme curviligne de la brique.
- Partie supérieure composée de quatre (04) faces latérales de la brique respectant les formes de chacune d'entre elle.
- Le haut du moule serait quant à lui sans couvercle afin de permettre de travailler manuellement la 6^{ème} face curviligne, ainsi que le remplissage correcte du moule et permettre le démontage final.

Quant au matériau utilisé pour une confection première du moule, le choix s'est porté sur l'utilisation du bois compte tenu de la possibilité de plusieurs essais lors de la fabrication.

L'utilisation d'une défonceuse numérique nous a permis de faire une découpe précise de la forme de la brique (Fig 103).

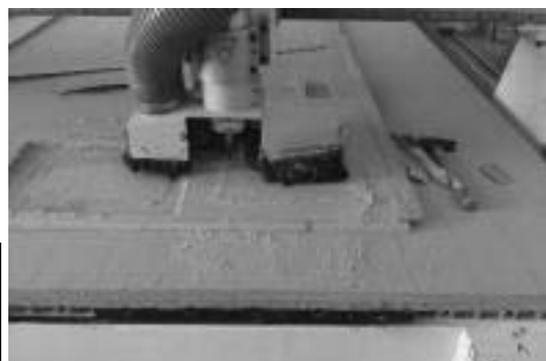


Figure 103 : Découpage avec une défonceuse numérique.

© Auteur.

En associant ainsi plusieurs épaisseurs de MDF, coupés puis collés nous avons obtenu la partie supérieure du moule (Fig 104).

Figure 104 : Epaisseur obtenue après découpage.

© Auteur.



Après collage de ces épaisseurs, la forme curviligne sur la partie supérieure s'est faite à l'aide d'une scie à ruban.

Quant à la partie inférieure, elle a été travaillée entièrement sur la défonceuse numérique à plat et en 3D (Fig 105).

Figure 105 : Le moule fini (partie supérieure et partie inférieure).

© Auteur.



b. La brique innovante :

Après avoir effectué tous les essais et après lecture de résultat, notre choix s'est porté sur la brique d'adobe avec 20 % de chaux aérienne (Protocole 1) et 10% de paille, pour sa dureté et sa rapidité au séchage durant la production et après les essais d'absorption d'eau par capillarité. Nous avons alors confectionné la brique que nous avons modélisé tout au début de cette étude (Fig 106, 107 et 108).

Pour la fabrication d'un prototype de portion d'un mur, il nous faut deux types de briques :

- Les briques à 6 faces curvilignes.
- Les briques à 5 faces curvilignes et 1 face plate : c'est la brique de la 1ère assise.



Figure 106, 107 et 108 : La brique innovante finie après démoulage.

© Auteur.

9. Conclusion :

Nous sommes passés par plusieurs étapes, lors de la confection de cette brique innovante tantôt faciles et tantôt difficiles. Faciles du point de vue de la production puisque nous avons suivi tous les protocoles. Par contre la difficulté que nous avons rencontrée était dans l'approvisionnement des matériaux tels que la bonne qualité de terre et le transport tardif de la chaux aérienne de Ghardaïa.

Toutes ces contraintes nous ont diminués du temps nécessaire de la production et du séchage favorable pour la brique d'adobe, sachant que le temps nécessaire est de 20 jours, et nous avons eu seulement 15 jours de séchage, pour commencer les essais compte tenu des délais de dépôt du mémoire.

Néanmoins, la période du mois d'aout a été marquée par une température exceptionnellement élevée sur tout le territoire national, ce qui a favorisé un séchage rapide de la brique.

Les essais que nous avons fait sont des essais primaires en raison de la cherté des essais en laboratoire et de l'inexistence du matériel adéquat à l'Institut d'Architecture et d'Urbanisme.

Malgré toutes ces contraintes, le résultat qui semblerait probant est celui du protocole 1 (Brique d'adobe + 20 % de chaux aérienne + 10% de paille). Nous avons donc produit la brique proposée à l'innovation dans le moule réalisé dans les ateliers d'une menuiserie.

Il est possible d'industrialiser les moules, vu les outils mécaniques aujourd'hui utilisés pour façonner le bois.

Conclusion générale :

L'innovation dans les constructions en terre est d'actualité de nos jours. En Amérique ou en Europe, les chercheurs et innovateurs se manifestent pour faire place dans ce domaine et dans la grande cours de la construction future. Bien que des chercheurs ont développé quelques techniques et ou amélioré d'autres qui existaient déjà, nous avons essayé d'œuvrer dans ce domaine même si notre pays est classé parmi les pays ayant une riche réserve d'architecture de terre, et le manque du savoir-faire en tant que contrainte très délicate.

Notre projet de recherche avait comme objectif de répondre à l'innovation des techniques de constructions à travers l'identification des techniques constructives de la région et les options innovatrices dans ce domaine par la recherche d'un protocole d'amalgame (terre + matériaux hydrofuges) lui permettant d'être plus résistantes à l'eau et par la modélisation numérique d'une brique qui répondrait aux contraintes climatiques surtout celles des vents et de la chaleur diffusée sur les murs.

La conclusion générale repose sur l'approche que nous avons proposé de réaliser, à partir de notre répertoire des techniques constructives de la région de Timimoun, nous avons remarqué que la technique est restée tel quel à travers les trois périodes : précoloniale, coloniale et postcoloniale. L'évolution s'est faite seulement au niveau des planchers ou des toitures, c'est pour cela que nous avons choisi d'insérer dans la brique de terre qui est l'Adobe en deux temps la forme pour exprimer le langage architectural en tant qu'architecte, le confort thermique et acoustique ensuite.

En dépit de ces conclusions nous avons entamé notre recherche à partir de la brique d'adobe traditionnelle et nous avons proposé trois (03) protocoles de brique. Par manque de matériel mécanique et la cherté des laboratoires de recherche, nous avons effectué des essais primaire avec lesquels nous en somme sortie avec des résultats qui sembleraient probants pour un tel niveau de travail du fait que l'amalgame le plus réussi est celui du protocole 1 (20 % de chaux égyptienne) pour sa rapidité de séchage pendant la production et après absorption d'eau par capillarité.

Du côté de l'innovation, nous avons sollicité l'aide d'un atelier de menuiserie pour ses compétences et son matériel numérique. La confection du moule s'est faite en un temps record par rapport à la complication de sa forme. Après cela nous avons opté pour la fabrication de la

brique innovante proposée et cela nous avons choisi le protocole 1 et nous en somme arrivé au résultat final attendu.

En ce qui concerne cette innovation, comme nous l'avons précisé ce n'est qu'un résultat primaire qui semblerait probant, cela implique que cette modeste recherche dans l'innovation de la brique de terre crue très particulière, nous a permis d'ouvrir les yeux sur de nombreuses possibilités de recherche tant sur l'aspect formel que sur l'aspect de composition.

Les essais primaires élaborés pourraient être repris en laboratoire et même mieux développés que cela à travers une recherche future.

La forme de la brique et son moulage pourraient aussi ouvrir un axe de recherche pour exprimer la matérialité dans l'architecture ainsi que les différents aspects techniques.

La terre permet différentes plasties qui contribueraient à la production d'un nouveau langage architectural en terre et pourquoi ne pas développer cet aspect d'éléments architectoniques également dans un cadre de recherche.

CONFIDENTIEL

Bibliographie :

Ouvrage :

1. Anger, R., Fontaine, L., 2009. Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture, éditions Belin, Paris,
2. Corpus Ouvrage collectif, 2003. Architecture Traditionnelle Méditerranéenne.
3. CRAterre, 1995. Traité de construction en terre. Edition Parenthèses,
4. F.J.G Mercadier, 1971. **L'esclave de Timimoun** édition France-Empire, 204 pages
5. Fanny COLLONA, 1989. **Timimoun, une civilisation citadine**. Entreprise Algérienne De Presse.
6. G.Mercadier, R.Rondreux, J.Salleras, 1945. **L'oasis rouge impressions sahariennes**. Editions Robert et René Chaix – Alger
7. Hubert Guillaud, 1997. Une grande figure du patrimoine régional Rhône-Alpes: François Cointeraux (1740-1830) : pionnier de la construction moderne en pisé », Numéro 3 de *Carnets de l'architecture de terre*, CRAterre-ENSAG, p
8. Jean-Paul Loubes, 1988. Maisons creusées du fleuve Jaune: l'architecture troglodytique en Chine, édition Créaphis, Page 20 – 47.
9. Pierre Cornet, 1957. **SAHARA Terre de demain**. Nouvelles éditions latines
10. Pierre Dalloz. **Rochers, neige et sables**. Edition Fernand Lanore, Page 228.
11. Rachid Bellil, 1999. **Les oasis du Gourara (Sahara Algérien). Tome I le temps des saints**. Editions Feeters
12. Rachid Boudjedra 1991. **Timimoun**. Edition Gallimard, Collection Folio.
13. Sylvie Fanel 2010. **Le voyage à Timimoun**, , édition JC Lattès collection Romans contemporains.

Articles Scientifiques:

1. A. Abdessemed-Foufa 2015. Identification du corpus des typologies constructives en terre pour la préservation du patrimoine bâti et la construction en Algérie. CIAT 2015. Congrès International sur l'Architecture de Terre
2. Cristini V et Chéca J.R.R 2009. A historical Spanish traditional masonry techniques: some feature about *Tapia Valenciana* as a reinforced rammed earth wall. Actes du 11ème Symposium Canadien sur la maçonnerie. pp

3. Terragora lodges, www.terragora-lodges.com/dwlnnd/construction-super-adobe.pdf, téléchargé le 10 /08/15.

Revue :

1. **Le soudanais**, Koffi Agbodjinou.
2. **Timimoun, la mystique**, office du tourisme de Timimoun, édition 2015.
3. **Timimoun, la ville rouge**, Djamel Arabie, office national du tourisme.

Thèses de Doctorat et mémoires de Magistère :

1. AHMED ALI Ep AIT KADI Salima, **Performances thermiques du matériau terre pour un habitat durable des régions arides et semi-arides : cas de Timimoun.** Mémoire de magistère. Université de Tizi Ouzou.
2. HAOUI Samira, 2002. **Pour la préservation des architectures ksouriennes en terre crue : cas de Timimoun.** Thèse de Magistère en préservation et mise en valeur des sites et monuments historiques. EPAU
3. Jean Bisson 1955. **Le Gourara, étude de géographie humaine, mémoire n°3,** Université d'Alger Institut de Recherche Saharienne.

P.F.E.:

1. Haoui. S 1993. « l'Aghaï entre l'habité et l'urbanité ». Mémoire de fin d'étude EPAU.
2. MATEC 2006. Timimoun
3. PFE 5^{ème} année, Domenico Cannito, Giuseppe Clemente et autres, la morphologie structurelle et la projection d'une unité d'habitation, 2013 / 2014, polytechnique de Bari, département d'architecture.

Site web :

1. CRAterre.org/Action : *Projet/Amélioration de l'habitat, prévention des catastrophes naturelles dans les camps sahraouis (Tindouf, Algérie).*
2. <http://archive.auroville.org/thecity/architecture/satprem.htm>
3. <http://craterre.org/>

4. <http://eartharchitecture.org/index.php?/categories/12-AustraliaNew-Zealand/P2.html>
http://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_la_construction/Mortiers_antiques.
5. http://fr.wikipedia.org/wiki/Construction_en_terre#Histoire
6. http://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_la_construction
7. http://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_la_construction/La_terre.
8. http://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riau_de_construction
9. http://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riau_de_construction#Histoire
10. http://fr.wikipedia.org/wiki/Terre_crue#Histoire_de_la_construction_en_terre_crue
11. <http://fr.wikipedia.org/wiki/Touat#Situation>
12. <http://j.oliel.pagesperso-orange.fr/juifs-du-touat1.htm>
13. <http://www.cosmovisions.com/histTouat.htm>
14. <http://www.eartharchitecture.org/index.php?/categories/12-AustraliaNew-Zealand>
15. <http://www.lehmtonerde.at/en/martin-rauch/>
16. https://fr.wikipedia.org/wiki/Nader_Khalili
17. RSRV- ArtLand- Cal-Earth Nadhir Khalili
18. Salma Samar TAMJUDI, 2003, Leçon Inaugurale de l'Ecole de Chaillot.

CONFIDENTIEL