

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID DE TLEMCEEN
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE
DÉPARTEMENT D'ARCHITECTURE

MÉMOIRE DE MASTER EN ARCHITECTURE

OPTION : Architecture et technologie

DE LA TRADITION MILLENAIRE A LA HAUTE TECHNICITE
CENTRE DE FORMATION ET D'INTERPRETATION
EN ARCHITECTURE DE TERRE

Soutenu le 12 juin 2016 devant le jury:

Président:	Nabil OUISSI	MC (A)	UABT Tlemcen
Examineur:	Souad SALMI	MC (B)	UABT Tlemcen
Examineur:	Mohammed BEKHTAOUI	ARCH	UABT Tlemcen
Encadreur:	Hadj Ahmed BABA HAMED	MC (B)	UABT Tlemcen

Présenté par : Hichem BELARBI

Année académique : 2015-2016

Remercîments

Je tiens tout d'abord à remercier dieu tout Puissant qui m'a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail

Mes premiers remerciements vont à mes parents à qui je dois tout. Aux membres de ma famille qui m'ont beaucoup soutenu.

Je tiens à remercier sincèrement et chaleureusement aussi mon encadreur Mr BABA Ahmed Hadj Hamed qui m'a accompagné jusqu'à l'accomplissement de ce travail et m'a guidé dans l'élaboration de ce travail.

Un remerciement particulier pour l'ensemble de mes collègues et amis qui ont contribué à la réussite de ce travail

Aussi aux membres de jury qui m'ont honoré pour l'intérêt qu'ils ont porté à l'examen de ce travail.

Dédicaces

Avec joie, plaisir, fierté, je dédie ce mémoire :

A ma mère: pour son amour et son soutien chaleureux dont elle m'a entouré,
son sacrifice, pour l'éducation Qu'elle m'a donnée.

A mon père : pour son courage dont il m'a comblé, durant mes
études ; que dieu les bénisse et les garde sous sa miséricorde et qu'ils
trouveront en ce mémoire L'accomplissement de leurs vœux et
l'expression de ma Profonde gratitude.

A mes frères, ma sœur.

A toute ma famille, « petits et grands », pour leur soutien en toute
circonstance.

A mes amis :
Othmane, Nouh, soufyane, Amine, Ghouti, Rafiq, Imane et Leila.

A la promotion juin 2016

A tous ceux que j'aime.

Table des matières

INTRODUCTION	13
PROBLEMATIQUE	14
HYPOTHESES :	15
OBJECTIFS :	15
METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE :	15
STRUCTURE DU MEMOIRE :	16

CHAPITRE I : GENES ET DEFINITIONS SEMANTIQUES

1. DEVELOPPEMENT DURABLE DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE	18
1.1. ARCHITECTURE CONTEMPORAINE	18
2.1.1 Essai de définition	18
2.1.2 Formes et volumétries	19
2.1.3 Esthétisme des matériaux	19
2.1.4 Nouvelles technologies	20
1.2. <i>Développement durable</i>	21
1.2.1. Pourquoi le développement durable ?	21
1.2.2. Rappel historique sur le développement durable	21
1.2.3. Définitions du développement durable	22
1.2.4. Les principes du développement durable	22
1.3. <i>Architecture durable</i>	22
1.3.1. L'énergie durable	23
1.3.2. Positionnement	23
1.3.3. Gestion des déchets	24
1.3.4. Matériaux de construction durables	24
1.3.5. Réutilisation de matériaux et de bâtiments	26
1.3.6. Critiques sur l'architecture durable	26
1.4. <i>Labellisation et outils de certification</i>	27
1.4.1. La démarche Haute Qualité Environnementale	27
1.4.2. BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)	27
1.4.3. LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	28
1.4.4. GREEN STAR	28
Synthèse	29
2. LEÇONS DU PASSE POUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE	30
2.1. <i>Le patrimoine et enjeux environnementaux : questionner l'existant</i>	30
2.2. <i>Vernaculaire : le bon sens ancestral</i>	31
2.2.1. Essai de définition :	31
2.2.2. Intérêts de l'architecture vernaculaire	31
2.2.3. L'intégration au site	32
2.2.4. Matériaux locaux	32
2.2.5. Savoir-faire de la population	33
2.3. <i>Architecture de terre : composante majeur du patrimoine vernaculaire</i>	33

3. ARCHITECTURE DE TERRE : L'AVENIR D'UNE TRADITION MILLENAIRE	30
3.1. <i>Intérêts de la construction en terre</i>	30
3.1.1. Les intérêts socio - économiques	30
3.1.2. Les intérêts écologiques et environnementaux	31
3.1.3. Impacts sur la santé et le bien-être	31
3.2. <i>L'EVOLUTION DES ARCHITECTURES DE TERRE</i>	32
3.2.1. L'architecture de terre : l'héritage	32
3.2.2. La revalorisation de l'architecture de terre	33
3.3. <i>L'universalité de l'architecture de terre</i> :	37
3.3.1. Patrimoine mondial de la construction en terre	37
3.3.2. La réglementation sur l'architecture de terre dans le monde	38
3.3.3. La formation de l'architecture de terre dans le monde	38
3.3.4. Contenu de la formation	39
3.3.5. Préservation des architectures de terre dans le monde	39
3.4. <i>Architecture de terre en Algérie</i>	40
3.4.1. Héritage ancien de la construction en terre en Algérie	40
3.4.2. Travaux et réalisations de la construction en terre en Algérie	41
3.4.3. La réglementation sur la construction en terre en Algérie	42
3.4.4. La formation en architecture de terre en Algérie	43
3.4.5. Promotion et sensibilisation de l'architecture de terre en Algérie	43
CONCLUSION	44

CHAPITRE II APPROCHE TECHNOLOGIQUE SUR L'ARCHITECTURE DE TERRE

1. ARCHITECTURE DE TERRE : DU GRAIN DE SABLE A L'ARCHITECTURE	46
1.1. <i>L'architecture de terre : la matière</i>	46
1.1.1. Qu'est-ce que la terre ?	46
1.1.2. Caractéristiques physiques de la terre crue :	46
1.1.3. Quelle terre utiliser ?	49
1.1.4. La terre, béton d'argile	49
1.1.5. La terre, un éco matériau	50
1.2. <i>La diversité de l'architecture de terre</i>	50
1.2.1. Procédés fondamentaux de construction	51
1.3. <i>Les éléments porteurs classiques en terre</i>	52
1.3.1. Le pisé :	53
1.3.2. L'adobe :	55
1.3.3. Le torchis :	57
1.3.4. La Bauge	59
1.4. <i>Les éléments porteurs modernes en terre</i>	60
1.4.1. BTC (Brique de terre comprimée)	60
1.4.2. Pisé H2O	61
1.4.3. La terre coulée	62
1.5. <i>Les couvertures dans les constructions en terre</i>	65
1.5.1. Les toitures plates	65
1.5.2. Les toitures inclinées	66
1.5.3. Les toitures courbées	67
1.6. <i>Les fondations</i>	69
1.7. <i>Les ouvertures</i>	69
2. LES STRUCTURES MIXTES EN TERRE	71
2.1. <i>Les combinaisons structurelles avec la terre</i> :	71
3. PROPRIETES DE LA CONSTRUCTION EN TERRE	73
3.1. <i>Les avantages de la construction en terre</i>	73

3.2.	<i>Les inconvénients du matériau terre :</i>	73
3.3.	<i>Les recommandations :</i>	74
CONCLUSION		75

CHAPITRE III ANALYSE THEMATIQUE ET CHOIX DE LA VILLE

1.	L'ARCHITECTURE DE TERRE : UNE DISCIPLINE	77
1.1.	<i>Formation, axe majeur</i>	77
1.1.1.	Définitions	77
1.1.2.	Motivation et objectifs de la formation	77
1.1.3.	Où forme-t-on ?.....	77
1.1.4.	Qui est formé ?	77
1.2.	<i>L'interprétation, outil de communication</i>	78
1.2.1.	Définitions	78
1.2.2.	Objectifs	78
1.2.3.	Où est ce qu'on interprète... ..	78
1.2.4.	Qui est visé par l'interprétation ?.....	78
1.3.	<i>Centre d'Interprétation et de Formation d'Architecture Traditionnel (en terre)</i>	79
1.3.1.	Qu'est qu'un CIFAT ?	80
1.3.2.	A qui s'adresse-t-il ?	80
2.	ETUDE DES EXEMPLES THEMATIQUES	80
2.1.	<i>Exemples thématiques choisis</i>	80
3.	ETUDE DE LA VILLE	86
3.1.	<i>Présentation de la ville</i>	86
3.1.1.	Situation	86
3.1.2.	Climat	87
3.1.3.	Relief	87
3.1.4.	Bref historique.....	87
3.1.5.	Economie.....	88
3.1.6.	Tourisme.....	88
3.1.7.	Formation et enseignement supérieur	88
3.2.	<i>Potentialités de la ville de Tlemcen</i>	89
3.2.1.	Patrimoine bâti important (en terre)	89
3.2.2.	Opérations d'interventions patrimoniales d'envergure	90
3.3.3.	Maillage culturel diversifié	92
4.	PROSPECTION DE TERRAIN	92
4.1.	<i>Présentation des sites</i>	93
Conclusion		

CHAPITRE IV PROGRAMMATION ET PROJECTION ARCHITECTURALE

1.	PROGRAMMATION	
1.1.	<i>Objectifs du programme :</i>	96
1.2.	<i>Capacité d'accueil et échelle d'appartenance :</i>	96
1.2.1.	Justification de la capacité d'accueil :	96
1.3.	<i>Justification de l'échelle d'appartenance :</i>	97
1.4.	<i>Types d'utilisateurs :</i>	98
1.5.	<i>Identification des fonctions du projet</i>	98

1.6.	<i>Organisation fonctionnel</i>	99
1.7.	<i>Programme de base</i>	99
1.8.	<i>Exigences spatiales et fonctionnelles</i> :	100
1.9.	<i>Les exigences dimensionnelles</i>	105
1.10.	<i>Programme surfacique</i>	106
2.	PROJECTION ARCHITECTURALE	108
2.1.	<i>Analyse du site de Mansourah</i>	108
2.1.1.	Présentation du site	108
2.1.2.	Vestiges historique (en terre) du site :	108
2.1.3.	Etat de fait du site :	110
2.1.4.	Contraintes et servitudes	112
2.1.5.	Présentation terrain d'intervention	113
2.1.6.	Accessibilité et flux de circulation	113
2.1.7.	Topographie et dimensions du terrain	114
2.2.	<i>Genèse du projet</i> :	115
2.2.1.	Principe d'implantation :	115
2.2.2.	Principe d'organisation fonctionnelle :	117
2.2.3.	Principe de composition :	120
2.3.	<i>Descriptif des plans</i> :	124
2.4.	<i>Recherche stylistique et inspirations</i> :	125
2.4.1.	Inspirations de l'architecture de terre :	125
2.4.2.	Inspirations de l'architecture du site :	127
Conclusion		

CHAPITRE V APPROCHE TECHNIQUE ET TECHNOLOGIQUE

1. SYSTEM CONSTRUCTIF

1.1.	<i>Infrastructure</i> :	131
1.1.1.	Les fondations :	131
1.1.2.	Les murs de soutènements :	131
1.2.	<i>La superstructure</i> :	132
1.2.1.	Le soubassement :	133
1.2.2.	Éléments porteurs en BTC :	133
1.2.3.	Murs porteurs en pisé :	135
1.2.4.	Des colonnes en marbres :	137
1.2.5.	Les planchers :	137
1.2.6.	La relation verticale	139
1.3.	<i>Les couvertures</i> :	140
1.3.1.	Les voutes	140
1.3.2.	Les coupes à base carrée :	141
1.3.3.	Coupole centrale	143
1.4.	<i>Le Bois lamellé collé BLC</i>	145
1.4.1.	Justification du choix	145
1.5.	<i>Enveloppe extérieur</i>	151
1.5.1.	Des murs rideaux bois à haute résistance thermique	151
1.5.2.	Moucharabieh et filtre solaire :	152
1.5.3.	Traitement de surface :	153
2.1.	<i>impacte thermique</i> :	153
2.1.1.	Rappel des grandeurs thermo physiques :	154
2.1.2.	Application de calcul dans notre cas :	155
2.1.3.	Interprétation des données :	155
2.2.	<i>impacte acoustique</i> :	156
2.2.1.	L'acoustique des structures en terre :	156
2.2.2.	La correction par absorbeur résonateur simple :	156

2.2.3.	Correction par les briques aux coins arrondies :	158
2.3.	<i>Impact environnemental</i> :	159
2.3.1.	Rappel HQE :	159
2.3.2.	Evaluation de notre projet :	160
2.	APPROCHE SEISMIQUE :	161
2.1.	<i>Principes des séismes dans la construction</i>	161
2.1.1.	Effets du séisme	161
2.1.2.	Effets du séisme sur la construction :	162
2.2.	<i>Génie parasismique pour l'architecture de terre</i> :	162
2.2.2.	Forme et nature des briques :	162
2.2.3.	Briques autobloquantes :	163
2.2.4.	Briques pour maçonnerie armée :	163
2.2.5.	Mortier de pose et appareil :	163
2.2.6.	Maçonnerie armée :	164
2.2.7.	Chainages :	164
4.	CONCLUSION	165
	CONCLUSION GENERALE	168

INTRODUCTION GENERALE :

Préambule

Ce document est un rapport de présentation du projet de fin d'études. Son objectif est de décrire l'approche conceptuelle de ce projet à travers des illustrations et des commentaires retenus pour chaque phase de cette forme qui sont conçus dans un cadre pédagogique présentant les outils de communication dans le métier de l'architecte.

Introduction

Depuis le début du XXème siècle le modernisme architectural dans l'ombre d'une révolution technologique s'est construit en rupture avec le passé, « la tabula rasa » mettant à l'écart une expérience humaine millénaire de construction. Tout cela a généré une standardisation du bâtiment et une rupture contextuelle.

Face à cette globalisation, d'autres mouvements architecturaux remettent en cause l'architecture internationale et optent pour un « retour aux sources », la redécouverte du savoir-faire traditionnel comme un remède aux carences du modernisme tout en intégrant les nouvelles technologies et le mode de vie actuel.

Dans cette perspective, certains précurseurs comme HASSAN Fathy et André RAVERAU remettent à jour l'ingéniosité et les cultures constructives anciennes, riches en valeurs multiples : historiques, archéologique, technique, esthétique et bioclimatique.

D'autres chercheurs sont allés plus loin, et allient le patrimoine humain riche en technologie millénaire et les piliers du développement durable.

Ecoconstruction, architecture bioclimatique, architecture verte, HQE. Une variété de termes et de démarches qui abordent une approche durable dans le secteur du bâtiment pour une société du XXIème siècle soucieuse de l'impact des activités humaines et la modernisation sur l'avenir de la planète.

Une fausse idée répandue : Penser durable ne se fait que dans une démarche HI-TECH. Ces solutions de la haute technologie restent trop sophistiquées et ne sont pas à la portée de tout le monde. Des sociétés sont donc marginalisées, n'arrivant pas à répondre à un développement écologiquement respectable, ni économiquement rentable.

D'une autre part, l'héritage architectural traditionnel, reste encore une piste non exploitée pourtant démarche avant-gardiste sur le développement durable. L'examen attentif de nombreux exemples de cet héritage montre qu'il n'était pas le fruit de tâtonnements insensés des anciens bâtisseurs. Ces architectures traditionnelles révèlent une magnifique diversité non seulement au niveau des formes urbaines et les typologies architecturales que nous héritons aujourd'hui, mais aussi dans les techniques constructives adoptés par nos ancêtres et leurs pratiques intelligentes avec lesquelles ils ont su édifier leur cadre de vie.

Une utilisation ingénieuse du matériau, dont ils ont su tirer profit des ressources locales et les utiliser de la manière la plus efficace dans leurs constructions.

Cet héritage se déploie alors comme une base de données précieuse qu'on peut confronter aux questions de l'actualité et aux priorités du présent. Des priorités telles qu'une conscience écologique soucieuse de la création d'édifices sains et confortables peu voraces en énergie et respectueuse de l'environnement.

Problématique

La terre comme matériau de construction, précisément la terre crue qui n'utilise aucune énergie fossile pour la cuire, réapparaît ainsi comme une alternative économique, écologique et esthétique qui offre une grande souplesse d'adaptation aux exigences contemporaines. Les techniques de mise en œuvre traditionnelles ont ainsi été modernisées et ont permis l'apparition d'une vaste gamme de produits et de techniques de construction en terre.

Hubert GUILLAUD se pose la question : *« Est-il sérieux d'opposer des millénaires d'histoire de l'architecture et de la ville fondés sur l'emploi privilégié et universel de la terre, et à peine deux siècles d'histoire d'une architecture et d'une ville construites en matériaux « modernes » ?¹*

Il est clair alors, que la terre comme matériaux de construction possède un intérêt qui mérite d'être étudié. Ce matériau renferme des caractéristiques diverses porteuses de grands enjeux : que ce soit à l'échelle sociale, économique ou environnementale.

L'Algérie comme 70% des pays dans le monde, possède un riche patrimoine en terre, que ce soit dans les Ksour du sud algérien, dans les villages de la grande Kabylie et les monts des Aurès, et dans les villes prospères du nord autrefois médinas. Cette architecture qui incarne un esprit communautaire, un savoir-faire ancestral et une recherche d'équilibre entre le culturel et le naturel utilise la terre comme composante majeure dans sa conception. Malheureusement la construction en terre a considérablement diminué dans le nord du pays par rapport au sud, dû principalement à la rupture dans la transmission des savoir-faire et le monopole des autres matériaux jugés modernes et convenables pour un pays développé.

Tlemcen, ancienne perle du Maghreb, ne fait pas obstruction à cette règle et subit les fausses idées répandues, laissant à côté des siècles d'histoire, un savoir-faire ancestral et des procédés constructifs qui ont fait leurs preuves pour quelques décennies de matériaux modernes dont on a très vite subi leurs conséquences bioclimatiques.

Ainsi la raison d'être de ce travail est d'approfondir nos connaissances sur l'architecture de terre et renouer avec ce savoir-faire. Pour cela il est intéressant de connaître les caractéristiques physiques de la matière terre et les différents procédés constructifs traditionnels et modernes en terre crue.

Nous allons explorer les façons de moderniser et mettre les avantages de ce matériau en premier plan et ses possibilités de devenir une solution durable, écologique...etc. qu'on peut utiliser dans la projection architecturale.

Tlemcen ville d'art et d'histoire, ancienne capitale du Maghreb, stratification de grandes civilisations et de différentes cultures, possède un patrimoine matériel et immatériel non négligeable. Composants majeurs de cet héritage, plusieurs monuments en terre se dressent encore dans la ville et en font un laboratoire en plein air, ouvert à toutes sortes d'études et de recherches.

Ces vestiges qui regorgent d'informations centenaires, nécessitent des attentions particulières afin de mieux cerner leurs techniques de constructions (en terre), comprendre leurs apports et apprendre comment les transmettre.

¹ HUBERT GUILLAUD . Architecture de terre : L'héritage en « re-création » durable

C'est dans cette optique, qu'un effort de redécouverte de ces techniques en terre sont nécessaires à la récolte d'informations indispensables pour la sauvegarde de ses architectures en premier lieu et d'autre part, adopter une conception durable à référentiel traditionnel. C'est en comprenant en quoi l'architecture de terre peut-elle nous donner des leçons qu'on saura :

De quelle manière peut-on interpréter l'héritage architectural en terre pour les démarches conceptuelles environnementales de nos jours ?

Hypothèses :

- Les enseignements traditionnels en (terre) doivent intéresser l'architecture contemporaine, pour son processus d'intégration à un contexte donné, sa réponse technologique adaptée plus que pour ses résultats formels.
- Le matériau terre présente des propriétés écologiques et lui confère un rôle important dans la construction durable.

Objectifs :

L'objectif premier de cette recherche est de lever le voile, sur le matériau terre considéré comme le noyau d'une architecture qui a beaucoup fait parler d'elle, dans le but de le connaître profondément et trouver le moyen de l'intégrer dans le concept du développement durable. De faire passer la terre d'un matériau modeste et pauvre à une technologie égale ou qui surpasse les nouvelles technologies actuelles.

Méthodologie de la recherche :

Afin de mener à bien cette initiation à la recherche une certaine démarche méthodologique est plus que nécessaire en vue d'une bonne gestion du temps et une meilleure maîtrise du sujet. Globalement, le travail est divisé en deux (02) phases, à savoir, une phase de recherche théorique suivie par une deuxième phase d'analyse et d'investigation.

- **Phase de recherche théorique :** Cette phase consiste en la constitution d'une base documentaire relative aux sujets traités. L'essentiel de cette première étape de la recherche sera consacré à la lecture d'un corpus de documents portant sur les thèmes architecture de terre et le développement durable. Ouvrages, mémoires, articles, etc., doivent être exploités d'une façon judicieuse pour maîtriser les deux concepts. Le recours à l'historique des thèmes abordés, bien que maigre, nous permettra la compréhension des différents intérêts de la construction en terre.
- **Phase de diagnostic :** Pour cette deuxième phase, il nous faut le maximum de données concernant notre cas d'étude, un recensement des exemples de constructions modernes et équivalentes analysera les plus intéressants pour notre recherche. A cet effet, nous ferons appel aux techniques d'investigations et d'enquêtes.

Structure du mémoire :

Le mémoire commence par une introduction générale structuré autour d'un constat de l'architecture contemporaine et l'analogie entre le savoir-faire ancien et les concepts de durabilité. Il comprend l'objet de la recherche, l'importance de la recherche, la problématique, les objectifs attendus, ainsi que la méthodologie d'approche.

Elle sera suivie de cinq chapitres :

- Le premier est théorique, et contient les différentes définitions sémantiques lié au développement durable, au patrimoine vernaculaire ainsi qu'à l'architecture de terre.
- Le second est technique, et comprend un catalogue technique liés à la matière terre comme matériaux de construction ainsi que l'éventail des procédés et techniques en terre anciennes et modernes.
- Le troisième est analytique, ou on présentera les différents exemples bibliographiques liés à la terre comme discipline, accompagné par la suite d'une lecture urbaine de la ville de Tlemcen en axant l'analyse sur le thème terre.
- Les deux derniers chapitres sont liés à l'approche conceptuelle regroupant la programmation, la projection architecturale ainsi que le descriptif technique lié au projet. C'est dans une réponse architecturale qu'on résumera les acquis des chapitres précédents en mettant en évidence l'apport et les limites de notre étude.

INTRODUCTION

Partant de l'idée que l'architecture de terre composante majeur du patrimoine vernaculaire est une piste durable qui présente une analogie forte avec les principes et les piliers de sa définition. Nous deviserons ce chapitre théorique en trois grandes parties :

Le premier sous chapitre tentera de cerner la démarche durable dans l'architecture contemporaine, le secondera les différents enjeux environnementaux du patrimoine et les leçons qu'on peut déduire du questionnement de son héritage vernaculaire.

Enfin le dernier sous chapitre sera consacré à l'architecture de terre mettant en évidence l'avenir de cette tradition ancestrale.

1. DEVELOPPEMENT DURABLE DANS L'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE

Dans cette partie nous tenterons de donner un bref aperçu sur l'architecture « actuelle » et l'apport de la nouvelle technologie à cette dernière. Puis nous essayerons de définir les notions de développement durable, architecture durable et différentes approches écologiques, ceci dans le but de mettre en évidence la présence irréfutable de la démarche « durable » dans l'architecture contemporaine.

1.1. Architecture contemporaine

Les informations suivantes présenteront des essais de définitions et de compréhension à l'architecture qu'on vit ces dernières années, tirés de deux sources internet : « bonestructure.ca » et « archieturbanisme.canalblog.com ».

1.1.1 Essai de définition

L'architecture contemporaine ou actuelle est une architecture qui se pratique dans ce temps et qui repose sur un principe de rupture (majoritairement) avec les manières de pensées des courants précédents.

Cette architecture n'est pas un courant ni une école mais plutôt une réaction critique aux courants modernes du XXème siècle.

Elle prône l'innovation et intègre une variété stylistique (Blob architecture, HI-Tech, déconstructivisme, régionalisme, métabolisme ...etc.) Dans ses expressions. Elle utilise surtout les nouvelles technologies électronique ou informatique, parfois dans des visions écologiques.



LA TOUR CAPITAL GATE Abu Dhabi
La tour la plus penchée au monde
36 étages, inclinaison de 18°



AUDITORIO DE TENIREFE
Formes arrondies le bâtiment
semble défié la gravité



Musée GUGGENHEIM BILBAO
Complexité volumétrique et
innovation dans le mdc

Figure 1 Exemples de l'architecture contemporaine
Source : bonestructure.ca

Le choix de ces exemples est selon leur budget considérable et la proposition architecturale remarquable et spectaculaire qui permet de bien comprendre les lignes de force de l'architecture contemporaine.

1.1.2 Formes et volumétries

L'architecture contemporaine tend à s'éloigner de l'habituel ligne droite et l'assemblage de « cubes » simples. Elle prône une complexité dans la conception (majoritairement), une composition difficile rendue possible grâce aux ordinateurs et logiciel de Conception Assisté par Ordinateurs. Des corps fluides voient le jour avec des formes courbes. Même quand l'architecture contemporaine utilise des lignes droites, elle tente d'estomper la forme originelle et à en faire une composition inédite.

1.1.3 Esthétisme des matériaux

Un autre trait contemporain de l'architecture c'est son utilisation de nouveaux matériaux nobles. L'« architecture béton » de la période moderne porte globalement en Europe une réputation populaire peu glorieuse en période actuelle et une renommée diverse dans les milieux professionnels (les nouvelles techniques permettent des voiles ultra-minces ou des résilles de béton, planes ou ondulées, qui favorisent certaines expressions architecturales). Mais, avec ou sans béton, l'architecture actuelle est voulue comme une architecture de matériaux nobles ; si le béton est utilisé, il sera sophistiqué. La construction sera résolument esthétique.²



Figure 2 Multiplex Kristallpalast
- Dresde (Allemagne)



Figure 3 Belvédère en bois,
centre-ville de Séville (Espagne)



Figure 4 Cathédrale de la
Résurrection - Evry (Essonne)

- Le verre : une des conséquences de la fenestration abondante de l'architecture contemporaine est l'utilisation de grandes baies vitrées, des puits de lumières, des façades entières verre. L'innovation est dans la composition du verre (doubles vitrage, triple vitrage, laminé...etc.) ou dans les procédés de réalisation (système spider permettant d'avoir des façades ininterrompues en verre)

- Le bois : De façon assez nouvelle, le bois redevient au XXIe siècle un matériau noble. Sa mise en apparence est volontaire. Il a d'abord retrouvé une position technique favorable face aux autres matériaux grâce à la fabrication de contreplaqué inventé à la fin du XIXe siècle, pratique et peu coûteux, puis avec l'invention du lamellé-collé et du panneau de particule au XXe siècle. Sa vertu architecturale au XXIe siècle est écologique

- La brique : Dans sa continuité d'usage, la brique appareillée est toujours restée un matériau noble, particulièrement en vogue dans certaines régions, certains pays. La nouveauté, c'est que les études techniques accordent en plus à ce matériau une capacité à créer un flux constant pour la ventilation des bâtiments.

²<http://archieturbanisme.canalblog.com/archives/2014/0> / 0



Figure 5 Mur végétal des Halles d'Avignon (Vaucluse)

- Le végétal : La verdure et le végétal deviennent une "matière noble" nouvelle : les murs végétaux actuels appartiennent pleinement à l'architecture actuelle du XXI^e siècle. Cette matière est constitutive du projet urbain écologique. On trouve aussi la toiture végétalisée sous le thème de l'économie d'énergie.

Source : archieturbanisme.canalblog.com

1.1.4 Nouvelles technologies

Les changements technologiques expriment un impact direct dans l'architecture contemporaine. De nouvelles technologies voient le jour et apportent des solutions innovantes afin d'améliorer le secteur de la construction, tel que :

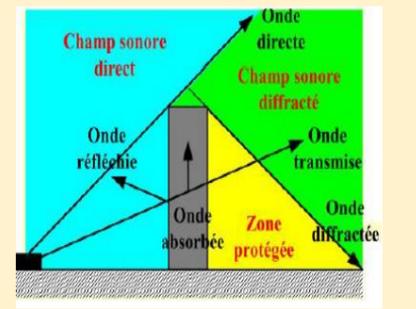
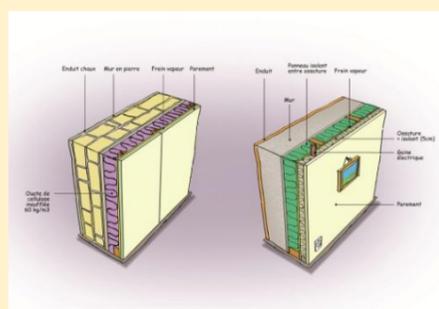
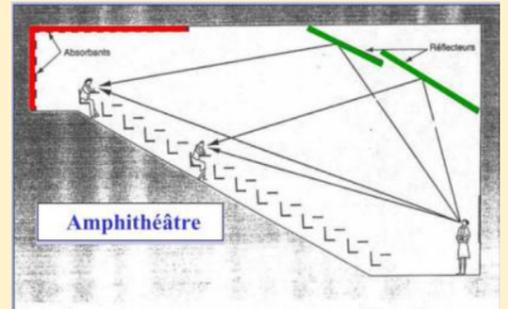
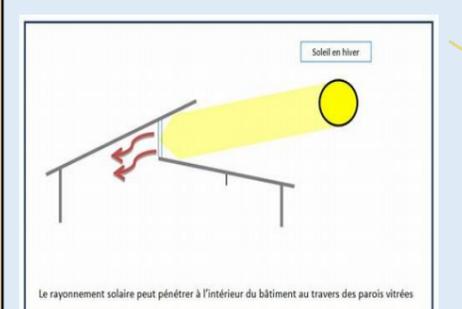
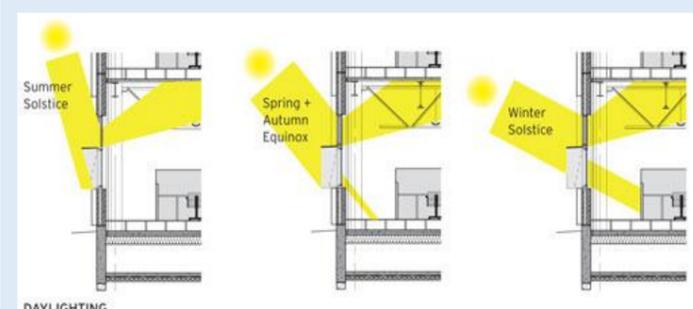
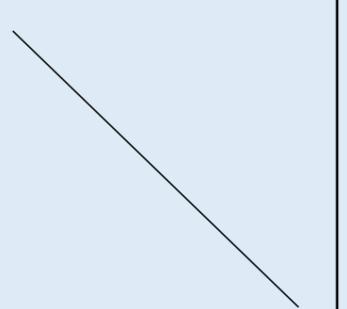
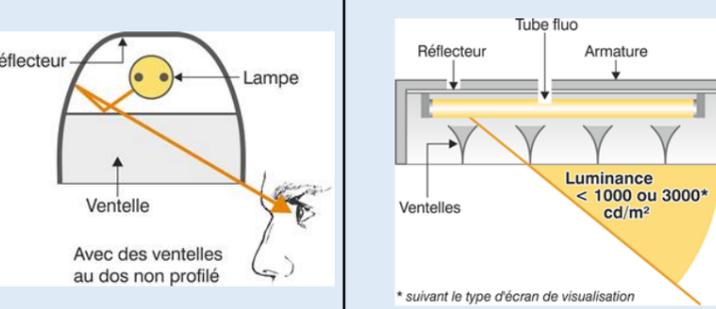
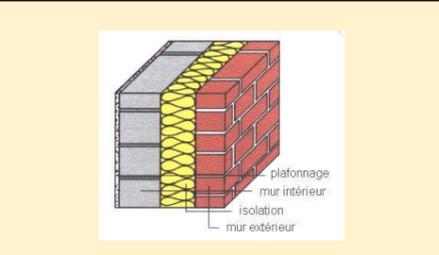
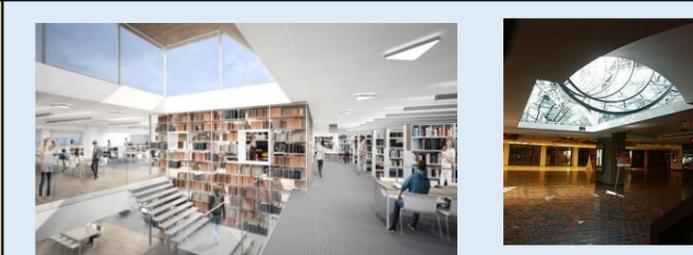
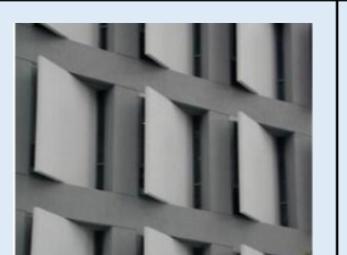
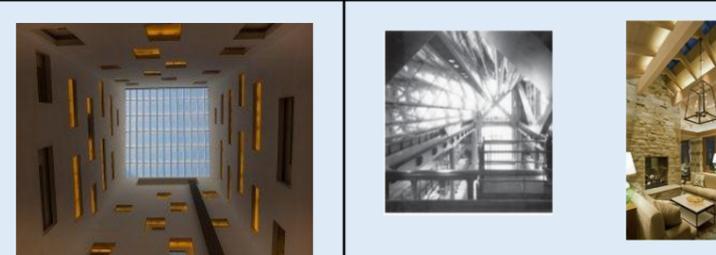
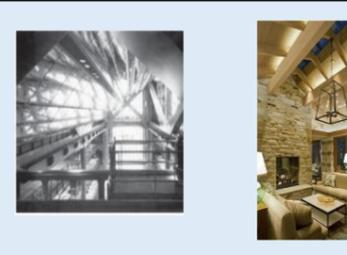
- La gestion des énergies, énergie renouvelable ou biomasse, visant à concevoir des bâtiments moins gourmand en énergie voire autonome.
- L'amélioration des propriétés physiques, chimiques ou mécaniques de matériaux (bois, acier, aluminium et verre) ou l'innovation dans de nouveaux matériaux (textiles, plastiques, synthétique...etc.)
- Innovations dans les systèmes constructifs (les couvertures de grande portée, les immeubles à grande hauteur et les mégastructures).
- La gestion du confort dans le bâtiment : visuel (éclairage et ambiances lumineuses), acoustique (corrections et isolations) et le contrôle des réseaux techniques (domotique).

L'architecture contemporaine confie à la technologie un rôle important dans son application, la conception se trouve dotée de moyens permettant le développement de l'espace de vie ainsi que l'image de la ville.

La technologie est alors au service de l'architecture, et par conséquent elle devient une nécessité pour affronter les difficultés de l'architecture ; l'aspect technologique n'est pas seulement technique, il est aussi un instrument de composition formelle qui repose sur le choix des matériaux et des procédés de constructions.

Delà une idée émerge, concevoir dans le contemporain (confort, esthétique et innovation) ne se fait que par le billet de gadgets technologiques (hors de prix) et qui ne sont pas à la portée de tout le monde !

ARCHITECTURE DURABLE

Principes	Gestion acoustique			Confort Visuelle				
	Correction et Protection			Naturelle			Artificielle	
Application	Ecrans antibruit	Isolation bruit extérieur	Correction bruit intérieur	Puits de lumière	masques	éléments de contrôle amovibles	Luminaires	Réflecteurs
Principe	Pour se protéger des bruits émis par une source (trafic autoroutier, Ferroviaire, ...)	Parois composée d'un matériau absorbant (double vitrage, cloison en plaques de plâtre, mur isolé)	Favoriser autant que possible la séparation des locaux sensibles par des parois lourdes et/ou des portes de distribution Intermédiaires L'utilisation de matériaux fibreux permet une bonne absorption des ondes acoustiques.	Transmettre la lumière naturelle et favoriser sa pénétration à l'intérieur . La pénétration de la lumière dans un espace est influencée par les caractéristiques des ouvertures ses dimensions , formes, positions et le matériau de transmission utilisé utilisé, qui peut être transparent ou translucide	Dispositions prises pour éviter l'éblouissement, selon le type de locaux (peu sensibles, sensibles, très sensibles à l'éblouissement) Basé sur plusieurs phénomènes physiques: L'absorption (surplombs, mur de refends, ...), La réflexion (light shelves, ...), La réfraction (prismes, ...), La diffraction (éléments holographiques, ...)	systemes consistent à gérer la quantité de lumière naturelle dans le bâtiment	conçu pour fonctionner en l'absence d'éclairage naturel, et en appoint de celui-ci lorsqu'il est disponible	Assurer une bonne uniformité de l'éclairement. Eviter l'éblouissement.
Schémas				 				
Photos								

ARCHITECTURE DURABLE

Principes	Gestion thermique									Gestion énergétique						
	Circulation		Echange			Protection		Control		Soleil	Vent	Biomasse		Géothermie		
Application	Puits canadiens	Cheminée solaire	Façade double	Mur capteur	Echangeur adiabatique	Inertie des matériaux	Toiture végétalisée	Façade végétalisée	Ventilation mécanique simple	Ventilation mécanique double flux	Photovoltaïque	l'énergie éolienne	Energie d'algues	la chimie verte des végétaux	production d'électricité	production de chaleur
Principe	Profiter de la capacité du sol à résister au changement de température de l'air (inertie thermique)	Pendant la journée, le soleil chauffe le conduit créant un appel d'air aspirant l'air en bas de la cheminée (convection) permettant de ventiler et refroidir le bâtiment.	une enveloppe protégeant le bâtiment des contraintes météorologiques	vitrage à forte émissivité devant un mur à grande inertie thermique	méthode de rafraîchissement d'air basée sur l'évaporation de l'eau.	Stocker l'énergie dans la masse du bâtiment et amortir les variations de température grâce à l'inertie thermique.	En absorbant la chaleur, les toits verts réduisent la charge des appareils de refroidissement des bâtiments.	structure solide verticale, servant de support, construite parallèlement à la façade de bâtiment. La structure permet de laisser un coussin d'air entre la façade du bâtiment et le mur végétalisé,	système est mis en dépression par un extracteur d'air. Un ventilateur placé dans les combles ou en toiture, aspire l'air par des conduits placés dans les pièces humides. La circulation de l'air est à sens unique,	ce système permet de limiter les déperditions thermiques liées au renouvellement de l'air. Ce système permet de récupérer des calories sur l'air extrait afin de tempérer l'air neuf insufflé	énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire.	systèmes de production d'énergie électriques les plus sûrs ; bas impact environnemental ; bonne vie utile des appareils.	transformation la biomasse en hydrocarbure, batterie à combustible Procédé pour la production des matières BIO20 comme la production du bioplastique,	l'exploitation de la chaleur stockée dans le sous-sol. exploiter ce phénomène d'augmentation de la température en fonction de la profondeur		
Schéma																
Photo																

1.2. Développement durable

L'expression « développement durable » devient aujourd'hui incontournable dans le monde, c'est la conséquence d'une volonté de prise en considération des valeurs sociales, économiques et écologiques par tous les acteurs d'un projet.

Cependant la généralité de leur définition ne permet pas une transcription directe de ces concepts en des programmes d'action finalisés. Des démarches sont entreprises alors pour rendre le développement durable opérationnel au niveau architectural et urbain.

1.2.1. Pourquoi le développement durable ?

Le modèle de développement actuel, axé principalement sur la croissance économique, laisse des traces :

- Pollution de l'eau, de l'air et des sols,
- Fragilisation de la biodiversité,
- Surexploitation des ressources,
- Explosion démographique,
- Pauvreté, conflits et guerres pour l'accès aux ressources,
- Fluctuations économiques, pénuries alimentaires et carences sanitaires.

Devant cette situation, la pertinence d'un modèle de développement plus respectueux de l'environnement et du bien-être collectif prend de l'ampleur et suscite des discussions à grande échelle. Des solutions s'imposent : réduire l'impact de l'activité humaine, améliorer la qualité de vie, maintenir l'équilibre des écosystèmes, revoir le mode de consommation, réfléchir sur les fonctions et responsabilités individuelles et sociétales. L'idée d'un développement durable est née³.

1.2.2. Rappel historique sur le développement durable

Le souci de la relation entre l'activité humaine et son impact environnemental n'est pas nouveau : il apparaît dans la philosophie gréco romaine dans l'antiquité, se lit dans l'architecture vernaculaire des civilisations anciennes, mais il faudra attendre jusqu'au XXe siècle pour qu'il prenne de l'ampleur.

C'est avec le Club de Rome et son premier rapport mondialement reconnu, « The Limits to Growth », publié en 1972 et, la même année, avec la Conférence des Nations Unies sur l'environnement humain (Conférence de Stockholm), que le discours sur la protection de l'environnement comme patrimoine mondial prend forme. Cette conférence sera qualifiée de premier Sommet de la Terre. Depuis, l'événement a lieu tous les dix ans (Nairobi 1982, Rio 1992, Johannesburg 2002 et retour à Rio en 2012).

À ces sommets s'ajoute une conférence marquante : la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (rapport Brundtland) en 1987.

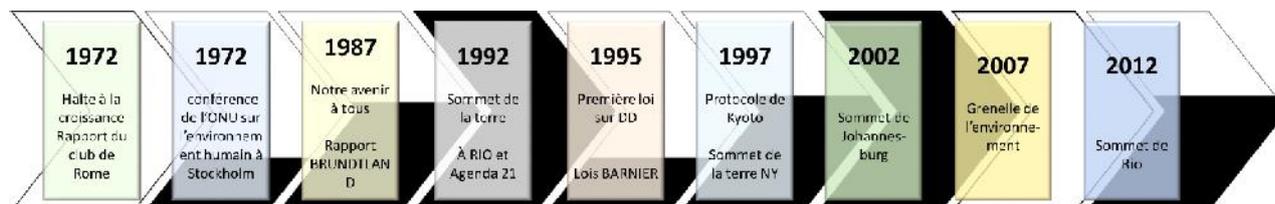


Figure 6 Principaux repères chronologique du DD

Source : tpe-developpement-durable.e-monsite.com. Traité par l'auteur

³ Rapport de durabilité 2009-2010 « Comprendre, consolider, Innover », p.11.

1.2.3. Définitions du développement durable

Les définitions les plus largement acceptées par la communauté internationale sur le concept de développement durable sont :

- Celle de Harlem Gro Brundtland « un développement qui satisfait les besoins d'aujourd'hui sans compromettre la satisfaction des besoins de demain »⁴
- Celle d'un développement soutenu par trois piliers : viabilité économique, équité sociale et préservation de l'environnement



Figure 7 Les trois piliers du développement durable
Source : Sommet de Rio, 1992

On retient que le développement durable est un instrument de décloisonnement et un levier de mobilisation puissant. Intemporel par sa définition, il répond aux besoins de deux générations anachroniques entre eux.

1.2.4. Les principes du développement durable

Le développement durable et ses principes s'appliquent à toutes les activités et tous les secteurs. On parle ainsi de santé durable, de ville durable, de gestion durable des forêts, de modes de production et de l'architecture durable, etc.

Le développement durable vise à traduire dans des politiques et des pratiques un ensemble de 27 principes, énoncés à la Conférence de Rio en 1992. Parmi ces principes :

- la **responsabilité** qui incombe aux pays développés en faveur du développement durable.
- la **solidarité** entre les générations (le temps) et entre le nord et le sud (l'espace).
- la **participation** de tous les acteurs dans toutes les échelles de décision.
- la **précaution** ou les préventions dans les démarches qui tance la réversibilité des actes.
- la **subsidiarité** dans laquelle la responsabilité d'une action publique est allouée à la plus petite entité capable de résoudre le problème d'elle-même.

⁴ Rapport de la commission mondiale sur l'environnement et le développement 1987

1.3. Architecture durable

L'architecture écologique (ou architecture durable) est un mode de conception et de réalisation ayant pour préoccupation de concevoir une architecture respectueuse de l'environnement et de l'écologie.

Il existe de multiples facettes de l'architecture écologique, certaines s'intéressant surtout à la technologie, la gestion, ou d'autres privilégient la santé de l'homme, ou encore d'autres, plaçant le respect de la nature au centre de leurs préoccupations.

On peut distinguer plusieurs « lignes directrices » :

1.3.1. L'énergie durable

L'énergie consommée dans un cycle de vie d'un bâtiment se compose de trois types principaux suivants :

- **La fabrication** : allant de l'extraction des matières premières, leur transport, leur transformation, le transport des produits finis et leur mise en œuvre in-situ.
- **L'utilisation** : le chauffage, la ventilation, la climatisation, l'éclairage, etc.
- **La démolition** : l'énergie de démolition et de traitement des déchets après la démolition

L'enjeu du secteur du bâtiment dans le développement durable est donc de diminuer l'utilisation des énergies abordées au-dessus. Ce ci par une efficacité du chauffage, de la ventilation et du système de refroidissement (isolation thermique, ventilation naturelle...etc.) Et/ou la proposition d'énergies alternatives (Solaire, éolienne...etc.)



Figure 8: L'éco-quartier Eva Lanxmeer (Pays-Bas
Source : saintjeandebraye.fr/)

1.3.2. Positionnement

Le choix de l'implantation est une cible primordiale pour l'architecture durable. La capacité d'une construction à être autonome en énergie dépend donc entre autre de son implantation : ensoleillement, prise aux vents, végétation, nature du sol sont des éléments déterminants en la matière.

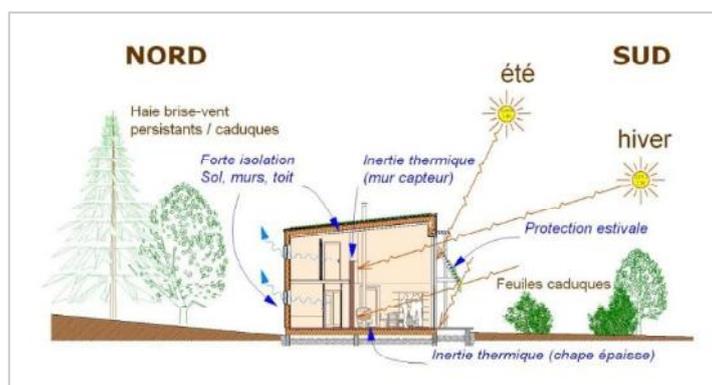


Figure 9: Schéma explicatif du fonctionnement d'une maison bioclimatique
Source : architectureverte.fr

1.3.3. Gestion des déchets

Une autre partie importante de l'architecture durable est la minimisation de la pollution et de la production de déchets. Celle-ci peut être mise en application par la récupération des eaux de pluies, notamment pour l'arrosage, et le recyclage des eaux usées, l'intégration de systèmes de tri des déchets et de compostage des matières organiques. L'emploi de matériaux non-polluants peut aussi être un moyen de réduire l'émission de composés organiques volatils.



Figure 10: Borne d'aspiration des déchets pour recyclage
Source : guideperrier.com

1.3.4. Matériaux de construction durables

Les **matériaux** et produits de construction **durables** offrent les performances techniques et fonctionnelles souhaitées, tout en rencontrant un faible impact sur l'environnement et sur la santé humaine et en encourageant une amélioration des aspects économiques et sociaux au niveau local, régional et global⁵

a. L'analyse du cycle de vie des matériaux (ACV)

Selon Safia SALMI, dans son mémoire : « En déconstruisant le cycle de vie des matériaux comme une série d'actions, il est possible de quantifier le caractère durable d'un matériau par rapport à un autre ». En étudiant l'implication des matériaux de construction à travers la vie des bâtiments, trois phases se dégagent. Pour chaque phase il est possible de définir des actions précises concernant les matériaux de construction, chacune de ces actions permettant de caractériser un effort particulier dans le sens du développement durable. Il suffit qu'un matériau respecte un de

⁵ ISO, 2008, ISO/FDIS 15392:2008 (E), S G s t n a e i m a a l b p i H n t e i i p l a t u s i p l r d a n h g o
Standard, ISO/TC59/SC17, 20 p.

ces caractères en plus qu'un matériau comparable pour qu'il soit considéré comme plus durable

L'analyse de cycle de vie consiste à faire l'inventaire des quantités d'énergie dépensées pour extraire la matière première, la transporter en usine, fabriquer le matériau de construction, l'apporter sur le chantier, le mettre en œuvre, et, trente ou cinquante ans plus tard, pour déconstruire le bâtiment, recycler ou mettre en décharge le matériau considéré. Le résultat chiffré de l'analyse de cycle de vie d'un matériau s'appelle l'énergie induite ; qu'indicative elle ne prend pas en considération la pollution des sols, de l'eau et l'incidence des matériaux sur notre santé.

Avant qu'il soit dans le bâtiment	Dans le bâtiment	Après le bâtiment
<ul style="list-style-type: none"> - mesures de prévention de la pollution à la fabrication, - mesures de réduction des déchets à la fabrication, - contenu recyclé, - réduction de l'énergie induite, - utilisation de matériaux naturels. 	<ul style="list-style-type: none"> - matériaux locaux, - réduction des déchets pendant la construction, - efficacité énergétique, - traitement et conservation de l'eau, - utilisation de matériaux non-toxique ou moins toxique. 	<ul style="list-style-type: none"> - réutilisation, - recyclabilité, - biodégradabilité.

Figure 11 le cycle de vie des matériaux

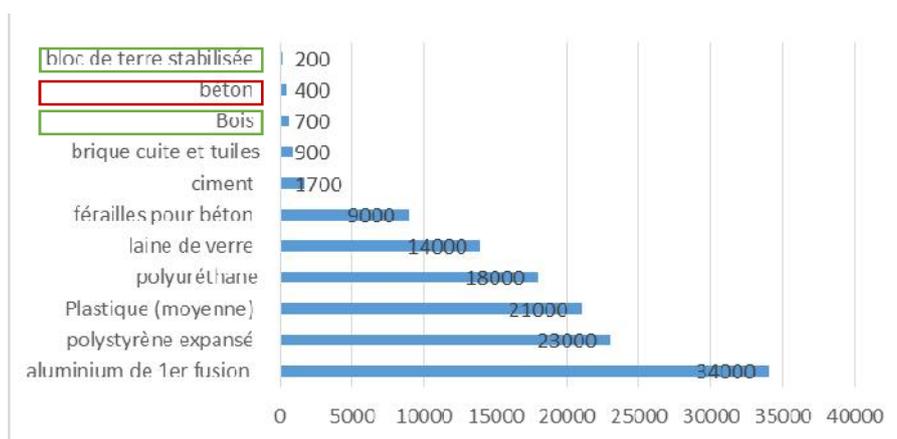


Figure 12 Les énergies induites des différents matériaux de construction Kwh/t

Source : SAFIA SALMI, La construction en pise UMMTO, 2014. Traités par l'auteur

Le bloc de terre stabilisée, le béton et le bois sont selon le graphique précédent les meilleurs matériaux de construction en matière d'énergie induites. Cependant le béton nécessite des traitements particuliers quand il est utilisé dans le bâtiment comme les revêtements et les isolations thermiques ainsi d'innombrables gadgets de confort. Il nous reste alors que le **bois** et la **terre** comme lauréats.

b. Les ECO-matériaux

La présentation des éco matériaux est ici volontairement sommaire et se limite à une appréciation subjective de leur « valeur écologique », de leurs présentations et usages les plus fréquents en construction⁶. Parmi les éco matériaux retenus :

⁶ <http://www.mlaetseriaux.fr>



Figure 13 Quelques exemples des ECO-matériaux
Source : <http://www.les-ecomateriaux.fr>

1.3.5. Réutilisation de matériaux et de bâtiments

L'architecture durable incorpore des matériaux recyclés ou de seconde main. La réduction de l'emploi de matériaux nouveaux correspond à une économie de l'énergie utilisée pour produire les matériaux (énergie grise). La réhabilitation de vieux bâtiments permet aussi de réaliser un gain dans les matériaux en permettant aux vieilles bâtisses d'assurer de nouveau leur fonction ou injecter une nouvelle.

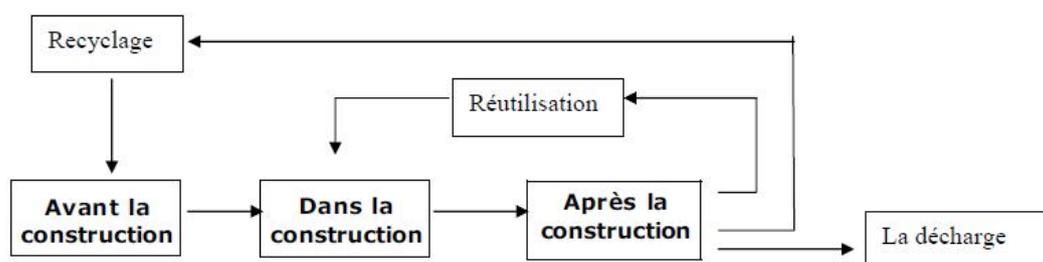


Figure 14 Principe du cycle des matériaux de constructions
Source : SAFIA SALMI, La construction en pise UMMTO, 2014. Traités par l'auteur

1.3.6. Critiques sur l'architecture durable

Certains peuvent reprocher à l'architecture durable de ne pas être à proprement parler de l'Architecture prise en tant que discipline. Effectivement c'est plutôt une façon de concevoir une œuvre bâtie par rapport à l'industrie de la construction, et donnant la priorité aux techniques et aux industries connexes de la construction

On voit aussi les architectes mettant en avant ce type d'architecture comme des opportunistes, profitant d'un sujet qui préoccupe de plus en plus de personnes pour gagner une réputation à bon compte, sans pour autant apporter une réelle qualité architecturale.

L'architecture durable ne peut pas se constituer en un style architectural puisque ce sont avant tout des questions de gestion et de dispositifs techniques, même si certains d'entre eux peuvent avoir une incidence très prégnante sur le parti architectural.

1.4. Labellisation et outils de certification

Définition de cadres de conception communs, actions sur le parc existant, stimulation de l'innovation, les certifications se posent à la fois comme outil et vitrine d'une démarche de construction durable.

A partir des années 1990, la préoccupation environnementale appliquée dans le secteur de l'architecture et de l'urbanisme a engendré plusieurs tentatives européennes qui ont essayé d'intégrer les objectifs du développement durable dans la pratique architecturale actuelle. A ce propos, des démarches, des labels (marques garantissant la qualité d'un produit) ainsi que des réglementations se sont succédées afin de mieux concrétiser ces intentions durables dont on cite la démarche Haute Qualité Environnementale (HQE®) et les labels BREEAM, LEED et GREEN STAR.

1.4.1. La démarche Haute Qualité Environnementale

C'est une démarche française créée en 1993 et qui tente d'appliquer les objectifs du développement durable à l'échelle du bâtiment. Elle « vise à améliorer la qualité environnementale des bâtiments neufs et existants, c'est-à-dire à offrir des ouvrages sains et confortables dont les impacts sur l'environnement évalués sur l'ensemble du cycle de vie, sont les plus maîtrisés possible »

- Principes généraux ⁷

- Les objectifs sont fixés par le maître d'ouvrage dans le cadre de son programme.
- Mobiliser l'ensemble des acteurs pour atteindre les objectifs.
- Le choix architectural et technique est justifié et adapté au contexte.
- La création d'un environnement intérieur sain et confortable et limiter les impacts environnementaux
- Évaluer les performances

La démarche HQE s'articule autour de 14 cibles⁸, réparties en familles et différents domaines, détaillées dans le référentiel Qualité Environnementale du Bâtiment, ainsi répertoriées :



Figure 15 Les cibles de la HQE
Source : old-environnement.com

1.4.2. BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

C'est un système de notation anglais simple, créé en 1990, qui est transparent, flexible, facile à comprendre et soutenu par la science et de la recherche fondée sur des expériences réelles, il tente d'exercer une influence positive sur la conception, la construction et la gestion des bâtiments, il définit et maintient une norme technique robuste à travers la certification.

⁷ <http://fassohqe.org/>

⁸ Pour respecter la " Démarche HQE », le bâtiment doit atteindre au minimum : 3 cibles au niveau très performant, 4 cibles au niveau performant, 7 cibles au niveau de base.

- **Comment ça marche ?**

Les niveaux de référence de notation BREEAM permettent comparer la performance d'un bâtiment individuel avec d'autres bâtiments classés BREEAM et la performance de durabilité typique de nouvelles ou grands bâtiments non résidentiels rénovés au Royaume-Uni

- **Objectifs principaux**

- Atténuer les impacts du cycle de vie des bâtiments sur l'environnement
- Classification des bâtiments en fonction de leurs avantages environnementaux
- Fournir un label environnemental crédible pour les bâtiments
- Stimuler la demande pour les bâtiments durables

1.4.3. LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

C'est un organisme (américain) créé en 1999, nationalement reconnue pour la conception, l'exploitation et la construction de bâtiments écologiques à rendement élevé. Ceci assure que les bâtiments sont compatibles avec l'environnement, offrent un environnement de travail sain et sont rentables. Un bâtiment peut atteindre quatre niveaux : certifié, argent, or ou platine

- **Critères d'évaluation**

Les critères d'évaluation incluent : l'efficacité énergétique, l'efficacité de la consommation d'eau, l'efficacité du chauffage, l'utilisation de matériaux de provenance locale et la réutilisation de leur surplus. Ils visent directement à respecter la loi des 3 R : **R**éduction des déchets et des ressources utilisées, **R**éutilisation des matériaux, **R**ecyclage des matériaux.

1.4.4. GREEN STAR

C'est un système volontaire (australien) créé en 2003, de notation de durabilité pour les bâtiments. Notes peuvent être obtenus à la phase de planification pour les communautés, au cours de la conception, la construction ou en fin de cycle. Il est pris en charge uniquement par l'industrie et les gouvernements à travers le pays.

- **Sa mission**

Développer une industrie de biens durables pour l'Australie et conduire à l'adoption de pratiques de construction écologiques grâce à des solutions fondées sur le marché.

- **Objectifs principaux**

- Conduire la transition de l'industrie de la propriété australienne vers la durabilité
- La promotion de programmes de construction, des technologies, des pratiques de conception et les activités écologiques
- L'intégration des initiatives de construction écologique dans la conception dominante, la construction et l'exploitation des bâtiments.

CERTIFICATION	HQE	BREEAM	LEED	GREEN STAR
				
CIBLES PRINCIPALES (NOMBRE)	14	15	34	50
Site				
Environnement intérieur				
Energie				
Ressources et matériaux				
Eau				
Transport				
Santé				
Confort				
Gestion				
Qualité d'usage				
Esthétisme				
Fonctionnalité				

Figure 16 Analyse comparative des labels

Source : Rapport « Entreprises & Construction Durable ». UTOPIES © 2009

Synthèse

Certes il reste sans doute louable tout cet effort universel illustrant une volonté de migrer vers des solutions constructives durables. De l'autre côté, certains professionnels critiquent ce qu'ils voient « une altération » du concept de développement durable caractérisée par cette course folle vers les technologies du futur. En fait, l'accumulation des appareils, la systématisation des équipements techniques ainsi que la dominance des nouveaux procédés technologiques à la fois coûteux et énergivores ne seraient-ils pas en contradiction avec la logique durable ?

N'oublions pas que même les processus industriels qui génèrent et fabriquent ses systèmes peuvent de prêt ou de loin nuire à l'environnement. Ces installations technologiques « écolo » (panneaux photovoltaïques, isolants ultra-performants...) sont -paradoxalement- issues de systèmes productifs polluants, gros producteurs de gaz à effet de serre et gros consommateurs d'eau et d'énergie !

Dans ce raisonnement, Franck Boutté, ingénieur-architecte spécialiste en HQE, est parvenue à une conviction qui affirme que : « la durabilité d'un bâtiment ou d'un aménagement ne se trouve pas dans une gadgétisation technique, une surenchère de systèmes greffés sur des édifices (...) mais dans une réflexion sur des stratégies et des dispositifs urbains, architecturaux et constructifs, qui souvent coutent peu mais ont un impact réel et tangible. »

Evoquant ces dites limites des solutions bioclimatiques Hi-Tech, il insiste que : « la démarche environnementale doit devenir une vertu intrinsèque de l'architecture qui doit permettre aux bâtiments de consommer moins, d'être réversibles, réutilisables. »

2. LEÇONS DU PASSE POUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE

Toujours dans l'ouvrage " architecture=durable "de Franck Boutté il dit que les techniques de réhabilitation et de rénovation thermique actuelles de l'existant semblent cruellement manquer de "solutions architecturales ", alors qu'il existe une multitude de systèmes bioclimatiques architecturaux éprouvés.

Il est clair qu'il serait intéressant de retrouver "la dimension d'une architecture profondément influencée par son contexte aussi bien physique, géographique climatique que culturel au travers notamment des cultures constructives qu'elle utilise. Une conception architecturale qui se fonde sur des principes simples."

Dans cette partie nous allons voir comment le fait de s'appuyer sur l'existant, dans tous les sens du terme, peut constituer une démarche performante, économe et innovante ?

Nous allons définir les enjeux environnementaux du patrimoine existant puis mettre le voile sur les éléments phare de l'architecture vernaculaire « source inépuisable de technologies ingénieuses » et enfin on introduira une culture constructive ancestrale basée sur une architecture de matériaux locaux.

2.1. Le patrimoine et enjeux environnementaux : questionner l'existant

La piste « architecture traditionnelle » ou « vernaculaire » renferme un potentiel indéniable, une lecture du patrimoine constitue un apport contemporain aux enjeux actuels. Ce patrimoine architectural est composé d'éléments constructifs environnementaux pertinents, on peut en tirer de ses principes des bijoux bioclimatiques. L'enjeu est tel, qu'il ne suffit pas de les réutiliser dans un style pastiche mais de les faire évoluer pour les confronter aux exigences actuelles.

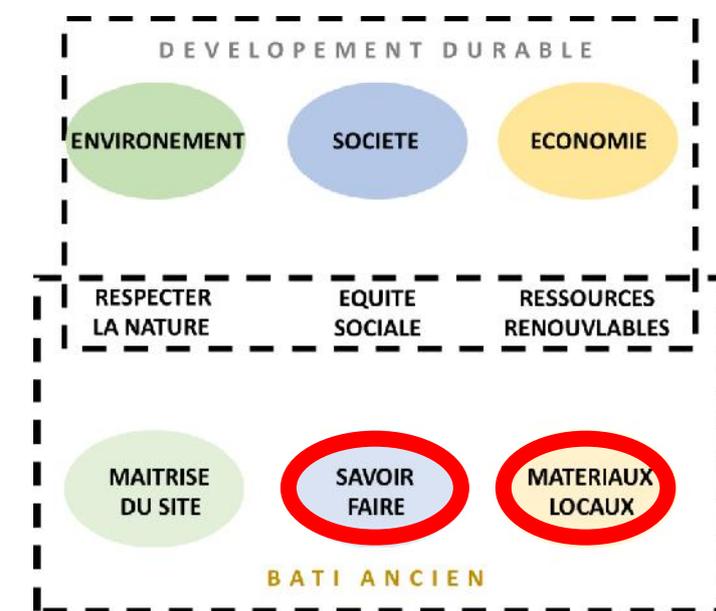


Figure 17 Schéma expliquant l'analogie entre bâti ancien et DD
Source : Etabli par l'auteur

Il existe une analogie entre patrimoine et le développement durable : les deux expriment la même volonté d'intégrer la dimension temporelle, de mieux articuler le passé, le présent et le futur des sociétés et de transmission intergénérationnelle.

La démarche patrimoniale permet avec le passé de mieux comprendre le présent afin de concevoir un avenir meilleur.

2.2. Vernaculaire : le bon sens ancestral

Rustique, populaire, indigène ou folklorique, le vernaculaire renvoie à plusieurs significations selon les auteurs. Il existe un nombre indéniables de techniques vernaculaires et traditionnelles qui permettent de répondre aux contraintes énergétiques, climatiques et économiques.

2.2.1. Essai de définition :

En architecture, selon Jean Paul LOUBES, le vernaculaire est désigné généralement pour signifier des architectures liées à "un territoire, à un groupe ethnique"⁹ faites par un artisan et non par un professionnel "architecte" c'est pourquoi Bernard RUDOFISKY la qualifié d'une architecture sans architectes. De ce côté, il y a probablement une entente sur le sens général mais en terme d'application cela s'avère plus compliqué car l'architecture vernaculaire est différente d'un pays à un autre. Ce qui a emmené, en 1978, ICOMOS à demander de chaque pays de donner sa définition du "vernaculaire"¹⁰. Le régionalisme de ces architectures et le vaste champ de recherche à couvrir, explique la complexité de donner une définition déterminée

Quant A Pierre Frey qui, dans son ouvrage « learning from vernacular », attire l'attention sur ses vertus signale que « le domaine des pratiques vernaculaires offre un stock merveilleux de dispositifs ingénieux témoignant des effets spectaculaires que peuvent produire des techniques extrêmement économes en matériaux et en énergie »



Figure 18 Quelques aspects d'architecture vernaculaire sud algérien M'ZAB
Source : www.scoop.it

2.2.2. Intérêts de l'architecture vernaculaire

L'examen attentif de nombreux exemples de l'architecture traditionnelle permet de vérifier l'idée selon laquelle cet héritage architectural vernaculaire n'était pas le fruit de tâtonnements insensés des anciens bâtisseurs. Ces architectures traditionnelles révèlent une magnifique diversité non seulement au niveau des formes urbaines et les typologies architecturales que nous héritons aujourd'hui, mais aussi dans les techniques constructives adoptés par nos ancêtres et leurs pratiques intelligentes avec lesquelles ils ont su édifier leur cadre de vie. Cet héritage se déploie comme une base de données précieuse qu'on peut la confronter aux questions de l'actualité et aux priorités du présent.

L'intérêt et le potentiel d'apprentissage des architectures vernaculaires me semblent nécessaires. Nous allons voir que le répertoire des solutions exemplaires est infini comme la

⁹ Jean Paul LOUBES, *Le Vernaculaire, Architecture sauvage : manifeste pour une architecture située*, Paris, Éd. Le Sextant, 2010,

¹⁰ Eric MERCIER, *L'architecture vernaculaire en Angleterre*, I C

ventilation naturelle assurée par le system de patio, galerie coupole et passage intermédiaire, les tours a vents et l'inertie des matériaux qui assurent un confort intérieur aux normes requises

A ces architectures trois composantes sont primordiales pour une bonne implantation : l'intégration au site, le savoir-faire de la population et les matériaux locaux.

2.2.3. L'intégration au site

L'une des clés de réussite de l'architecture vernaculaire est sans doute son intégration parfaite au site. Cette architecture se veut ainsi respectueuse de son environnement, en symbiose avec son contexte ; le point faible de l'architecture moderne tellement critiquée pour son « occultation » du site.

De tout temps, les hommes ont su s'adapter à leur environnement d'une manière ingénieuse, en composant intelligemment avec les éléments naturels composant le site d'implantation (biologiques, géologiques, climatiques...) qui étaient exploités non pas comme des contraintes. Mais pour en tirer profit. C'est ainsi qu'une panoplie de facteurs étaient pris en compte lors de tout acte de bâtir tels que les données climatiques, l'orientation, Ensoleillement, Eclairage, le vent dominant, les ressources naturelles...¹¹



Figure 19 Les troglodytes de Matmata en Tunisie
Intégration au site argileux par excavation et non construction
Source : rent-a-guide.com

2.2.4. Matériaux locaux

Le monde de la construction traditionnelle préindustrielle est basé sur l'exploitation des matériaux fournis directement par le site ou à la limite des matériaux de réemploi issus de sites voisin. Vu la difficulté ainsi que le coût très élevé de l'acheminement des matériaux de construction, il est donc naturel d'utiliser des matériaux géographiquement proches et dont la manipulation est facile comme la terre, la pierre, le mortier de chaux ou de plâtre et le bois. Un tel choix va, en premier lieu, engendrer une production humaine homogène à l'environnement qui s'intègre merveilleusement dans le paysage à travers les couleurs et les textures adoptées.

Les matériaux utilisés comme la terre, le pisé ou la pierre, en plus de leurs potentialités structurelles, sont largement utilisés pour leur importante inertie thermique qui offre des espaces intérieurs confortables durant les 4 saisons de l'année. Cette inertie se définit par l'aptitude du matériau à absorber la chaleur et l'emmagasine. Il convient également d'insister sur le pouvoir hygrométrique de ces matériaux, ou autrement dit leur « transpirabilité », à savoir leur capacité d'absorber l'humidité, de sécher et d'atteindre un équilibre entre l'humidité extérieure et l'humidité intérieure.

Ce phénomène a été rendu possible grâce à l'emploi de revêtements tels que le plâtre, les enduits de chaux ou de terre et les badigeons de chaux.¹²

¹¹ FREY P, *Learning from Vernacular Architecture*
¹² rent-a-guide.com



Figure 20 inerte thermique d'une paroi en pierre
Source : maisondupays.emmo.fr

2.2.5. **Savoir-faire de la population**

Des deux composantes précédentes sont nées des pratiques, la transmission de ces pratiques, engendre la construction d'une certaine connaissance concernant les matériaux qu'utilisaient les bâtisseurs, dans leurs propriétés physiques et leur disponibilité sur le site naissait un savoir-faire. Ce savoir acquis par l'expérimentation était transmis des pères aux fils pour constituer un répertoire héréditaire riche en enseignements.



Figure 21 Procédés constructifs traditionnels
Source : l'c s m a p t   c . n e t

2.3. **Architecture de terre : composante majeur du patrimoine vernaculaire**

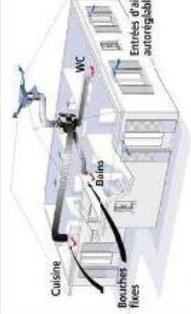
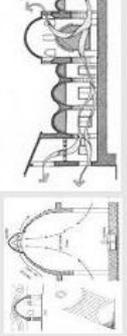
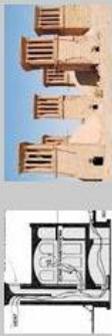
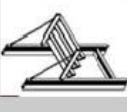
Il a été évoqué précédemment que les modes constructifs traditionnels se sont élaborés à partir des ressources localement disponibles. Ce choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction en résultait des techniques, des savoir-faire et des connaissances variés. Des matériaux naturels tels que la pierre, le bois ou la terre (cuite ou crue), disponible localement étaient utilisés dans des circuits très courts en subissant peu de transformations. La terre, matériaux le plus abondant sur la planète, est utilisée dans la construction depuis les temps anciens. Un nombre infini de mode de construction en terre est répandus dans divers pays.

La variété de la terre, son utilisation diverse engendre une identité sociale et culturelle. Une culture constructive se développa alors à partir d'une règle toute simple : « *construire avec ce qu'on a sous les pieds* » et donna vie à l'héritage qu'on étudie aujourd'hui.

Essentiellement constitué de constructions en terre, cet héritage est, une architecture écoresponsable ancestrale qui utilise un matériaux regorgeant de potentialités techniques, environnementales et économiques et qui reflète un savoir-faire qui ne cesse de se développer.

C

CHAPITRE I GENES ET DEFINITIONS SEMANTIQUES

Exemples de procédés vernaculaires passifs		Exemples de procédés actifs « modernes »		Exemples d'architecture adaptant des techniques bioclimatiques vernaculaires	
le patio (ventilation naturelle, régulation de l'air)		ventilation mécanique contrôlée (VMC) simple flux			Sabgath studio, construction inspirée de la coupole vernaculaire. (Ahmedabad, Inde) Année 1979.
la coupole (ventilation naturelle et rafraichissement de l'air)		Système de climatisation			Habitat collectif écologique inspiré des tours des vents: Quartier Dedzed à Beddington (Royaume-Uni). Année 2007.
La tour des vents (climatisation naturelle)		ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux			Construction contemporaine, bâtiment public et immeuble de bureaux intégrant une ventilation naturelle grâce au puit canadien : Maison de la région Alsace (France). Année 2005.
Technique du puits canadien (ventilation naturelle)		Installation de récupération des eaux pluviales (mécanique)			Watertower Gratte-ciel bâtiment qui permet l'accès aux eaux souterraines par l'application de pompes à eau. La forme du bâtiment est inspirée par un château d'eau (Soudan, 2007)
Réservoir d'eau Réculte des eaux de pluie		Façade double une enveloppe protégeant le bâtiment des contraintes météorologiques			Institut du monde arabe composée de 240 moucharabiehs. Ces derniers sont munis de diaphragmes qui peuvent s'ouvrir et se fermer. (France 1987)
Moucharabieh LE MOUCHARABIEH - VENTILATION ET FILTRE VISUEL -		Brise soleil Lames horizontales, auvent, serreur ponctuel			Centre IMIDEA 950m ² de brise soleil, type brise-soleil orientables en bois retifié avec système de commande à moteur.
Persienne REGULATION THERMIQUE - VENTILATION NATURELLE					

3. ARCHITECTURE DE TERRE : L'AVENIR D'UNE TRADITION MILLENAIRE

L'expression architecture de terre désigne « l'ensemble des édifices maçonnés en terre crue, et exclue à la fois l'architecture de brique (terre cuite) et les cavités creusées dans les sols meubles qu'on trouve en Andalousie, au sud de la Tunisie et surtout dans la « ceinture de loess » où vivent plus de dix millions de Chinois »¹³.

Dans cette partie nous évoquerons l'intérêt (bien qu'évidant) de la terre comme matériaux de construction, puis nous présenterons un panorama varié de constructions en terre et leur évolution. Puis on mettra en évidence l'universalité des architectures de terre. Pour finir avec la réglementation et la formation de la terre comme discipline à part entière.

3.1. Intérêts de la construction en terre

La construction en terre a prouvé sa durabilité et sa bonne intégration dans le paysage. De son extraction et sa mise en œuvre, ce matériau ne subit aucune transformation polluante. En cas de destruction, il peut être réutilisé pour ériger d'autres murs. Il est recyclable à l'infini.¹⁴

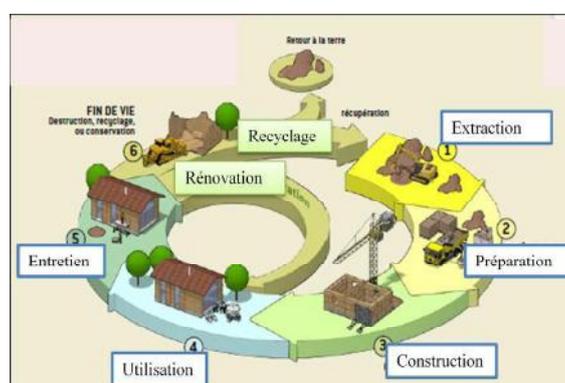


Figure 22: Le cycle écologique des architectures de terre
Source : <http://pise-livradois-forez.org/>

3.1.1. Les intérêts socio - économiques

L'avantage économique constitue probablement l'aspect le plus démonstratif des intérêts que représente la revalorisation de l'architecture de terre. Les faibles coûts des réalisations en terre peuvent agir comme un levier social pour améliorer considérablement les conditions de vie des gens.

Plusieurs exemples dans le monde illustrent l'action effective de la revalorisation de l'architecture de terre sur la vie sociale et économique d'une société :

- Elle offre une variété de logements allant du social collectif à l'habitat de haut standing, et même des équipements publics.
- Elle peut faire baisser le prix des logements jusqu'à 50%. (ex : Maroc, la réalisation de logements sociaux « Tan Tan »).

¹³ <http://www.universalis.fr/>

¹⁴ MORISET Sébastien, MISSE Arnaud, rénover et construire en pisé, Parc naturel régional L Forez, 2010, disponible sur : <http://pise-livradois-forez.org>.

- Elle peut réduire de 32% le coût global des habitations¹⁵. (utilisation de briques en terre crue comme remplissage d'une ossature en béton armé)
- Elle offre un grand marché pour l'emploi qui assimile une main d'œuvre locale et favorise un développement économique local.
- C'est un bon moyen de stabilisation des populations rurales tentées par la migration vers les grandes villes à cause de la pauvreté.

3.1.2. Les intérêts écologiques et environnementaux

Dans le monde, le souci environnemental constitue un nouveau défi à l'architecture qui doit désormais s'insérer dans le concept de développement durable en pensant aux solutions moins nuisibles à l'environnement et qui ne compromettent pas l'avenir des générations futures.

L'architecture de terre se propose comme l'une des solutions les plus prometteuses du fait qu'elle ne génère pas d'émission de carbone lors de sa production. De plus, le matériau est biodégradable, recyclable¹⁶, elle ne génère pas ou très peu de déchets de chantier. Elle exige peu d'énergie fossile pour sa préparation, sa mise en forme et sa mise en œuvre, ce qui est un avantage certain par rapport au béton armé et à la brique cuite, mais aussi les possibilités d'associations complémentaires avec d'autres matériaux eux aussi naturels et peu gourmands en énergie constituent un atout supplémentaire pour la terre.¹⁷

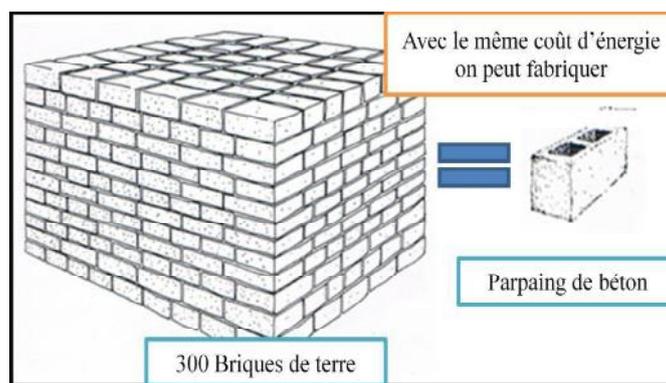


Figure 23 Comparaison des coûts énergétiques de la brique de terre et du parpaing en béton.

Source : BARDOU P, ARZOUMANIAN V, Archi de soleil, Ed Parenthèses,

3.1.3. Impacts sur la santé et le bien-être

La terre est un matériau sain, non toxique, qui ne dégage pas de substances nocives et notamment pas de COV (composés organiques volatils). Mais, l'intérêt principal de la terre est sa forte capacité de régulation naturelle de l'humidité et de la température¹⁸. Aussi, les murs en terre régulent l'hygrométrie de l'air intérieur à la condition bien sûr de proscrire tout épiderme étanche (enduit ciment, peinture plastique, faïence, résine). Par exemple, une brique de terre crue peut retenir jusqu'à 3 % environ de son poids en vapeur d'eau¹⁹.

¹⁵ CNERIB, Conception de logements économiques à base de produits localement disponibles, Ed CNERIB, 2000, p 31.

¹⁶ LITTLE B e c k y , M O R T O N T o m , B u i l d i n g , v e d i t i m e a r t h i n t e r n a t i o n a l , E d

¹⁷ D U B O I S T o m , p 2

¹⁸ BARDOU Patrick, ARZOUMANIAN Varoujan, Archi de soleil, Ed Parenthèses,

¹⁹ LITTLE B e c k y , M O R T O N T o m .

3.2. L'EVOLUTION DES ARCHITECTURES DE TERRE

La terre a été utilisée dans la construction depuis des temps très anciens, près d'un tiers de la population mondiale habite la terre. Souffrante de mauvais préjugés, la terre est considéré moins noble que la pierre et le bois. Cependant, l'histoire témoigne du contraire : la Mésopotamie, l'Egypte, l'Inde et la Chine des vestiges millénaires édifiés en terre. Très vite diffusé en Afrique et en Europe : France, Espagne et Portugal, l'utilisation de la terre reste universelle. On constate que c'est en terre crue, que les civilisations les plus diverses ont édifié des villes entières il y'a plus de 10000 ans.

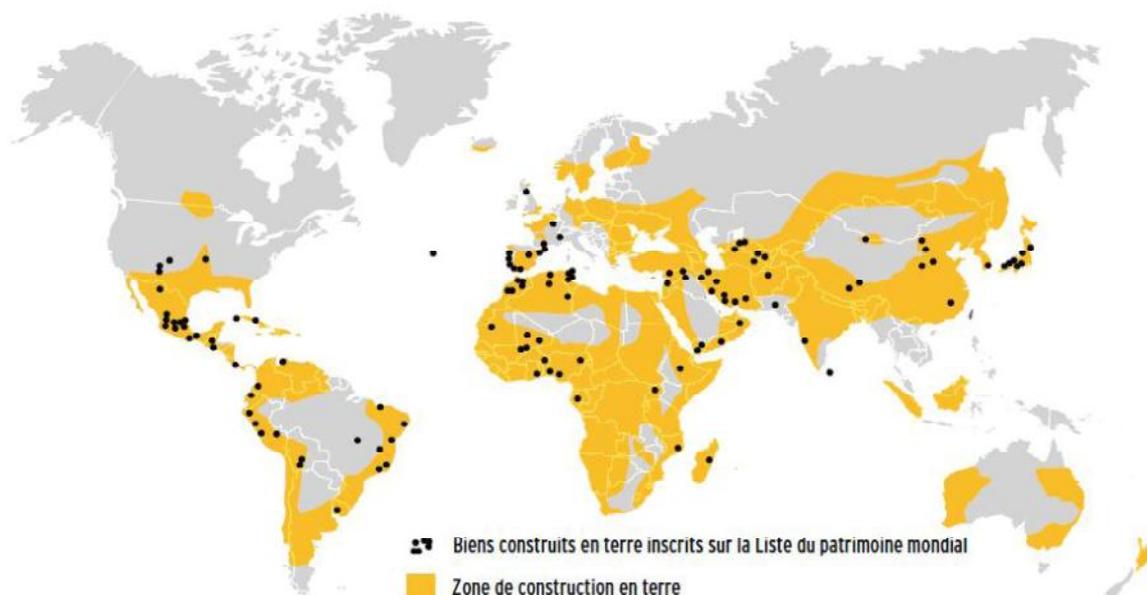


Figure 24 Zones de répartition des architectures de terre inscrites sur La liste du patrimoine mondial de L'UNESCO.

3.2.1. L'architecture de terre : l'héritage

L'une des premières traces de la construction en terre en Amérique du sud remonte à 11 000 ans, puis suit empilement de pains de terre façonnés à la main en Syrie. La brique de terre fait son apparition en Anatolie en 6500 av JC avant de se répandre en Europe occidentale quelque centaines d'années plus tard.

Il faudra attendre jusqu'à 3000 ans av JC pour voir apparaître les premières cités en terre : Tchoga Zanbil en Iran et les voutes de Ramesseum en Egypte.

Au Yémen on assiste aux premiers gratte-ciel de l'humanité, et qui tiennent encore debout : les tours de Shibām.

En Afrique, la majeure partie des édifices est construite en terre et se traduit dans une diversité technique de construction agencé avec une réponse précise aux conditions climatiques.

La terre a connu ses débuts en Afrique via les cabanes en bois enduites de terre en 6000 av Jc avant de se répandre sur tout le continent. On cite : les vastes enceintes urbaines défensives construites autour de multiples villes d'Afrique (Marrakech, Fès, Rabat...) du XIIe siècle, des mosquées maliennes de Tombouctou XIIIe siècle, et de Djenné, le tombeau des Askia de l'empire Songhaï du XIV au XVIe siècle ainsi que les palais d'Abomey au Benin XVIIIe siècle.



Figure 25 Tchoga Zanbil en Iran. 1250 av JC



Figure 26 Voutes de Ramesseum en Egypte 1300avJC



Figure 27 Tour de Shibām Yémen

Figure 28 La grande mosquée de Djenné, Mali



Figure 29 Village fortifié de Bololahn en Afghanistan.



Figure 30 Enceinte fortifiée de Marrakech.

Source : DETHIER Jean, Des architectures de terre, l'avenir d'une tradition millénaire,
Ed Centre Georges Pompidou, Lyon, 1982

La brique de terre connaît une industrialisation à partir des années 1860, date de création des fours à feu. Elle fut abandonnée en milieu urbain car elle ne répondait pas au critère d'urgence de l'architecture d'après-guerre.

3.2.2. La revalorisation de l'architecture de terre

Un déclin avant la redécouverte, dans la moitié du XXème siècle, de la terre crue pour la sauvegarde du patrimoine dans un premier temps puis pour ses qualités environnementales. L'élément terre répond à la logique la plus élémentaire qui consiste à utiliser le matériau disponible en abondance sur le lieu même de la construction. La construction en terre est donc souvent associée aux programmes de développement, d'assistance technique et d'auto construction, malgré les obstacles culturels qui donnent la faveur aux matériaux « modernes ».

Certes sa revalorisation est entravée par des préjugés à caractères psychologiques et politiques. L'utilisation de la terre comme matériau de construction chez les sociétés en développement est rejetée car il est associé à la misère, la pauvreté, et sous-

développement, malheureusement cet esprit est bien enraciné même chez les décideurs et intellectuels.

On présentera dans cette partie, 3 expériences édifiantes dans l'utilisation des techniques de construction en terre, illustrant ainsi leurs avantages et démontrant leur efficacité et leurs apports dans la revalorisation de l'architecture de terre

a. Le nouveau Gournà de Hassan Fathy :

Le village du vieux Gournà a été construit sur un site qui était plein de tombeaux de nobles car les gournis n'avait pas su gérer leur trésor. Ceci poussa le département des antiquités à prendre des mesures concrètes pour Gournà. Alors pour revaloriser ce site, il a été construit un nouveau village loin des vestiges²⁰.

L'intention était de rendre au gournis l'héritage d'une forte tradition d'inspiration locale, entraînant la coopération active de clients et d'artisans habiles²¹. Cette architecture traditionnelle s'adaptait à son environnement, issue du paysage avec des formes naturelles s'inspirant de «la voûte nubienne » lancée dans l'espace sans cintre ni échafaudage²².



Figure 31 Village de Gournà, Egypte
Source : whc.unesco.org

b. L'opération du "Domaine de la terre" à l'Isle d'Abeau en France

Le projet du « Domaine de la terre » est une concrétisation de la deuxième phase de l'exposition internationale du Centre Georges Pompidou « Des Architectures de Terre », tenue au début des années 1980 et qui cherchait à montrer la modernité de l'architecture de terre étant un quartier expérimental avec le matériau terre et de là, prouver sa fiabilité économique et technique, et donner naissance à une filière terre organisée et vaincre les préjugés qui constituent l'obstacle psychologique empêchant toute utilisation de la terre crue dans le bâtiment.



Figure 32 Domaine de la terre d'Isle d'abeau
Source : revue durable 2006

²⁰ FATHY Hassan, Construire avec le peuple, Ed Sindbad, Paris, 1970,

²¹ Idem, 88-89

²² WAKIL Leila, Hassan Fathy dans son temps, publication dans Hassan Fathy, une ambition égyptienne, 2012, p05

L'enseignement de ce projet réside aussi dans l'indispensable formation professionnelle des opérateurs (architectes et entrepreneurs) en amont afin d'optimiser les conditions de réalisation et garantir un meilleur ratio entre la qualité architecturale et l'économie des coûts²³

Aussi la formation et la sensibilisation ont permis de dépasser le blocage psychologique chez les différents intervenants ce qui a permis de mener les projets à bout et empêcher que les objections d'ordre technique ne perturbent la poursuite des travaux.

c. Le projet pilote Mustafa ben Brahim à Sidi-Bel-Abbès en Algérie

Lors du premier congrès sur l'habitat rural en Algérie en 1973, l'accent était mis sur l'utilisation des matériaux locaux, de là est venue l'idée de l'utilisation de la terre stabilisée. Mustafa Ben Brahim près de Sidi-Bel-Abbès devait être une opération pilote de construction en terre pour les mille villages agricoles lancés dans les années 70.

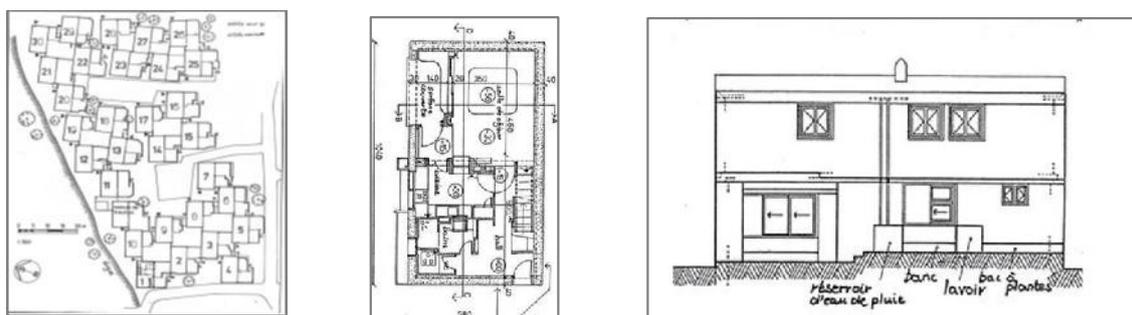


Figure 33 Documents graphiques du projet pilote Mustafa ben Brahim
S o u : ODUL Pascal, Des architectures de terre en Algérie , B e l g i q u e

L'expérience fut un échec selon P. Odul pour deux raisons essentielles :

- Les priorités politiques ayant changé lors de la réalisation des travaux, les méthodes intensives furent utilisées comme les dames pneumatiques et les coffrages métalliques qui ont donné l'image d'une technologie d'importation en contradiction avec les objectifs du projet. Par la suite, ces méthodes furent abandonnées et le reste des logements du village furent réalisés en blocs de ciment
- Le chantier fut arrêté à la suite des rapports officiels des services techniques soumis aux responsables politiques. Ces derniers s'opposaient continuellement à l'utilisation de la terre et demandaient sans cesse des assurances sur l'état du bâti des constructions. Le chantier fut arrêté malgré les démonstrations techniques rassurantes réalisées.²⁴

L'absence de toute formation ou sensibilisation ce qui aurait pu éviter l'apparition des objections d'ordre technique, qui étaient la cause directe de l'arrêt des travaux. ²⁵

d. Comparatif des exemples

Le tableau suivant résume les principaux points des trois opérations cités avec une brève synthèse qui met le doigt sur ce qu'on a retenu principalement de leurs enseignements : d'ordre conceptuel, matériaux et technique ainsi que les enjeux qui les véhiculent.

²³ Encyclopédie du bâtiment, p 15-2 1 335

²⁴ ODUL Pascal, Des architectures de terre en Algérie, projet earth construction technologies appropriate to developing countries, Belgique, 1983.

²⁵ Idem

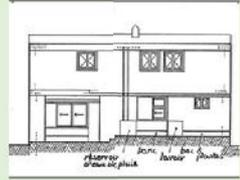
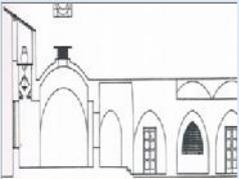
Exemples	LE NOUVEAU GOURNA	DOMAINE DE LA TERRE	MUSTAFABEN BRAHIM	Ce qui est retenu
Lieu	Louxor, Egypte	Isle d'Abeau, France	Sidi Bel Abbès Algérie	<ul style="list-style-type: none"> La terre est un moyen de développement pouvant avoir un impact socio-économique, culturel et politique.
Année	1946-1952	1980	1973	
Enjeux	<p>Politique, expropriation des biens de squatteurs près des ruines</p> <p>Economique, construire pour les pauvres</p>	<p>Culturel, vulgariser le matériau terre</p> <p>Social, vaincre les préjugés et obstacle psychologique</p>	<p>Politique, promotion d'une production locale</p> <p>Social, répondre au déficit du logement rural</p>	
Aspects d'évaluation	<p>Conceptuel</p> <ul style="list-style-type: none"> Compacité du bâti Cour intérieure. Ouvertures du côté opposé au vent et de petites ouvertures face au vent Variété typologie 	<ul style="list-style-type: none"> 12 îlots de cinq à dix logements mitoyens avec des surfaces habitables qui vont de 65 à 110m² Respect des besoins modernes 	<ul style="list-style-type: none"> La tradition constructive et le savoir-faire local n'ont pas pu intervenir dans le choix des procédés de production mis en œuvre dans le projet. Le respect des besoins de la population 	<ul style="list-style-type: none"> L'interprétation des savoir-faire constructifs est un facteur de réussite du projet Le respect des besoins modernes en est un autre
	<p>Matériaux</p> <ul style="list-style-type: none"> Murs épais en brique pour conserver la chaleur de la journée pour la restituer la nuit 	<ul style="list-style-type: none"> le pisé non stabilisé, le bloc de terre stabilisé vibro-compacté en maçonnerie porteuse, et la terre paille non porteuse, en remplissage d'une ossature bois. 	<ul style="list-style-type: none"> Les matériaux pas forcément promotion de produits algériens nationalisés comme la tôle ondulée pour les toitures. La quantité de béton de ciment utilisée était équivalente à celle de la terre stabilisée. 	<ul style="list-style-type: none"> Intervenir sur les matériaux et l'améliorer avec les nouvelles technologies ne fait que valoriser encore plus
	<p>Technique</p> <ul style="list-style-type: none"> Utilisation de malkaf: ventilation en forme de cheminée Voute nubienne entièrement en brique de terre portée de 3m25 	<ul style="list-style-type: none"> Stabilisation mécanique du matériaux Allier des nouveaux matériaux le verre et l'acier 	<ul style="list-style-type: none"> Stabilisation du pisé Damage pneumatique 	<ul style="list-style-type: none"> Des solutions techniques anciennes peuvent répondre à nos besoins (MALQAF) Compenser les limites de la terre par de nouveaux matériaux

Figure 34 Comparatif des exemples de valorisation de l'architecture de terre
S o u r Etabli par l'auteur

3.3. L'universalité de l'architecture de terre :

L'abondance du matériau terre a fait de son architecture une universalité. Les recherches archéologiques ont démontré que son utilisation est planétaire. La majorité des régions du monde ont conservé cette culture vivante et ce savoir-faire.

3.3.1. Patrimoine mondial de la construction en terre

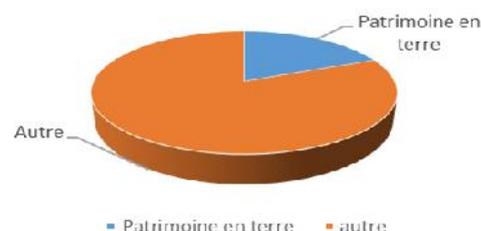
Les architectures de terre ne sont pas, comme certains laissent entendre, une spécificité du tiers monde. Sur tous les continents, le matériau est roi depuis longtemps. Les centres historiques de villes mondialement connues sont construits en terre.

Sur la base du cadre typologique établi par l'ICOMOS (cf. Filling the gap, Icomos, 2005), l'analyse multi catégorielle des résultats de l'enquête permet, à l'échelle mondiale, d'attribuer aux 150 biens de l'inventaire 14 catégories.

Quelques chiffres :

- Plus de 2 milliards de personnes (150 pays) vivent aujourd'hui dans un habitat en terre. c'est-à-dire 30% de la population mondiale.
- Moins 50% qui y vivent, sont dans des pays en voie de développement.
- 80% habitent en zones rurales.

Au niveau mondial, les menaces qui apparaissent les plus fortes sont celles liées au manque de moyens techniques et financiers qui permettraient de ralentir les processus de dégradation naturels qui affectent 47 % des biens. Ces processus sont eux-mêmes amplifiés par les phénomènes récents de changements climatiques. Ce constat est partagé de manière assez uniforme pour les cinq régions.



	Nombre de biens	Proportion (%)
Ensembles historiques	70	47
Patrimoine archéologique	65	43
Etablissement urbains	63	42
Edifices historiques	55	37
Biens religieux	52	35
Architecture vernaculaire	40	27
Paysages culturels, parcs et jardins	31	21
Etablissement ruraux	25	17
Monuments et sites funéraires	21	14
Itinéraires culturels	20	13
Biens symboliques et mémoriaux	12	8
Biens militaires	7	5
Biens agricoles, industriels et technologiques	7	5
Sites d'art rupestre	6	4

Figure 35 Biens inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO
Source : M. David Gandreau, M. Thierry Joffroy
Inventaire 2012 des biens en terre du patrimoine mondial

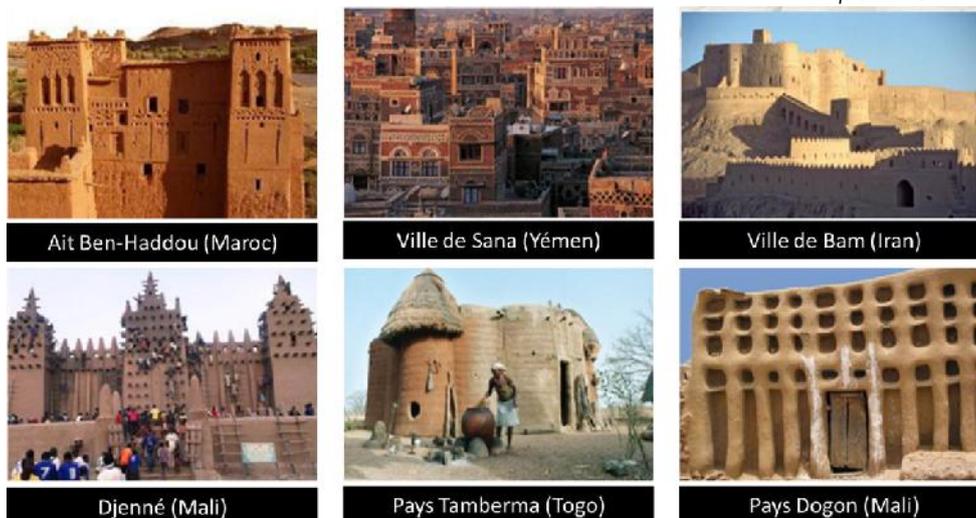


Figure 36 Quelques exemples en terre du patrimoine mondial UNESCO

Source : La Chaire UNESCO "Architectures de terre, cultures constructives et développement durable 1998

3.3.2. La réglementation sur l'architecture de terre dans le monde

La filière terre crue se caractérise par un développement polynucléaire, basé sur des enjeux locaux (patrimoine, savoir-faire, diversification d'activités, valorisation culturelle...). Cette dynamique souligne un intérêt partagé par tous : promouvoir l'usage d'une ressource locale¹, la terre crue, aux atouts sociétaux, environnementaux, culturels et économiques. Pour cela, des professionnels et des acteurs politiques se sont engagés dans le développement de cette filière courte.

Beaucoup de pays dans le monde ont déjà légitimé la pratique de la construction en terre sur leurs territoires ce qui procure plus de garanties aux opérateurs et aux utilisateurs à la fois. Cela implique la reprise d'intérêt de cette architecture. Les actions des organismes internationaux encouragent les pays à se lancer dans les voies de la revalorisation de l'architecture de terre.²⁶

Sur le plan international, des codes de bon emploi ont été élaborés par l'ONU entre 1958 et 1964 concernant la construction en béton de terre stabilisée. En 1973 le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) a établi un texte normatif à l'occasion du projet « Cissin » à Ouagadougou Burkina Faso. La Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de recherche sur les Matériaux et les constructions (RILEM) et le Conseil International du Bâtiment pour la Recherche l'Etude et la documentation (CIB) possèdent depuis 1987 un comité technique sur la construction en terre qui élabore des recommandations et spécifications qui peuvent être adoptées comme normes.²⁷

Date	Réglementation
1940-1970	Aux Etats Unis la construction en adobe est intégrée aux codes nationaux de construction. Le « National Bureau of Standards » a publié plusieurs documents durant les années 1940. Pendant les années 1970 le "Uniform Building Code (UBC)" était publié au niveau national. Il a subi des modifications pour être adopté dans les différents états, ses règles concernent les briques de terre "adobe" fait à la main.
1958- 1964	codes de bon emploi ont été élaborés par l'ONU, concernant la construction en béton de terre stabilisée
1973	le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) a établi un texte normatif à l'occasion du projet Cissin à Ouagadougou Burkina Faso
1982	A l'occasion du projet du "Domaine de la terre de la ville nouvelle de l'Isle d'Abeau" en France, un cahier de charges a été élaboré. Il constituait une référence pour les différents intervenants
1987	la Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et Recherche sur les Matériaux et les Constructions (RILEM) et le Conseil International du Bâti pour la Recherche l'Étude et la Documentation (CIB) possèdent comité technique sur la construction en terre qui élabore des recommandations et spécifications qui peuvent être adoptées comme normes
2002.	Le centre du CRATerre à Grenoble, développe un code du BTC pour le gouvernement français qui a été achevé en 2002. Il est élaboré sur la base d'une concertation entre 22 pays où il sera appliqué

Tableau 1 Réglementation de l'architecture de terre dans le monde

Source : GHAFFOUR Wafa, Patrimoine architectural, entre technicité, confort et durabilité.
Traité par l'auteur

²⁶AIT KADI SALIMA, Performances thermiques du matériau terre pour un habitat durable des régions arides et semi arides : cas de Timimoune

²⁷H. Houben et H. Guillaut, traité de construction en terre, Ed. Parenthèse, Marseille, 1989

3.3.3. La formation de l'architecture de terre dans le monde

Dans le monde, le programme Chaire UNESCO, (grâce à la coordination scientifique de l'équipe du CRATerre et la Division de l'Enseignement Supérieur de l'UNESCO en étroite collaboration avec le Getty Conservation Institute (GCI) et l'ICCROM), travaille pour la diffusion du savoir scientifique de l'architecture de terre, notamment par l'implantation et le développement de la formation au niveau des universités et des centres scientifiques et techniques. Les bénéficiaires de ce programme ne cessent d'augmenter et jusqu'à présent, ils sont au nombre de 13 institutions dans le monde dont cinq en Afrique; en l'occurrence, l'Afrique du sud, le Burkina Faso, le Nigeria et l'Ouganda et six sont en Amérique; une au Brésil, trois écoles en Colombie, une au Mexique et une autre au Pérou. Une seule institution se trouve en Asie, en Inde avec Auroville Building Centre et enfin l'Italie accueille le seul centre d'Europe²⁸

3.3.4. Contenu de la formation

Pour ce qui concerne le domaine de la construction et de l'architecture de terre, plusieurs «aires» de contenus d'enseignement et de formation sont identifiées. En voici quelques-unes qui peuvent être considérées comme partageables malgré la diversité des contextes :

Aspect technique :
<ul style="list-style-type: none"> - Connaissance de la matière et des matériaux, leur production et leur évolution : caractéristiques, propriétés, stabilisation ; des modes d'utilisation et des techniques ; - Technologie de production des matériaux : machines, outils, etc. - Règles de l'art, codes et normes ;
Aspect énergétique et environnemental :
<ul style="list-style-type: none"> - Analyse du cycle de vie et performance énergétique : énergies intégrées de production, construction, entretien. Eco-habitat : architecture bioclimatique ; régulation thermique et des ambiances ; construction et réduction des impacts environnementaux : gaz à effet de serre, pollutions diverses ; Construction et recyclage.
Aspect social :
<ul style="list-style-type: none"> - Cultures constructives traditionnelles (savoirs et savoir-faire) et <i>continuum</i> culturel : valorisation, évolutions, adaptations, innovations. Appréhender une dimension d'habitat et « dignité » humaine et sociale : accès au logement et à un cadre de vie amélioré - Architecture de terre et développement « local » durable : filières et économies locales : création d'entreprises, de travail et d'emplois ;
Aspect protection et patrimoine
<ul style="list-style-type: none"> - Conservation des patrimoines bâtis : restauration et réhabilitation ; - Conservation et développement des paysages culturels ; - Gestion des patrimoines, mise en valeur et économie culturelle ;

Tableau 2 Contenu de la formation en architecture de terre

Source : TerraEducation 2010. Traité par l'auteur

Ces «aires» de contenus d'enseignement et de formation, doivent être précisées en fonction des différents « métiers » auxquels les institutions académiques entendent former et donner lieu à la définition de programmes spécifiques assortis de méthodes, de didactiques, pédagogies et outils appropriés.

²⁸ C R A T - E A G, Enseigner l'architecture de terre dans le monde, Ed CRATerre-E A G , G r e n o b l e , 2 0 0 1 , p 3 .

3.3.5. *Préservation des architectures de terre dans le monde*

Aujourd'hui, le devoir de conserver ces patrimoines venus du passé est une étape importante pour les transmettre aux générations futures, ils sont les témoignages vivants de savoir-faire séculaires et du génie créateur humain. Les cultures constructives liées au pisé bien qu'encore vivaces dans certaines régions du monde, doivent être sauvegardées et pérennisées, afin de faire parvenir cet héritage témoignant de la grande ingéniosité des civilisations passées aux populations futures. Parmi les différents programmes oeuvrant à la préservation et la promotion de l'architecture de terre, nous pouvons citer :

Le projet TERRA	Le projet TERRA, en 1997, a pour mission l'étude et la conservation de l'architecture de terre, dans les domaines de la recherche, de la formation, de la planification et de l'expérimentation, ainsi que de la diffusion.
Le programme Africa 2009	Le projet est né de la coordination de (CRATerre, ICCROM, le centre du patrimoine mondial de l'UNESCO). L'objectif principal du programme est l'amélioration à long terme des conditions pour la conservation du patrimoine culturel immobilier, grâce à sa meilleure intégration au sein d'un processus de développement durable. ²⁹
Le contrat global de développement « Isère, porte des Alpes »	Ce projet s'intégrant dans un vaste programme de valorisation économique des potentialités culturelles de la région, ses objectifs principaux sont la sensibilisation des élus dans le but de les encourager à préserver, restaurer et réhabiliter le patrimoine bâti ayant un intérêt touristique et à inciter de nouvelles constructions publiques, ainsi que l'animation et la promotion à travers des conférences et événements culturels à l'instar de « La route du pisé », et la formation des professionnels.

Tableau 3: Les différents projets pour la préservation de l'architecture de terre

Source : GHAFfour Wafa, Op. Cit. Traité par l'auteur

3.4. Architecture de terre en Algérie

Les architectures de terre ne sont pas une spécificité du sud algérien, dans tout le pays on retrouve cette architecture qui incarne un esprit communautaire, un savoir-faire ancestral et une recherche d'équilibre entre le culturel et le naturel.

Si la construction en terre a considérablement diminué dans le nord du pays par rapport au sud, c'est dû principalement à la rupture dans la transmission des savoir-faire et le monopole des autres matériaux jugés moderne et convenable pour un pays développé.

3.4.1. *Héritage ancien de la construction en terre en Algérie*

En Algérie, la qualité et la diversité des constructions en terre ne sont pas en reste. Elles sont encore visibles dans les zones présahariennes : Béchar, Adrar (vallée de Gourara de Timimoune), Biskra, Ghardaïa (vallées des M'Zab), Tamanrasset..., aux Aurès : les villages de Ghoufi, Béni Souik, Khanga, Arris, Baniane, en Kabylie : Tizi-Ouzou (villages de Maatkas, Beni Yenni...) et également à Tlemcen : maisons de la médina, sidi boumediene, les ramparts de mansourah... Ce mode architectural repose sur deux

²⁹ www.craterre.org/action/programmes

techniques : « la terre banchée » ou pisé et « la brique de terre crue ». Ces deux techniques ont donné naissance à des constructions et des villages d'une beauté remarquable, qui s'intègrent parfaitement au paysage environnant.



Figure 39 Ain Salah, Tamanrasset



Figure 38 Ksar Taahit, Bechar

Source : www.vitamedz.org/



Figure 37 Minaret Mansourah
Tlemcen

3.4.2. Travaux et réalisations de la construction en terre en Algérie

Le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) mène ses recherches sur l'architecture de terre depuis plus de vingt ans. Plusieurs projets ont pu voir le jour tel que le montre le tableau qui suit :

Années	Réalisations
1969	la réalisation de 136 logements en pisé au village agricole de Bouhilet à Batna.
1971	une équipe franco-belge réalise à Zéralda un groupe expérimental d'habitations rurales.
1973	30 des 300 logements du village de Moustafa ben Brahim près de Sidi Bel Abbès, réalisés en pisé.
1975	le village d'Abadla a été construit selon le procédé de la terre remplissante.
1976	100 logements du village agricole de Felliache à Biskra sont réalisés en thoub.
1980	120 logements du village agricole de Madher à Boussaâda sont réalisés en BTS
1981	40 logements sont réalisés à Chéraga près d'Alger en blocs de terre comprimée
1984	un prototype bioclimatique fut réalisé à Tamanrasset en blocs de terre comprimée.
1984	un prototype fut réalisé au CNERIB en blocs de terre comprimée.
1986	10 logements sont réalisés à Adrar en blocs de terre comprimée
1986	10 logements sont réalisés à Reggane en blocs de terre comprimée
1994	24 logements sont réalisés à Tamanrasset par l'office de promotion et de gestion immobilière en blocs de terre comprimée
1994	44 logements sont réalisés par l'ETR de Tamanrasset en blocs de terre comprimée
1998	un prototype en pisé fut réalisé au CNERIB
2006	Un projet intitulé « réalisation d'un logement rural avec efficacité énergétique » est lancé au CNERIB et financé par l'union européenne.

Tableau 4: Les opérations de construction en terre en Algérie

Source : CNERIB

Selon le rapport du CNERIB, l'Algérie compte plusieurs techniques se distinguant par leurs procédés de production³⁰. Jusque-là nous n'avons pas encore rencontré d'études spécifiques sur les techniques pratiquées en Algérie. L'ouvrage de P. Odul³¹ ne présente que quelques exemples et ne s'étale pas sur l'ensemble des procédés traditionnels algériens.

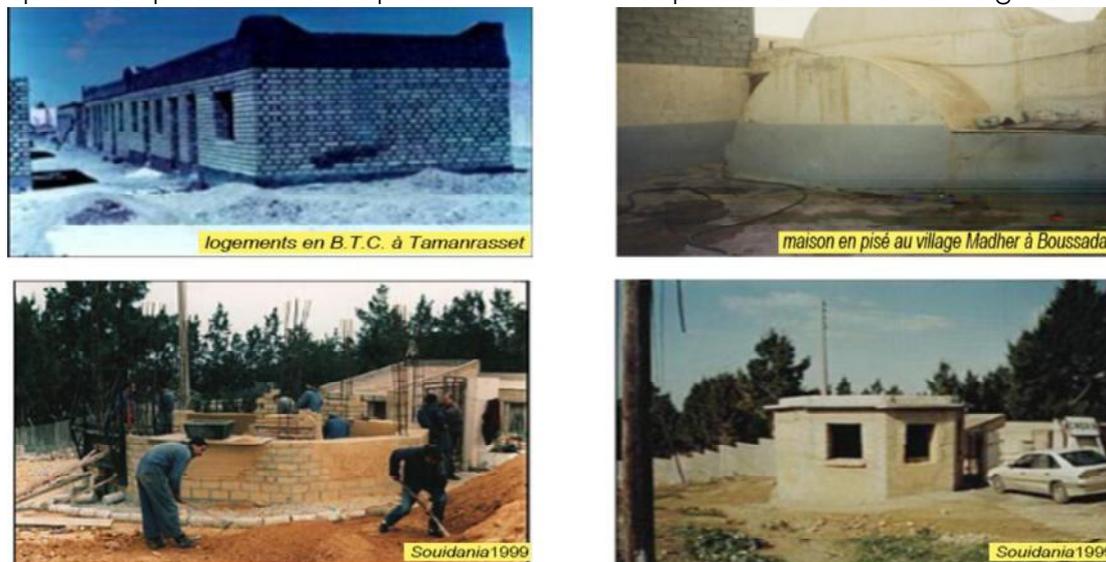


Figure 40 Exemples de réalisations du CNERIB
Source : CNERIB

3.4.3. La réglementation sur la construction en terre en Algérie

L'Algérie ne dispose pas encore d'une réglementation propre à la construction en terre mais elle semble avoir établi ses bases grâce aux recommandations pour la production et la mise en œuvre des bétons de terre stabilisée approuvées en 1987. En 1988 le Centre Nationale d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) a publié un document intitulé « Béton de terre stabilisée » qui renferme trois parties essentielles ;

- Recommandations pour la production et la mise en œuvre des bétons de terre stabilisée.
- Guide technique du BTS (Béton de terre stabilisée).
- Notice pour l'utilisation de la presse BTS.

Il se compose de deux parties essentielles ; celle de la production des blocs de BTS et celle de sa mise en œuvre. L'utilisation du BTS est proposée comme alternative au « thoub » et au pisé produit localement. Cette technique nouvelle vise à améliorer la qualité de durabilité de la terre crue afin de préserver son utilisation et profiter de ses qualités thermiques.

Ce document constitue une étape importante dans le sens d'une normalisation de la construction en terre et ouvre la voie à un large usage de la construction en BTS.³²

³⁰ CNERIB, Conception de logements économiques à base de produits localement disponibles.

³¹ ODUL Pascal, Des architectures de terre en Algérie, projet earth construction technologies appropriate to developing countries, Belgique, 1983.

³² Sabri M, Lalle M, Guide de gestion des marchés publics, Ed Sahel, Alger, 2000, p93

3.4.4. La formation en architecture de terre en Algérie

- La formation professionnelle : Actuellement c'est l'Institut National de la Formation Professionnelle (INFP) qui est chargé de l'élaboration des programmes de formation. Selon le programme, la construction en terre ne fait pas partie du contenu de la formation dans les Instituts et centres de formation.
- L'enseignement technique : Le rapport de synthèse de la réunion internationale sur l'enseignement de l'architecture de terre évoque les tentatives d'enseignement universitaire dans les centres algériens³³. Il pourrait s'agir de cours spécifiques, ou d'ateliers spéciaux ou bien de tentatives individuelles.
- La formation sectorielle : Jusqu'à présent, la formation dispensée par le CNERIB (seul organisme à offrir cette formation en Algérie) n'a touché que le personnel technique de l'administration et n'est pas dispensée de façon continue. Sur la base d'une convention avec le CNERIB, le personnel du secteur de l'habitat peut bénéficier d'une formation intensive³⁴ qui concerne le matériau depuis l'extraction de la terre jusqu'au produit fini pour le BTS uniquement.
- La recherche : Depuis sa création en 1982, et pour remplir sa mission d'études et de recherches intégrées du bâtiment le CNERIB s'est lancé sur l'étude des matériaux locaux, et sur l'habitat économique³⁵.
Jusqu'à présent deux axes de recherche ont été développés au CNERIB dans le but de garantir les matériaux et les structures en terre :
 - o La connaissance du matériau.
 - o L'utilisation de la terre dans la construction.

3.4.5. Promotion et sensibilisation de l'architecture de terre en Algérie

Sur le plan de l'enseignement et de la recherche, l'architecture de terre connaît ces dernières années un regain d'intérêt.

En effet, dans le cadre de coopération scientifique avec des partenaires étrangers, et sous l'égide du ministère de la culture, l'école polytechnique d'architecture et d'urbanisme (EPAU) d'Alger a organisé, depuis 2010 des journées d'études portant sur la promotion des architectures de terre.

D'autres expositions s'invitent chez d'autres villes algériennes afin de toucher un maximum de public.

Afin d'assurer une assise solide et durable à sa stratégie de promotion des architectures de terre, le Ministère de la Culture a décidé de créer le Centre algérien du patrimoine culturel bâti en terre, CAP Terre, établissement public à caractère administratif à rayonnement national, est né le 12 février 2012 et établi dans l'Oasis rouge, Timimoune, wilaya d'Adrar.



Figure 41 Exposition de l'architecture de terre à Tlemcen
Source : vitaminedz.org

³³Chaire UNESCO Terra, Enseigner l'architecture de terre dans le CRATE-ARCE, Grenoble, 2001. p 3

³⁴<http://www.cnerib.edu.dz/>

³⁵Olivier M, Évolution des recherches effectuées au CNERIB sur la construction en terre (rapport de mission), CNERIB, Alger, 1988, p 05

CONCLUSION

La technologie est au service de l'architecture, son apport est flagrant et s'exprime dans toutes les constructions contemporaines d'envergure. Une technologie qui devient omni présente et s'avance souvent en premier plan laissant les solutions conceptuelles de l'architecture « pure » en arrière.

Il est clair qu'il y'a une réelle prise de conscience mondiale et une volonté de développement respectueux de l'environnement, mais souvent agencés à des gadgetisations techniques, des surenchères de systèmes greffés aux édifices. Hors la durabilité de ces derniers doit se présenter au contraire dans une réflexion sur des dispositifs urbains, architecturaux ou constructifs qui coutent peu, sont accessibles à tous et ont un impact réel et tangible.

C'est en questionnant l'héritage vernaculaire qu'on est ressorti avec une analogie au durable qui a fait ses preuves des siècles avant la conférence de Rio 1992. L'une des composantes majeures de ce bâti ancien est l'architecture de terre, présente en Algérie et partout dans le monde.

Il s'agit d'un savoir traditionnel considéré comme véritable culture constructive. Si l'architecture de terre doit intéresser l'architecture contemporaine c'est pour sa réponse à un contexte donné et non pour sa représentation formelle.

La construction en terre offre des merveilles bioclimatiques adaptables à nos contextes actuels, qui font appel à une interprétation et une analyse attentive et non pas une imitation pastiche de son architecture. Une donnée que l'on vérifiera dans la l'analyse technique de ses différents procédés constructifs au chapitre qui suit

INTRODUCTION

Le présent chapitre est une lecture technique de différentes techniques constructives liées à la terre crue, et comprend un éventail des procédés en terre anciens et modernes.

Le premier sous chapitre tentera de cerner les caractéristiques de la matière « terre », ainsi que le répertoire des différents éléments constructifs d'une structure en terre ancienne et moderne. Le secondera les différentes structures qui combinent la terre a d'autres matériaux « modernes ». Enfin on conclura avec les propriétés de la construction en terre : avantages, inconvénients et quelques recommandations.

1. ARCHITECTURE DE TERRE : DU GRAIN DE SABLE A L'ARCHITECTURE

La terre crue, utilisée depuis des siècles, et tien la place jusqu'à ce jour le matériau de construction le plus utilisé à travers le monde. Les architectures de terre recèlent de nombreux avantages : entre performances énergétiques, confort ou durabilité, simples ou monumentales, sont présentes dans des contextes variés et répondent à des besoins très divers. Ce matériau mérite d'être étudié et appel à la redécouverte de ses procédés.

Nous allons faire une brève lecture de ses différentes techniques de mise en œuvre pour établir une situation de cette architecture, de connaître ses atouts, ses lacunes, son usage actuel et de prévoir son développement futur.

Dans cette partie, on traitera les différents modes de construction à la lumière d'exemples qui témoignent sur la richesse du matériau, la diversité formelle et l'adaptabilité de sa conception. On n'oubliera pas de mettre en évidence les pathologies dont souffre cette architecture ou on essayera de trouver des solutions qui s'insèrent dans une logique durable.

1.1. L'architecture de terre : la matière

La terre est un mélange de plusieurs catégories de grains. Qui lui confèrent une vaste diversité d'aspects, de couleurs, de textures « autant d'atouts pour s'adapter aux multiples techniques de construction. La terre fait donc partie de à grande famille des matériaux granulaires, au même titre que son proche cousin du béton : c'est en effet un béton d'argile !

1.1.1. Qu'est-ce que la terre ?

La terre crue est un matériau minéral granulaire, composé de matière solide, liquide et gazeuse³⁶. Matériau complexe issu d'une roche mère et de phénomènes de dégradation et/ou migration³⁷. Il est composé de matières minérales, organiques, d'air et d'eau. Ses composant granulométrique sont divers et variés.

Les argiles : Particules inférieures à 2 micromètres	Servent de liant entre les éléments plus grossiers
Les limons : Particules comprises entre 2 et 50 micromètres	
Les sables : Particules comprises entre 0,5 et 2 mm	Stables en présence de l'eau – Squelette du sol
Les graviers : Particules comprises entre 2 et 10 mm	

1.1.2. Caractéristiques physiques de la terre crue :

³⁶ W I K I P E D I A

³⁷ "Connaissances du matériau terre Dimensions " scientifiques" du matériau Vincent DUBOIS

a. Aspect thermique

La terre n'est pas un matériau isolant. En revanche, elle possède une excellente inertie thermique. Ceci se traduit par une régulation des différences de températures intérieures (pour l'été : plus frais le jour car le mur se rafraîchit la nuit, rendant cette fraîcheur le jour). Voici quelques valeurs, pour une terre à 1 500 kg/m³ :

conductivité : 0,75 W/m.°C ;
chaleur spécifique : 900 J/kg.°C ;
capacité thermique : 1 350 kJ/m ³ .°C
effusivité thermique : 1,00 J/m ² .°C.

Soit, pour du pisé à 2 000 kg/m³, une capacité thermique de 1 800 kJ/m³.°C.

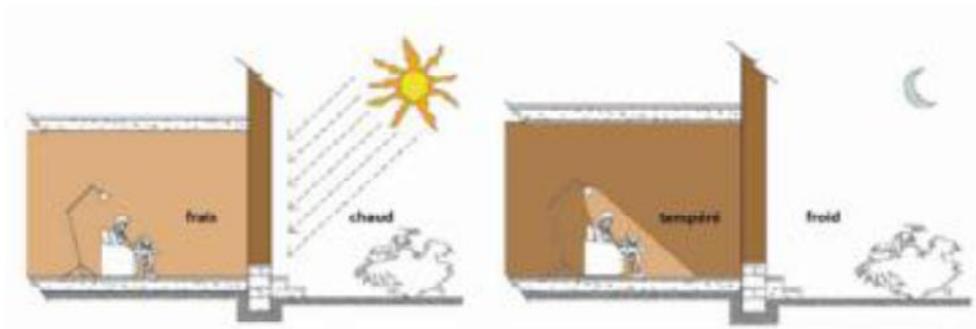


Figure 42 Schématisation de construction en terre et inertie thermique
Source : atelier-alp.fr

Type de matériau	ρ Masse volumique du matériau en	Capacité thermique ρC	Épaisseur de la paroi	Inertie de la paroi
Unité	kg/m ³	Wh/m ³ .K	m	Wh/m ² .K
Mur en terre crue monolithique	1770 / 1900	785	0.20	I = 157
Mur en brique de terre cuite creuse	650 / 800	202	0.20	I = 40.4
Parpaing de ciment	850 / 950	250	0.20	I = 50

Tableau 5 comparaison des performances d'inertie thermique d'une paroi de 20cm d'épaisseur

Source : OLIVA, COURGEY, La conception bioclimatique, 2006

D'après ces données, les performances de la terre crue en inertie thermique sont 3 fois supérieures à celle d'un mur en brique creuse ou d'un mur en parpaing de ciment. Ses capacités thermiques se rapprochent d'autres matériaux monolithiques tels que le béton de ciment. La valeur d'inertie est très proche voire supérieure pour le béton de ciment, car il possède des constituants très semblables mais plus dense. **La terre crue est donc l'un des matériaux qui procure le plus de confort thermique par inertie**

b. Masse volumique

La masse volumique est liée à la quantité de matière gazeuse présente dans la terre. Elle s'étale de 1 200 kg/m³ à 1 600 kg/m³ pour de la terre foisonnée (dans un tas de terre par exemple). Cette valeur augmente suite à une mise en œuvre par compactage (pisé par exemple). On obtient alors idéalement une masse volumique de 2 000 kg/m³. Les mélanges amendés en paille sont plus légers : en terre-paille, la masse volumique est de 300 kg/m³ à 1 300 kg/m³. Pour des briques de terre crue filée (densité : 2,00) : conductivité = 1,05 W/m.°C, inférieure à celle de la brique cuite (1 à 1,35) ; capacité = 2000 KJ/m³.°C, supérieure à celle de la brique cuite (1360 à 2100).

c. La résistance mécanique

La terre crue est un matériau s'apparentant aux bétons. Du point de vue mécanique, elle fonctionne comme ces derniers, uniquement en compression (les valeurs de résistance à la traction, à la flexion et au cisaillement sont très faibles). La terre mise en oeuvre de manière monolithique (pisé, bauge) a généralement une résistance à la compression d'environ 20 kg/cm² (2 MPa). Les éléments de maçonnerie (adobes) ont des résistances à la compression pouvant aller de 20 kg/cm² à 50 kg/cm² (2 MPa à 5 MPa). L'adjonction d'éléments fibreux (paille par exemple) permet de conférer au mélange une certaine résistance en traction, flexion et cisaillement, mais qui reste tout de même négligeable.

d. L'état hydrique du matériau terre

La terre se présente sous diverses formes par rapport à son état hydrique. Sa teneur en eau reste un facteur principal de sa transformation : De la matière au matériau.

Terre sèche : teneur en eau 0 – 5 %

La terre sous forme d'agrégat ne peut être brisé sans outil, inversement sous forme de poudre elle ne peut être agglomérée : l'eau reste un facteur ou ingrédient essentiel à la transformation de la terre.

Terre humide : teneur en eau 5-20 %

Quand la terre est désagrégée et pulvérulente, un effet d'humidité recouvre sa surface, mais elle ne peut être façonnée par manque de plasticité. Un critère pratique pour identifier l'état humide « est de former une boule en comprimant fortement la terre entre ses mains. Cette boule friable se brise en morceaux lorsque elle est lâchée sur le sol »³⁸.

Terre plastique : teneur en eau 15 – 30 %

A l'état plastique, la terre est malléable comme de la pâte à modeler. Il est très aisé de la façonner ou d'en faire une boule de terre qui ne colle pas.

Terre visqueuse : teneur en eau de 15- 35 %

Une terre visqueuse qui colle aux doigts mais ne coule pas. Il est très difficile de former une boule avec cette terre.

Terre liquide :

Sous forme de barbotine, la terre est complètement dispersée dans l'eau et constitue un liant très liquide qui coule.

^{3 8}Fontaine et Anger, Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture. P g 2 7

e. Autres propriétés

- Indice de correction acoustique à 500 Hz : 50 db pour un mur de 20 cm en briques de terre crue filée
- Bonne diffusion de la vapeur d'eau, pare-vapeur ou VMC inutiles
- Propriétés absorbantes des argiles (produits de dégraissage type K2R)
- Protection contre les nuisances associées aux ondes électromagnétiques générées par les appareils et circuits électriques
- Par sa nature, le matériau n'entre pas dans un cycle de dégénérescence.
- Peut absorber jusqu'à 3% de son poids en vapeur d'eau (évolution de sa teneur en eau de 4% à 7%, ce qui permet d'avoir une inertie " hydrique " non négligeable en ce qui concerne le confort)
- Evite l'excès d'humidité qui provoque des rhumatismes
- Evite le manque d'humidité qui provoque des problèmes oculaires, inflammatoires et respiratoires.

1.1.3. Quelle terre utiliser ?

Entre nourrir ou construire : La partie du sol utilisée pour construire n'est pas la terre végétale de surface considérée trop riche en matière organique (humus, racines, etc.). Si on l'utilise, on aurait des matériaux qui ne seraient pas suffisamment solides, et des murs colonisés par des végétaux.

C'est d'ailleurs grâce à cette terre bien vivante que les végétaux arrivent à se développer et nous nourrissent. Il serait donc dommage d'y faire appel pour construire nos maisons. *Ainsi, il faut creuser un peu pour extraire la terre de construction : en profondeur, le sol est beaucoup moins riche en matière organique et la terre, presque exclusivement minérale, conduit à des matériaux très durs et stables dans le temps*³⁹. Du schéma suivant on voit que la « bonne » terre pour construire est située dans l'horizon B

L'épaisseur de la terre crue utilisée pour construire peut varier de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres dans nos régions et même jusqu'à plusieurs mètres en climat tropical.

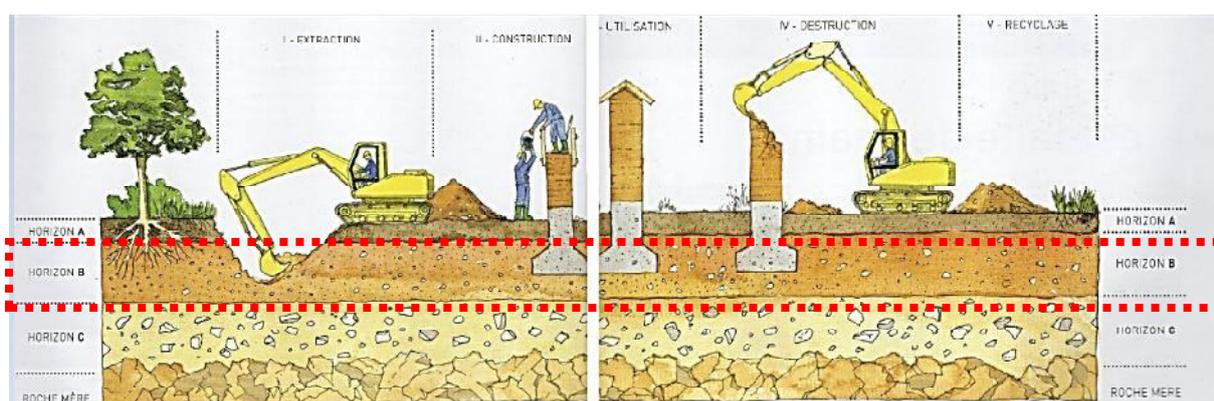


Figure 43 Processus de la construction en terre
Source : www.atelier-alp.fr/

En fin de vie, la construction en terre peut être « déconstruite ». On a donc un matériau recyclable et renouvelable

³⁹ Fontaine et Anger, Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture. P g 1-0 @ 1 .

1.1.4. La terre, béton d'argile

La terre est un mélange de grains qui portent un nom différent en fonction de leur taille : cailloux pour les plus gros, les graviers, les sables, les silts et les argiles. Les cailloux, graviers, sables et silts, qui constituent le squelette granulaire de la terre, apportent une structure au matériau. Les argiles, mélangées à l'eau, agissent comme une colle.

Elles sont donc le liant du matériau terre, tout comme le ciment est le liant du béton.

"Béton" est, en réalité, un terme générique. Il désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats agglomérés par un liant. Ainsi la terre n'est qu'un béton parmi tant d'autres, mais naturel et prêt à l'emploi.

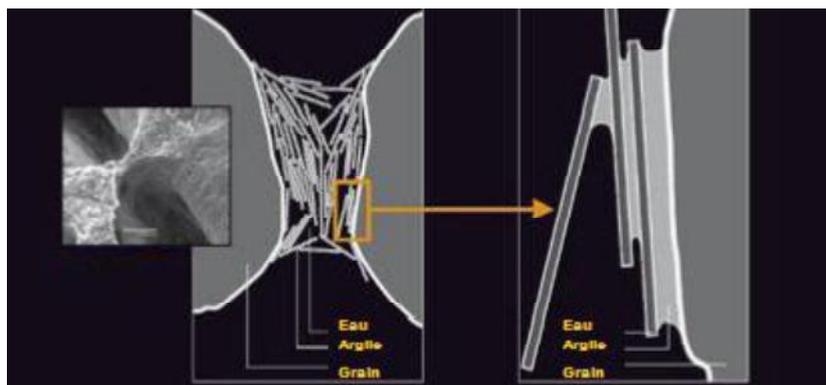


Figure 44 Image microscopique de la cohésion des grains et des argiles

Source : Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture

FONTAINE Laetitia, ANGER Romain

1.1.5. La terre, un éco matériau

Quasiment toutes les terres minérales qui contiennent de l'argile peuvent servir à la construction (selon Guillaud et Houben, 2006). À toutes les étapes de son utilisation, elle ne nécessite que très peu d'énergie grise⁴⁰. Accessible localement, la terre ne nécessite aucun transport, aucune transformation ou cuisson coûteuses en énergie. Son entretien et les réparations sont aisés. En fin de vie, le bâtiment est détruit et la terre peut être réutilisée ou bien retourner au sol dont elle provient.

Elle est donc recyclable et ne génère pas de déchets. Son empreinte écologique proche de zéro représente un énorme avantage face au réchauffement climatique et à la nécessaire réduction de la consommation énergétique. La terre peut donc avantageusement remplacer les constructions en bétons de ciment dans de nombreux cas.

⁴⁰ L'énergie grise correspond à la somme de toutes les énergies nécessaires à la production (extraction, transport et transformation des matières premières), à la fabrication, à la mise en œuvre, à l'utilisation (y compris l'entretien et les réparations) et enfin au recyclage des matériaux ou des produits.

1.2. La diversité de l'architecture de terre

Les procédés de construction en terre sont très divers et variés selon l'identité du lieu et la culture de la population. Ils sont généralement répertoriés selon douze fondamentaux liés à la construction en terre. Cette liste n'est pas exhaustive et résulte d'une classification de l'état hydrique du matériau terre lors de sa mise en œuvre. Comme on a vu au paravent la terre peut être sous un état : sec, humide, plastique, visqueux, ou liquide.

1.2.1. Procédés fondamentaux de construction

Selon CRATerre⁴¹, des douze procédés fondamentaux, il en découlerait une centaine de variantes, qui ont permis la construction de diverses formes architecturales et une variété fonctionnelle. Ces techniques sont représentées dans les figures suivantes :

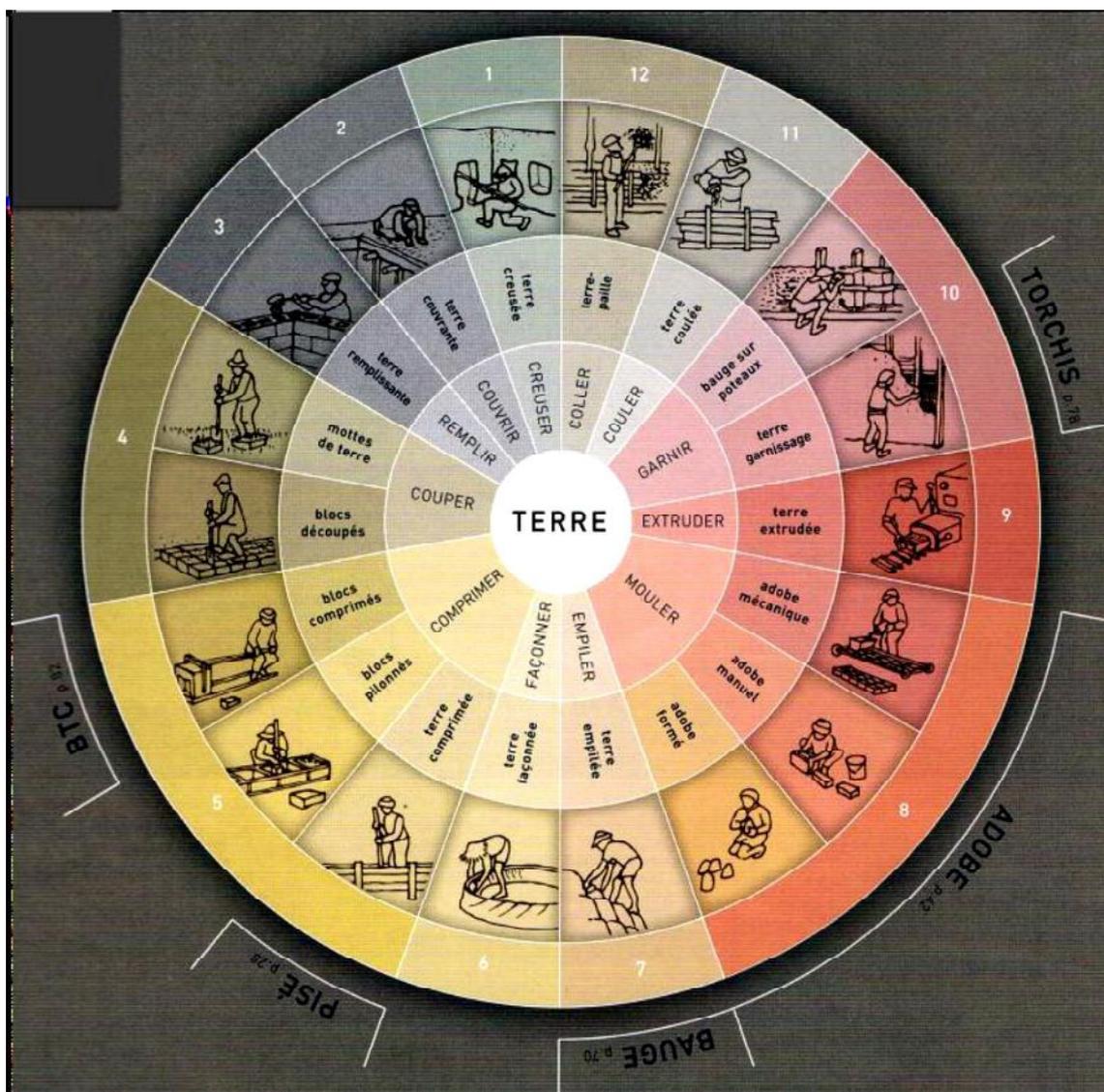


Figure 45 La roue des techniques. FONTAINE Laetitia, ANGER Romain
Source : Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture

⁴¹ CRATerre est une référence mondiale dans le domaine de l'Architecture de terre. Elle s'attache à améliorer et diffuser les connaissances et compétences dans le domaine de la construction en terre à l'échelle internationale.

Terre creusée	Habitat creusé dans l'épaisseur du sol (habitat troglodytique)		Terre empilée	Des boules de terre sont empilées pour constituer des murs épais.	
Terre recouvrante	La terre recouvre une structure construite avec un autre matériau.		Terre moulée	La terre est moulée à la main ou à l'aide de moules de formes diverses.	
Terre remplissante	La terre remplit des matériaux creux employés comme enveloppe.		Terre extrudée	La terre est extrudée par une machine puissante.	
Terre découpée	Des blocs de terre sont directement découpés dans le sol.		Terre coulée	La terre est coulée dans des coffrages ou dans des moules, comme un béton.	
Terre comprimée	Des éléments sont réalisés avec une terre comprimée dans des moules ou des coffrages.		Terre-paille	Une barbotine argileuse lie des fibres et constitue un matériau léger.	
Terre façonnée	La terre plastique est façonnée à la main pour dresser des murs minces.		Terre gamissante	La terre mêlée de fibres est appliquée en couches minces pour garnir le support.	

Figure 46 Les différentes techniques de construction en terre
S o u r c e : Terre 1996. Traité par l'auteur

1.3. Les éléments porteurs classiques en terre

On peut les Classés en trois grandes familles⁴² selon l'utilisation de la terre comme un matériau de construction : murs appareillés, murs monolithiques et les murs mixtes.

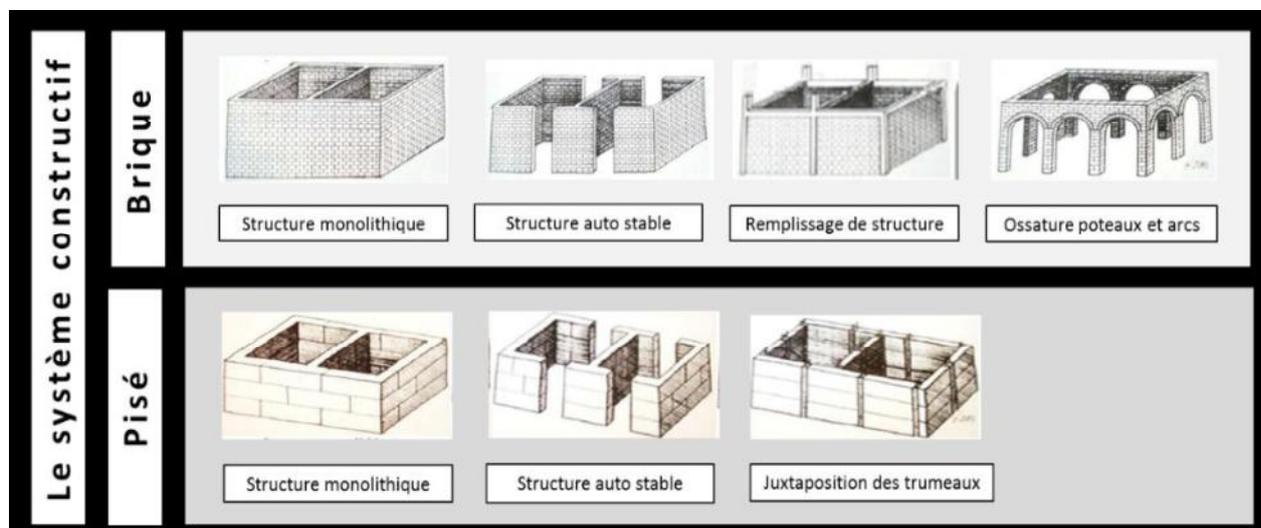


Figure 47 System constructif des principales techniques en terre
Source : Guilliot, juffroy BTC : volume II,
Le manuel de conception et de construction.

Plusieurs systèmes constructifs peuvent être envisagés, selon le type de plan recherché. La structure monolithique offre un espace contenu, la structure auto stable est plus favorable à un espace cerné ou tramé et la structure en trumeau convient plus pour un espace fluide.

⁴² Jeannet et al. (1997). Le pisé, Patrimoine, restauration, techniques d'avenir, les cahiers de construction traditionnelle

1.3.1. Le pisé :

Le pisé est un procédé de construction en terre crue, c'est une maçonnerie monolithique réalisée par des couches superposées de terre compactée dans un coffrage appelé banches. La mise en place du coffrage est une entreprise qui prend 15 à 20 minutes. Le remplissage de ce coffrage se fait par couches successives de terre d'environ 12 cm, qui, une fois tassées, n'atteignent plus qu'une hauteur d'environ 8 cm (ce qui donne l'aspect lamellé des façades en pisé). Une fois le remplissage terminé, le coffrage est démonté pour être remonté à côté. Le compactage se fait au moyen d'un pisoir en bois.



a. Les terres à pisé

Cette terre contient un mélange de cailloux, graviers, sables, silts et argiles en proportions équilibrées. Ce type de terre est idéal pour le pisé. Elle produit de véritables bétons naturels très durs, avec suffisamment d'argiles pour bénéficier d'un maximum de cohésion et suffisamment de grains pour que le matériau obtenu soit rigide et ne se fissure pas.



Figure 48 Les terres à pisé

Source : Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture

b. Mise en œuvre traditionnelle :

Au printemps et à l'automne, la terre contient naturellement la bonne quantité d'eau pour être damée. Une fois extraite du sol, elle est versée dans un coffrage en bois à l'aide de seaux. Les planches du coffrage sont renforcées de chevrons, maintenus par de solides traverses appelées « clés », afin de résister à la poussée horizontale de la terre pendant le compactage. De fines couches de terre, de 10 à 20 centimètres d'épaisseur, sont étalées puis damées à l'aide d'un pisoir. Cet outil est une sorte de manche en bois à la base duquel est fixée une masse en bois ou en métal. Lorsque le coffrage est plein, il est déplacé à l'horizontale, le long du mur.



Figure 49 Cycle de production du technique pisé

Source : Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture. Traité par l'auteur

c. Evolutions modernes du pisé

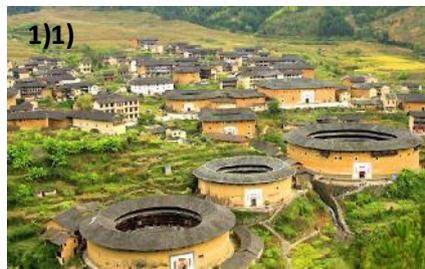
Les évolutions du pisé concernent : les types de coffrages, les méthodes de compactage, la préfabrication, Recherches sur le plan esthétique et l'intégration de nouvelles techniques comme la stabilisation.



d. Exemples anciens

Le pisé a longtemps été utilisé partout dans le monde, il est allié à des matériaux tel que le bois pour la toiture ou à l'adobe ce qui confère au bâtiment des hauteurs supplémentaires. On cite par exemples :

- 1) Les maisons rondes des hakkas en chine
- 2) La casbah du sud marocain
- 3) La muraille de Mansourah à Tlemcen en Algérie



Exemples contemporains

Dans nombreux pays, des architectes occidentaux réactualisent l'utilisation du pisé. Une recherche tant dans la technique que l'esthétique, le pisé apparait sous un nouveau jour. On cite par exemple :

- 1) La piscine municipale de TORO en Espagne
- 2) Collège en Arizona aux Etats-Unis
- 3) Centre d'interprétation NK'MIP au canada



On voit alors, l'intégration de nouveaux matériaux tels que le verre et l'acier prouvant ainsi la flexibilité du matériau terre et précisément celle du pisé.

1.3.2. L'adobe :

l'adobe (dénomination espagnole dérivée de l'arabe al thob, (la terre)) est un bloc de terre crue moulée et séchée de tailles et de formes différentes, évoluant successivement. Contrairement aux autres techniques, on a une possibilité de fabriquer et de stocker l'ensemble des matériaux nécessaires à la construction avant d'engager les travaux.



a. Les terres à adobe

Cette terre contient moins de cailloux et de graviers, elle est plus facile à modeler et à travailler manuellement. La proportion de sable est suffisante pour éviter la fissuration du matériau à l'état plastique. Cette terre est idéale pour en fabriquer des briques moulées.



Figure 50 Terre à adobe

Source : Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture

b. Mise en œuvre

Les briques sont le plus souvent préparées dans des moules en bois rectangulaires à un ou plusieurs compartiments. Ce mode de production est privilégié dans nombre de pays, où il permet la réalisation d'un habi-tat économique pour les populations les plus démunies. Bien que très ancienne, la technique de l'adobe demeure une technologie d'avenir par sa simplicité, sa rentabilité économique et son faible impact environnemental.



Figure 51 Cycle de production de la technique de l'adobe

Source : Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture. Traité par l'auteur

c. Evolutions modernes de l'adobe

Les évolutions concernent la mise en place de d'autres modes de production, mécanisés voir industriels, principalement dans les pays développés, afin de diminuer le coût de la main d'œuvre et d'augmenter la productivité. Moules à déplacements hydraulique (3000-9000 blocs par jour au début des années 1950, 500 000 blocs en 1990 au Portugal)



Figure 52 Pondeuse à adobe

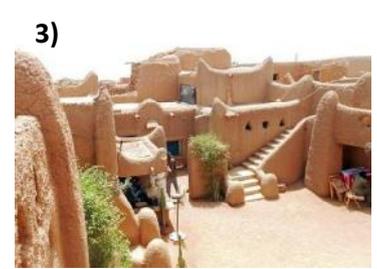
Source : Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture

d. Exemples anciens

N'ayant pas besoin de coffrer les murs, on retrouve les constructions en adobe l'un des meilleurs moyens pour construire avec un minimum d'outil.

On cite comme exemples :

- 1) La citadelle de Bam en Iran
- 2) Des maisons à Sa'dah, au Yémen
- 3) ksours vernaculaires du sud algérien



e. Exemples contemporains

Aujourd'hui les briques d'adobe laissent place briques de terre comprimées, néanmoins quelques réalisations sont édifiées dans un souci de transmission de tradition ou d'interprétation. Les briques de terre en adobe sont utilisées comme matériaux porteur ou matériaux de remplissage.

On a pour exemples des maisons individuelles réalisés en Arizona aux Etats-Unis



1.3.3. Le torchis :

Le torchis est une technique de hourdage qui consiste en l'application d'une terre mélangée à de la paille sur un clayonnage maintenu dans une ossature porteuse en bois. C'est un matériau de remplissage, donc non porteur. Des boules de terre sont amassées l'une sur l'autre et légèrement tapotées à la main ou avec les pieds pour former des murs monolithiques. La terre est renforcée en rajoutant des fibres, la paille provenant de toutes sortes de céréales et de fibres végétales, comme de l'herbe et des brindilles pour diminuer le retrait de la terre et améliorer la cohésion entre les particules de la terre.



a. Les terres à torchis

Cette terre est très fine. Elle ne contient presque pas de cailloux et de graviers, et la proportion de sable est faible. Elle colle très bien mais fissure lors du séchage. Ce type de terre, mélangée à de la paille ou du sable pour éviter la fissuration, est couramment utilisé en remplissage sur une ossature en bois, selon la technique du torchis.

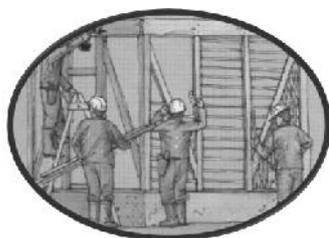


Figure 53 Terre à torchis

Source : Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture

b. Mise en œuvre

La mise en œuvre traditionnelle du torchis diffère en fonction du type de structure d'accroche destinée à recevoir le mélange terre et paille. Dans le cas le plus simple, il s'agit de talles de bois horizontales espacées de quelques centimètres et fixées entre les poteaux : la structure porte alors le nom de lattis. La terre est malaxée avec de l'eau jusqu'à présenter une consistance plastique, et le plus souvent mélangée à de la paille. Le tout est plaqué sur le lattis et le recouvre complètement. Après séchage, il est généralement enduit avec de la terre, parfois stabilisée à la chaux, ou un mélange chaux-sable.



Montage



Mélange



Pose

Figure 54 Cycle de production de la technique du torchis

Source : Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture. Traité par l'auteur

c. Evolutions modernes du torchis :

Actuellement, les techniques associant une ossature et son remplissage évoluent vers des parois plus légères et isolantes. La structure en bois s'affine tandis que le mur s'épaissit pour accueillir des ménages contenant beaucoup plus de paille. Des mélanges comme terre-paille, terre-allégée, ou terre-copeaux de bois, voient le jour.

Le torchis préfabriqué est apparu au cours des dernières années : des panneaux en bois sont assemblés en atelier, puis livrés sur le chantier et garnis de terre sur place, ce qui diminue d'autant les couts et les temps de mise en œuvre sur les chantiers



Figure 55 Torchis préfabriqué
Source : lamaisondurable.com

d. Exemples anciens

Les principales réalisations qu'on retrouve se situent en Europe occidentale. Elle concerne principalement les habitations.

Ici quelques exemples en France à gauche et en Belgique à droite.



e. Exemples contemporains

En plus des innovations concernant la mise en œuvre et la préfabrication du torchis, d'autre architecte réinterprètent à leur façon la technique du torchis, comme Marcelo Cortés cet architecte chilien qui remplace la structure bois par de l'acier ce qui est justifié par la sismicité élevée de la région chilienne.

On cite quelques de ses réalisation au Chili :

- 1) Le centre de l'écologie appliqué
- 2) Maison « CASA PEÑALOLEN »
- 3) Ferme « aventura »



1.3.4. La Bauge

La bauge est un système de construction monolithique en terre crue empilée. La terre est dans un état plastique, généralement mélangée à des fibres (végétales ou animales). Les surfaces verticales sont dressées par découpe après un court temps de séchage, alors que le matériau n'est pas trop dur.



a. Les terres à bauge

Terre sans cailloux ni graviers. Suivant les régions, elle peut être sableuse ou plus fine et argileuse. Souvent amendée de fibres végétales pour éviter la fissuration. Sa teneur en eau est entre 15 et 30 %



Figure 56 Terre à bauge

Source : Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture

b. Mise en œuvre

En premier lieu, on malaxe un mélange de terre et de fibres, on forme alors des boules qui vont constituer le mur. Encore frais, le mur monolithique est battu avec un bâton pour refermer les fissures.

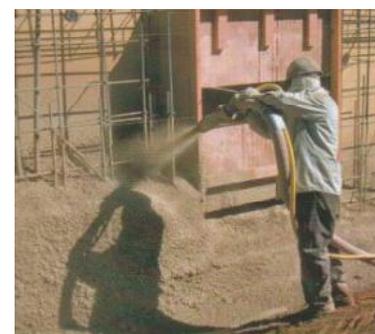


Figure 57 Cycle de production de la technique de bauge

Source : Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture

c. Evolutions modernes de la bauge

La bauge connaît peu d'évolutions contemporaines, cependant la tentative de préfabrication de bloc de terre en bauge a été menée en Bretagne. Plus fréquente, la technique de la terre projetée : La terre sèche et pulvérulente traverse un tuyau relié à un compresseur et est violemment projetée contre une paroi verticale en bords, utilisée comme coffrage. Hauteur réalisable en une journée limitée (temps de séchage).



d. Exemples de construction en bauge

On la retrouve principalement en Afrique pour des habitations et/ou des équipements culturels. L'exemple le plus remarquable reste celui de la mosquée de Djenné au Mali.

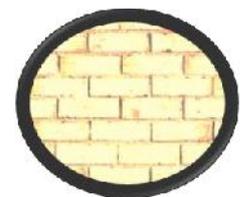


1.4. Les éléments porteurs modernes en terre

Dans cette partie on présentera les innovations techniques qu'a connu les matériaux terre en tant qu'élément porteur dans ces dernières décennies. Certains comme le BTC, porte un bagage de référence d'une quarantaine d'années, d'autre sont encore dans le cadre expérimental mais s'annoncent très prometteurs.

1.4.1. BTC (Brique de terre comprimée)

C'est de la terre tamisée (0,5 à 0,8 mm au tamis) très légèrement humide qui est fortement comprimée à l'aide d'une presse. Puis, elles sont stockées et mises à sécher en phase humide, sous bâche, durant une à 3 semaines. Passé ce délai, elles pourront être mises en œuvre. C'est une sorte de pisé en brique.



a. Les terres à BTC

Le moule utilisé dans la technique BTC limite la taille des plus gros grains exploitables, car des cailloux ou de gros graviers empêchaient une compression homogène du bloc. Les terres à BTC contiennent donc une portion équilibrée de sable, limon et argile, si la terre est trop argileuse, elle fissure au séchage et il est recommandé d'ajouter du sable afin de limiter le retrait. Le plus souvent, il y'a également addition de ciment ou de chaux afin d'augmenter la résistance et à l'eau des

mécanique
blocs

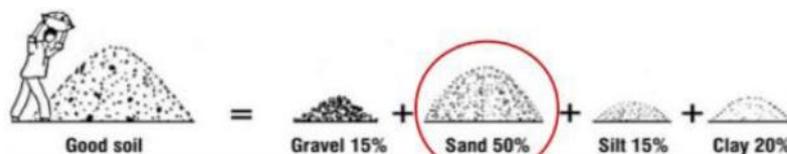


Figure 58 Terres à BTC

Source : www.earth-auroville.com

b. Mise en œuvre :

La première étape consiste à préparer la terre afin d'obtenir un matériau pulvérulent, humide et homogène. Cela implique diverses étapes de broyage, tamisage et malaxage, en fonction des caractéristiques physique du matériau de départ et de l'ajout de ciment ou de chaux. Ce matériau est ensuite moulé grâce à une presse hydraulique.



Figure 59 Cycle de production du BTC

Source : Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture. Traité par l'auteur

c. Exemples de réalisation en BTC

On cite généralement les travaux de l'institut de la terre d'Auroville (AVEI) :

- 1) Centre des visiteurs d'Auroville
- 2) Appartements « Vikas community »
- 3) Institut de la terre d'Auroville



1.4.2. Pisé H2O

Ce matériau est une terre à pisé dont la fraction de sable est diminuée tandis que la fraction de graviers est augmentée. On obtient un béton d'argile très visqueux qui ne s'affaisse pas sous son propre poids. Il est utilisé pour réaliser un prototype d'habitat léger et des chantiers de restauration de bâtisses traditionnelles en pisé.

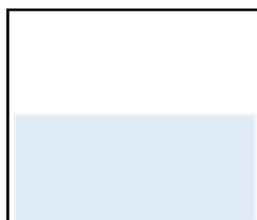


a. Les terres à Pisé H2O

A une terre à pisé, on ajoute une certaine quantité d'eau pour la rendre plus plastique. Il est nécessaire en même temps de modifier sa composition granululaire en ajoutant des graviers. On évite ainsi les fissures de retrait. On peut aussi stabiliser le pisé coulé avec des liants hydrauliques. Pour mettre en œuvre du pisé coulé il faut une teneur en eau comprise entre 16 % et 20 %. Le pisé traditionnel a une teneur en eau de 11 % à 12 % d'eau.

Figure 60 Terre à pisé H2C

Source : Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture



16 - 20%
EAU



b. Mise en œuvre

On mélange les graviers, sables et argiles avec de l'eau par une action mécanique de brassage dans une bétonnière. On obtient ainsi un mortier de gravier argileux dont la teneur en eau est telle qu'en formant une colonne de 60 cm de haut, celle-ci ne s'effondre pas sous son propre poids. Ce mortier, très plastique, est projeté sans avoir besoin d'utiliser de coffrage car il n'exerce aucune poussée horizontale.



Figure 61 Mise en œuvre du pisé H2O

Source : Le Tiec, de l'eau et des grains pour le renouveau du pisé

c. Exemples de réalisation en Pisé H2O

Sur ce principe, un prototype d'habitat léger est réalisé par l'architecte Jean-Marie Le Tiec issu de l'Ecole nationale supérieure d'architecture de Grenoble. Il s'agit d'un système à ossature en bois dont les parois sont remplies avec un mélange dénommé « Pisé H2O ». Ce procédé ne nécessite aucun outil complexe et les coffrages sont très légers, d'où la rapidité de mise en œuvre et les avantages économiques du projet. Ce matériau est aussi utilisé pour la restauration de murs traditionnels en pisé.



Figure 62 Exemple de réalisation en Pisé H2O- Prototypes

Source : Le Tiec, de l'eau et des grains pour le renouveau du pisé

1.4.3. La terre coulée

En s'inspirant des travaux des spécialistes du béton de ciment, un autre matériau innovant est mis au point. Il s'agit d'un béton d'argile liquide, qui est coulé pour réaliser des murs et des dalles.

La terre est donc mise en œuvre à l'état plastique, ce qui rend les opérations de mélange et de mise en forme laborieuses, et requiert des outils de malaxage robustes. Liquéfier la terre sans ajouter d'eau est possible en ajoutant des dispersants : elle peut alors être coulée comme un béton.



a. Les terres pour couler

Une pâte argileuse devient liquide lorsqu'une pincée de dispersant est ajoutée, sans ajout d'eau. La terre peut être coulée comme un béton sans fissurer au séchage, car la teneur en eau est faible. On parle aussi de défloculant, dispersant, réducteur d'eau ou super plastifiant pour qualifier ces additifs.



Figure 63 Pâte argileuse devient liquide avec une pincée de dispersant
Source : Rapport Grains Des Bâisseurs 2004-2010

b. Mise en œuvre

Un bloc de terre à l'état plastique est préparé, on y ajoute à ce bloc une faible quantité de dispersant. Le matériau qu'en résulte est à l'état liquide, qu'on coulera dans coffrage suivant le même principe du béton auto nivelant.



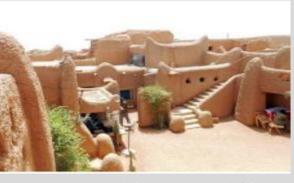
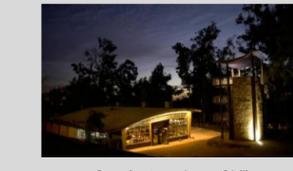
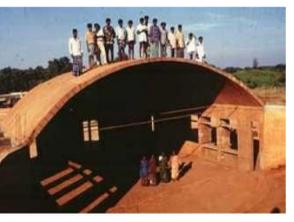
Figure 64 Terre coulée, remplis dans un coffrage
Source : Rapport Grains Des Bâisseurs 2004-2010

c. Exemples de réalisations en terre coulée

Les essais les plus spectaculaires en terre coulée sont en Corée du Sud, par des chercheurs de l'université de Mokpo. La réalisation est la même que pour un béton en ciment à l'exception qu'on a remplacé le ciment par l'argile. Une entreprise française poursuit les mêmes recherches et propose un matériau similaire « CEMATERRE » :

- 1) Maison individuelle en Corée du Sud
- 2) Bâtiment tertiaire en France



TECHNIQUE	TRADITIONNELLES					MODERNES					
	Mise en œuvre Traditionnelle	Caractéristiques de la terre Teneur en eau	Exemples de réalisations		Avantages	Inconvénients	Mise en œuvre Moderne	Autres innovations			
Pisé	La terre est versée dans un coffrage sur une épaisseur de 10 à 20 cm, avant d'être compactée et damée. Le mur est décoffré immédiatement après le damage de la terre.	<ul style="list-style-type: none"> Seule technique qui permet de mettre en œuvre des terres contenant des cailloux et des graviers. Entre 5 et 20 % 	 	Technique adaptée à la réalisation de murs massifs et rectilignes. Les fines couches de terre compactées sont visibles, ce qui donne aux réalisations un aspect unique.	Technique longue à mettre en œuvre et qui nécessite de nombreux outils (banches de coffrage, fouloir pneumatique, pisoir...)		 	Pisé h2o Béton d'argile à affaissement nul. Le mélange est versé hors de la bétonnière et forme une colonne sans s'écrouler sous son propre poids.		Utilisé partout dans le monde, il est allié à des matériaux tel que le bois pour la toiture ou à l'adobe ce qui confère au bâtiment des hauteurs supplémentaires.	L'intégration de nouveaux matériaux tels que le verre et l'acier prouvant ainsi la flexibilité du matériau terre et précisément celle du pisé.
	Brique de terre crue façonnée à la main ou moulée à l'état plastique et séchée à l'air libre. Le mélange terre-eau est malaxé avec les pieds ou de simples outils pour atteindre l'état plastique. Le moule est ensuite rempli, puis la brique démoulée. Elle sèche pendant quelques jours à plat sur le sol. Puis elle est retournée sur la tranche pour sécher de manière homogène.	Terre relativement fine sans cailloux, ni graviers. Une terre trop argileuse ne convient pas: elle se fissure au séchage. <ul style="list-style-type: none"> Entre 15 et 30%. 	 	Rapidité d'exécution comparable à celle des matériaux industriels. Possibilité de réaliser arcs, voûtes et coupoles avec ce seul matériau. Matériau considéré comme très économique dans les pays en développement.	Nécessité de disposer de grandes zones de séchage.			Super adobe Le concept de maison en sacs de terre permet d'utiliser des produits locaux (terre trouvée sur place) et à un coût dérisoire. Remplis de terre, de sable (ou autre matériau).		Pas besoin de coffrer les murs, on retrouve les constructions en adobe l'un des meilleurs moyens pour construire avec un minimum d'outil.	Délaissé face au BTC, quelques réalisations dans un souci de transmission de tradition ou d'interprétation. Utilisées comme matériaux porteur ou remplissage.
	Structure porteuse en bois garnie de terre, souvent mélangée à de la paille: la terre est malaxée avec de l'eau pour obtenir une consistance plastique qui est ensuite plaquée sur le lattis de façon à le recouvrir complètement. Après séchage, il est généralement enduit avec de la terre, parfois stabilisé à la chaux ou avec un mélange chaux-sable.	Terres fines, argileuses et collantes contenant peu de sable. Elles peuvent fissurer au séchage, d'où l'adjonction de paille. <ul style="list-style-type: none"> Entre 15 et 35%. 	 	Structure en bois généralement légère et facile à monter. La terre comme matériau de remplissage est simple à mettre en œuvre.	Préparation du mélange assez longue et pénible . Utilisation problématique du bois dans les zones arides ou en cours de déforestation. Les murs sont plus fins qu'avec les autres techniques en terre, d'où, une moindre inertie thermique.		 	Torchis-Acier Marcelo Cortés fait la promotion de l'utilisation de l'acier comme ossature du torchis. Réponse aux conditions parasismique		Les principales réalisations qu'on retrouve se situent en Europe occidentale. Elle concerne principalement les habitations.	Remplacer la structure bois par de l'acier ce qui est justifié par la sismicité élevée de la région.
	Malaxage du mélange de terre et de fibres végétales à l'état plastique. Des boules sont alors façonnées et posées sur le mur. Elles y sont triturées afin de se fondre en une structure monolithique. Les surfaces verticales sont dressées par découpe après un court temps de séchage.	<ul style="list-style-type: none"> Terre sans cailloux ni graviers. Suivant les régions, elle peut être sableuse ou plus fine et argileuse. Souvent amendée de fibres végétales pour éviter la fissuration. Entre 15 et 30 %. 	 	Obtention de structures massives, droites et monolithiques.	Hauteur réalisable en une journée limitée : nécessité d'attendre que le mur sèche entre les levées. Terre mise en œuvre à la main le plus souvent.			La terre coulée Un bloc de terre à l'état plastique est préparé, on y ajoute le dispersant. Le matériau qu'en résulte est à l'état liquide, qu'on coulera dans coffrage		On la retrouve principalement en Afrique pour des habitations et/ou des équipements culturels	Aucune grande réalisation, quelques expérimentations de petite échelle
	La terre tamisée légèrement humide est comprimée dans des presses. Les blocs sont immédiatement démoulés et stockés.	Terre contenant une proportion équilibrée de sable, limon et argile, exempte de cailloux et de gros graviers. <ul style="list-style-type: none"> Entre 5 et 20%. 	 	Les blocs obtenus sont stockables immédiatement.	Recul de la production en raison de la lourde logistique de cette dernière.		 	BTC- stabilisé L'utilisation de terre locale permet un recyclage des terres de déblais. La pouzzolane (ou autre stabilisant) légère proportion de ciment		Dans sa forme primaire le BTC était souvent accompagné de charpente en bois en guise de couverture et était surtout destiné à l'habitat	On cite généralement les travaux de l'institut de la terre d'Auroville (AVEI), avec diverses typologies et de grandes innovations.

1.5. Les couvertures dans les constructions en terre

Dans tous les cas de figure, l'architecture de terre est parfaitement adaptable. La variété de couvertures offre d'innombrables possibilités de compositions formelles, en plus des choix disponible en pisé, la brique de terre offre la possibilité de couvertures en coupole. On retient 3 typologies de toitures :

1.5.1. Les toitures plates

La terre a été employée pour réaliser des planchers, malgré sa résistance faible en traction et en flexion. Le matériau est alors stabilisé et/ou armé et donne des performances assez remarquables. Le handicap majeur reste la lourdeur des planchers en terre 300kg/m^2 à 500kg/m^2 ce qui induit une vulnérabilité sismique. Dans l'architecture maghrébine ou yéménite, cette contrainte de poids se répercute directement sur la construction et on remarque des pièces plus longues que larges



Figure 65 Toiture plate dans les constructions en terre du sud marocain
Source : alamy.com

a. Principales configurations toitures plates

Elles sont généralement réalisées suivant le principe des planchers à poutres de bois. Les principaux problèmes sont l'étanchéité, la dilatation thermique (climats chauds), le drainage du toit plat (pente minimum de 1 à 2 %), l'évacuation par des systèmes de gargouilles ou de descentes appropriées et la protection des rives de toiture par des solutions d'acrotère. ⁴³

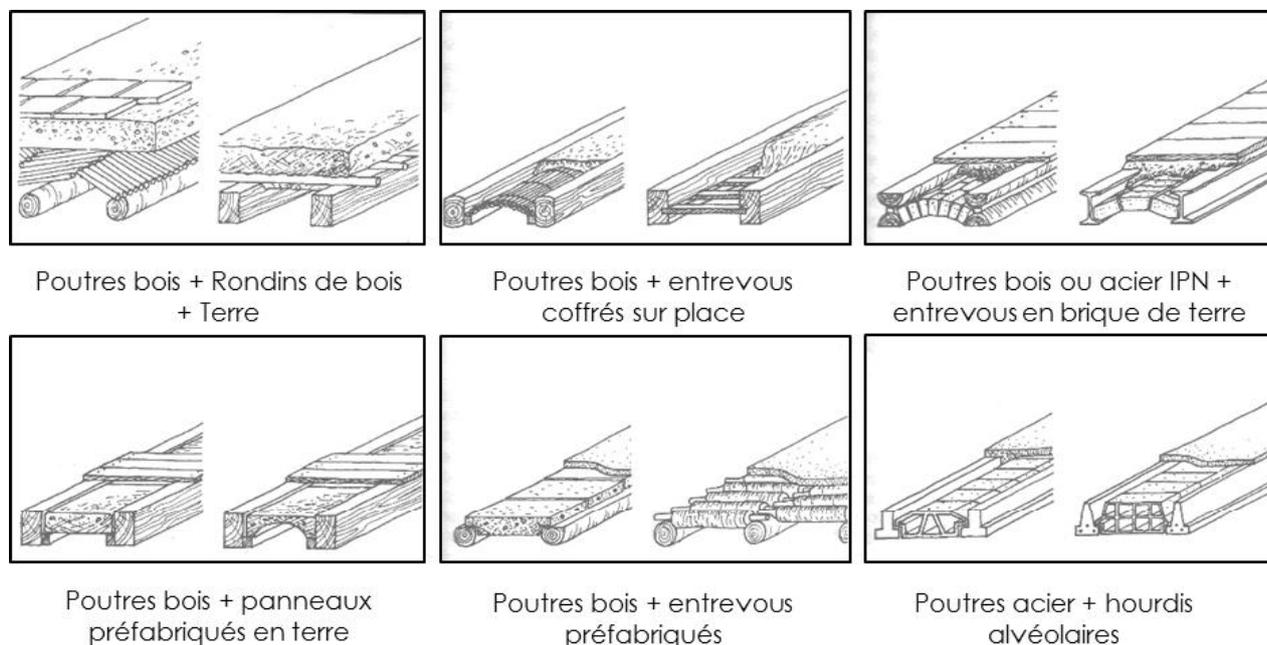
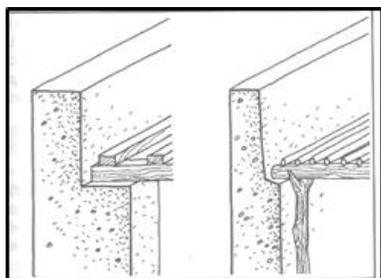


Figure 66 Principales configurations toitures plates
S o u r Trait é de construction en terre- C R A T e r r e

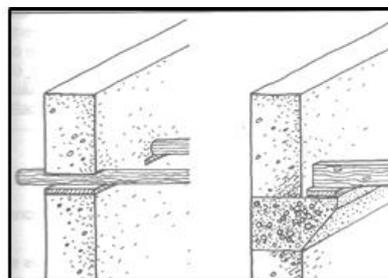
⁴³ CRATerre . Trait é de construction en terre, Ed Parenthéses 1989

b. Types liaisons planchers- murs

Les liaisons entre le mur et le plancher peuvent adopter diverses méthodes. L'appui du plancher peut être alors indépendant du mur ou encastré dans le mur.



Appui indépendant du mur



Appui dans le mur

Figure 67 Types de liaisons Planchers- murs en terre
Source : Traité de construction en terre- CRATerre

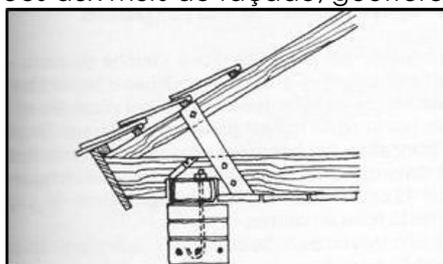
1.5.2. Les toitures inclinées

Elles sont réalisées de façon très conventionnelle, en corps de charpente en bois et couverture en tuiles. Leur pente doit être suffisante ainsi que la largeur du clébard de toiture (minimum de 30 cm) pour favoriser un rejet de l'eau de pluie au-delà du mur. Les principaux problèmes sont ceux de la stabilité des murs pignons (élançement) et de l'ancrage de la charpente dans les murs porteurs.⁴⁴

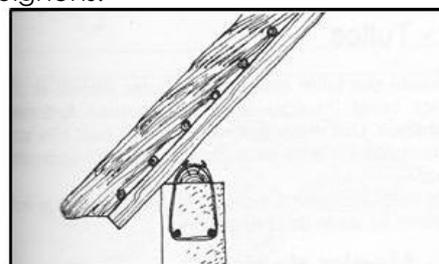
Les solutions d'ancrage doivent être très solides et correctement dimensionnées. Les toitures doivent être accrochées aux murs de façade, gouttereaux et pignons.



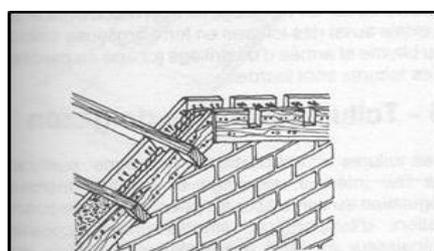
Figure 68 Maison en terre à toiture inclinée
Source : cohenmaconnerie.fr



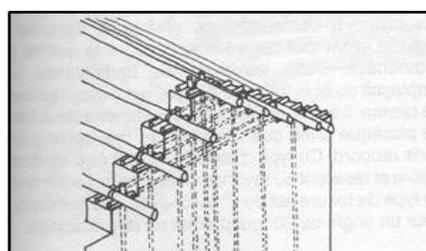
Ancrage sur bois dans le mur gouttereaux



Ancrage sur béton dans le mur gouttereaux



Ancrage en bois dans le mur pignon



Ancrage en tirants métalliques dans le mur pignon

Figure 69 Types d'ancrage des toitures inclinées dans le mur en terre
Source : Traité de construction en terre- CRATerre

⁴⁴ CRATerre . Traité de construction en terre, Ed Parenthèses 1989

1.5.3. Les toitures courbées

Elles sont réalisées sous forme de voûtes ou de coupoles. Les principaux problèmes sont de même nature que pour les toitures plates, notamment pour l'étanchéité ; la dilatation thermique et le rejet des eaux de pluies au-delà des murs. Leur protection périphérique est aussi assurée par des systèmes d'acrotère.

a. Les différentes formes de voûtes

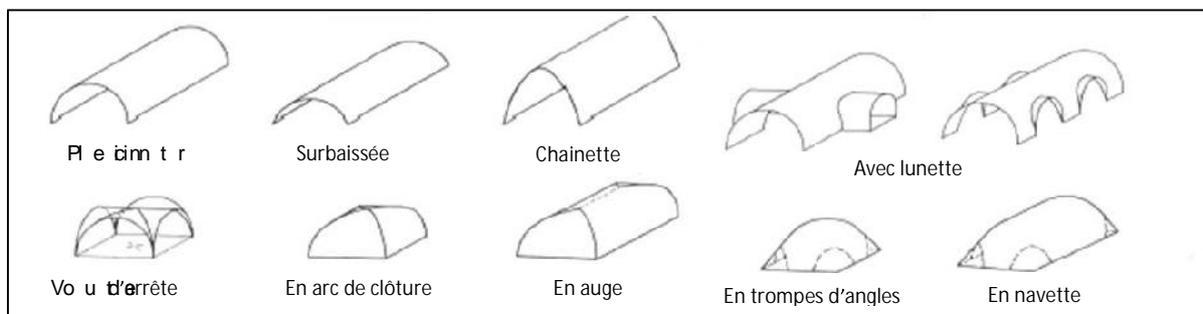


Figure 70 Les différentes formes de voûtes

Source : CRATerre- EAG, Construction en arc, voûte et coupole. Traité par l'auteur

b. Dimensionnement de la voûte

Le dimensionnement des voûtes repose sur les 3 éléments suivants :

Portée : des voûtes en blocs comprimés stabilisés ont atteint les 6 m de portée, pour 15 cm d'épaisseur alors que les voûtes en pisé dépassent rarement les 2,5 m de portée. En Iran. La portée la plus courante est de 4 m, ce qui est le maximum pour les zones à risque sismique où l'on fixe également le rapport de portée à longueur à 1.5 largeur (risque résonance et de se briser) Les expériences menées à Auroville Earth Institute ont en résultait des voûtes de 10.35m en BTC stabilisé⁴⁵.



Figure 71 Voûte de 10.35m construite sans coffrage en 3 semaines
Source : earth-auroville.com

Flèche : plus la flèche est basse plus les poussées latérales sont fortes, plus la flèche est haute plus les poussées sont faibles, il est conseillé de limiter la flèche entre 20 % à 30 % de la portée.

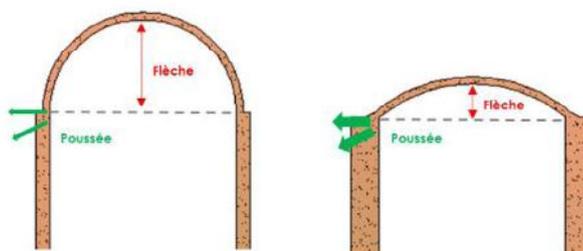


Figure 72 Schéma explicatif sur la flèche et la poussée des voûtes
Source : Etabli par l'auteur

⁴⁵CRATerre . Traité de construction en terre, Ed Parenthèses 1989

- Poussées : elles peuvent être très fortes sur les murs pour des flèches importantes, jusqu'à causer leur effondrement. Plusieurs solutions assurent une bonne stabilité aux voûtes.

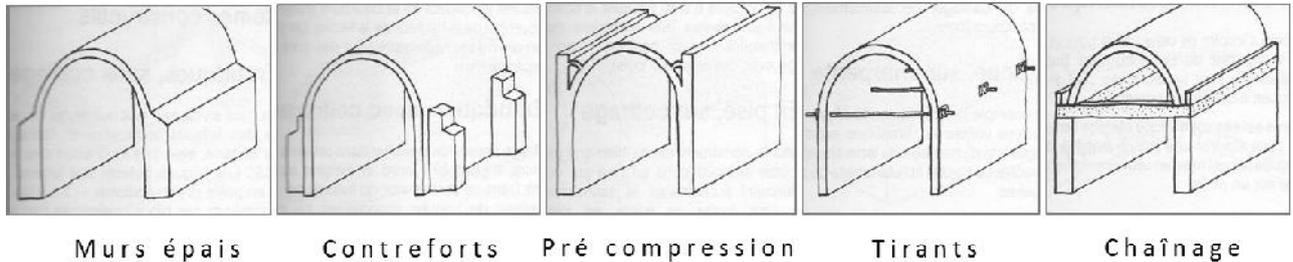


Figure 73 Solutions pour la bonne stabilité des voûtes
Source : Traité de construction en terre- CRATerre

c. Les différentes formes de coupôles

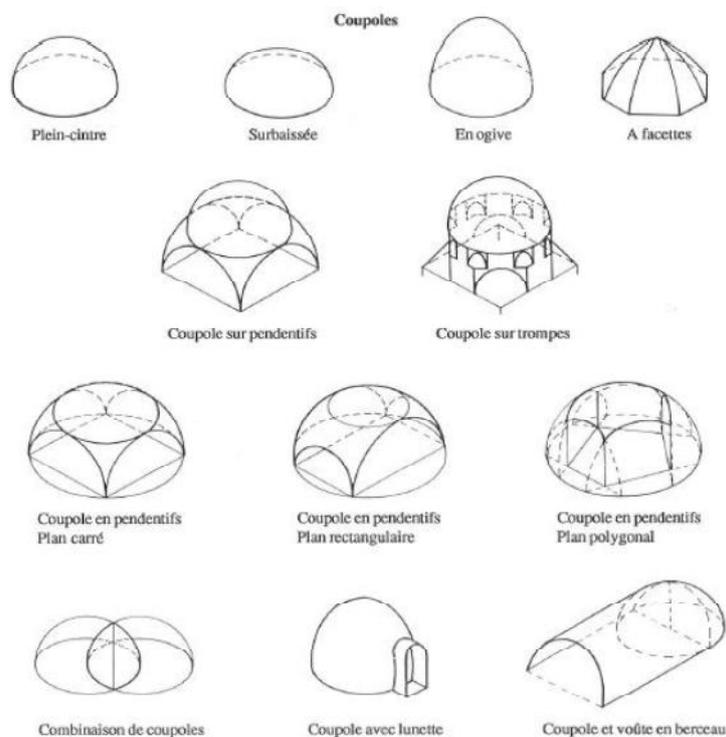


Figure 74 Les différentes formes de coupôles
Source : CRATerre- EAG, Construction en arc, voûte et coupole. Traité par l'auteur

d. Le dimensionnement des coupôles

Le principe de l'approche de la stabilité des dômes circulaires :

- Le dôme est divisé en une série de petits arcs.
- Le dôme est étudié comme un arc et, quand il sera stable, le dôme sera nécessairement stable. Ces petits arcs combiner leurs poussées horizontales pour créer une tension périphérique qui aura tendance à se fissurer le mur soutenant le dôme



Figure 75 Temple Dhyanalinga 22.16 m, Inde
Source : earth-auroville.com

Le diamètre courant d'un dôme est de 4m en Iran mais on atteint avec le BTC 7 à 10 m. Selon des réalisations d'AUROVILLE on peut dépasser les 20 m.⁴⁶

1.6. Les fondations

Les constructions en terre sont des ouvrages massifs assimilés aux ouvrages courants, de ce fait leurs fondations répondent aux règles de l'art classiques.

On a alors des fondations superficielles ou semi profondes. Les fondations doivent être suffisamment profondes pour être posées sur le bon sol, être protégées de l'eau, du gel, de l'érosion, des actions humaines et des animaux sauvages et insectes.

C'est pour cela que le choix du matériau pour les fondations doit principalement être résistant et insensible à l'eau.

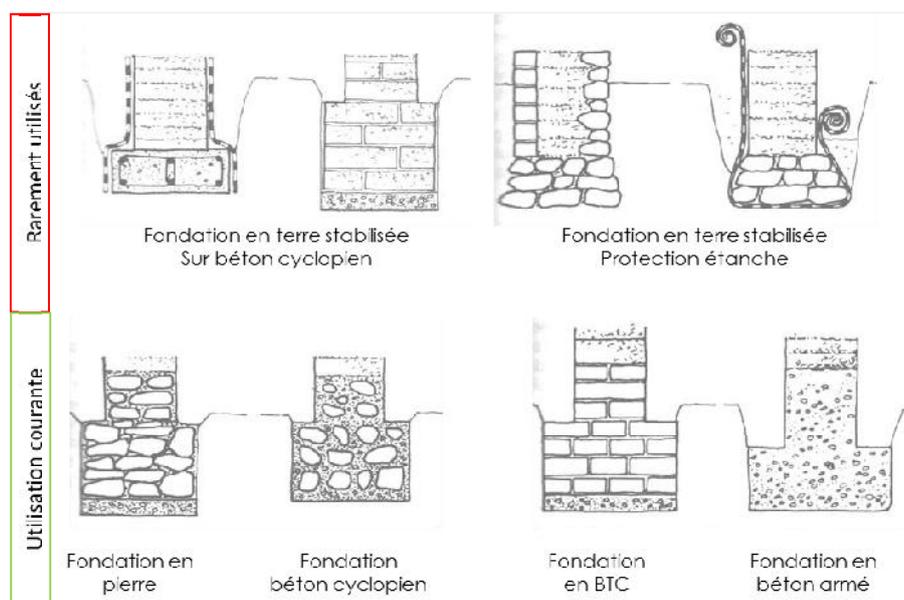


Figure 76 Différents types de fondations
Source : Traité de construction en terre- CRATerre

1.7. Les ouvertures

Elles peuvent apparaître sous forme de percement dans une structure monolithique ou bien sous forme de remplissage dans une structure auto stable ou bien aussi, sous forme de remplissage d'un pan de mur dans une structure à ossature poteaux poutres ou à trumeaux.

⁴⁶ CRATerre . Traité de construction en terre, Ed Parenthèses 1989

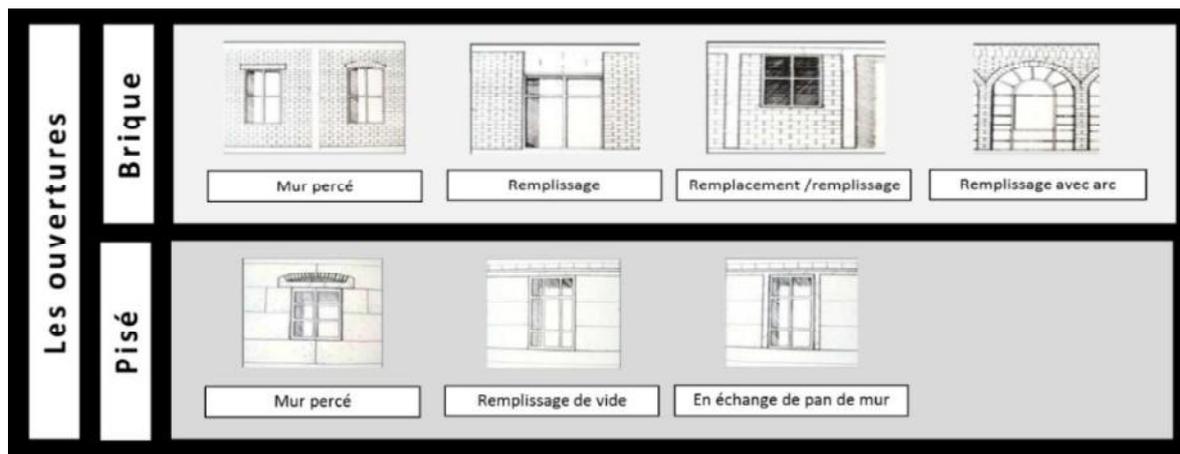


Figure 77 Les différents modes de percement mur en terre
Source : CRATerre

Ces règles ne sont pas exhaustives et n'excluent aucune liberté de conception, ça reste à titre purement indicatif⁴⁷ :

- Rapport des vides/plein dans un mur est inférieur à 1/3
- La longueur cumulée des ouvertures est inférieur à 35%
- Portée classique 1m20
- Distance minimale entre une baie et l'angle du mur est 1m

⁴⁷ CRATerre . Traité de construction en terre, Ed Parenthèses 1989

2. Les structures mixtes en terre

La terre comme matériau de construction prouve encore sa flexibilité dans l'art de construire. En effet, des tendances contemporaines « occidentales » allient ces dernières années la terre à d'autres matériaux « contemporains ».

La terre, l'un des matériaux les moins industrialisés dans le monde, est parfois couplée avec d'autres matériaux « industriels » afin de donner une meilleure réponse d'ordre technique et structurelle tout en s'insérant dans un contexte culturel ou géographique.

2.1. Les combinaisons structurelles avec la terre :

Agencée à des matériaux tel que l'acier, le bois ou le verre, la terre s'exprime dans un second souffle et donne vie à des formes hybrides qui reste valorisantes tant pour la terre elle-même que pour le matériau qui lui est ajouter.

1.1.2. Le béton armé

Etant le matériau le plus industrialisé et le plus courant dans le monde de la construction, le béton a vu l'adoption de mur en terre notamment le pisé dans des projets divers. Ce qu'on reproche à ces constructions c'est qu'on réduit souvent la terre « le pisé » au rôle de simple remplissage à l'ossature du béton armé. Le seul exemple qu'on a d'un mur en terre qui supporte (à lui seul) les charges d'un plancher en béton est celui de la bibliothèque de l'abbaye de Douai au Royaume-Uni.

1.1.3. L'acier

Ses propriétés mécaniques, sa rapidité de mise en œuvre et les grandes portées qu'il offre confèrent à l'acier une place de choix dans le bâtiment. La terre s'allie à ce dernier et révèle une forme hybride contrastante entre l'ancien et le moderne. Les profilés horizontaux qui composent la charpente métallique transmettent les efforts de flexion aux éléments porteurs en terre. Cette compression ponctuelle doit être répartie uniformément sur le mur en terre par un chaînage en acier ou plus souvent en béton.

1.1.4. Le textile

Etant le procédé qui a le moins d'impact sur l'environnement et sur la structure à laquelle il est ajouté, le textile est souvent utilisé avec la terre dans les structures tendues au sein d'aménagement extérieurs ou dans les sites archéologique. On retiendra sa réversibilité qui est son principal avantage après la grande portée.

1.1.5. Le bois

Utilisé depuis toujours, le bois est le plus ancien allié de la terre dans la construction. Le développement des techniques de production ont donné au bois de nouvelles propriétés qui lui permettent de gagner en portée et en esthétique. Comme avec l'acier, le bois transmet généralement des efforts de compression ponctuels sur le mur en terre qu'on répartie uniformément par une poutre en bois ou un chaînage en béton armé.

1.1.6. Le verre

La transparence est une composante majeure de l'architecture contemporaine, les constructions en terre bien qu'elle possède un rapport vide/plein inférieur à 35%⁴⁸, certaines tentatives intègrent de grandes baies vitrées dans la conception, et ceci en prenant des dispositions particulières : les baies ne sont pas pesées dans le mur mais indépendantes des trumeaux en terre.

⁴⁸ CRATerre . Traité de construction en terre, Ed Parenthèses 1989

BETON ARME

ACIER

BOIS

TEXTILE

VERRE

TERRE COMME MATERIAU DE REMPLISSAGE

Oaxaca école d'art plastique Mexique



Le poteau en béton est encastré dans le mur en pisé et reprend les charge de la dalle pleine. Le pisé est seulement un remplissage à la structure en béton armé

Ahmed BABA Institut Islamique, Tombouctou



La structure en béton est indépendante des murs en terre, aucune liaison apparente.

CASA PEÑALOEN Marcelo Cortés Chili



Cas particulier pour cette maison, les bottes de terre viennent remplir la structure métallique Torchis en acier plutôt que le bois traditionnel

Extérieur du National Wine Center Australie



La structure en acier vient enveloppé le bâtiment,

Hall central du National Wine Center Australie



Le hall central est recouvert de bois lamellées collées, le pisé participe partiellement à la structure mais reste un élément de remplissage en premier lieu

Brittlebush Taliesin, USA



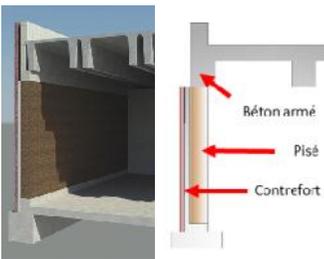
Utilisé surtout pour des espace extérieur couverts, la structure tendue est accroché aux murs de terre par des tirants en acier

Ecole primaire en France



Les baie sont des parties indépendantes des trumeaux en terre et on ne réalise pas de percement,

Bibliothèque de l'abbaye de Douai



Une poutre en béton est directement posée sur le mur en terre pisé, les poussées sont bloquées par des contrefort tout le long du mur

Ecole primaire de Gando, Burkina Faso



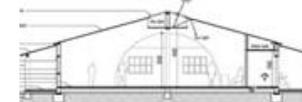
Un chaînage en béton armé reprend les charge de la charpente et les transmet au mur en BTC

Youth center Sénégal



Les charges de la charpente Bois-Tôle galvanisé sont transmises par un chaînage en béton et un ancrage en acier

Bibliothèque publique Tanzanie



La structure tendue recouvre les voutes en BTC et les protège des intempéries, les câbles sont ancrés dans un chaînage périphérique en béton

LKH Feldkirch Autriche



L'ossature est encre au sommet du mur en pisé, charge répartie uniformément par un chaînage en béton armé

TERRE COMME MATERIAU DE STRUCTURE

Central Arizona collège



La charpente qui recouvre la bibliothèque repose sur des mur en pisé tronqués avec des sommet en acier qui les protège des intempéries

Centre des technologies alternatives UK



Les charges de la charpente Bois sont transmises par une poutre en bois ancrée dans le pisé

3. Propriétés de la construction en terre

La terre avec ces propriétés spécifiques lui confère des avantages à son utilisation, ainsi que des limites suites à des pathologies liées à l'eau ou au séisme. Connaître ces propriétés nous confère des recommandations techniques normatives à respecter pour assurer une construction conforme et sûre.

3.1. Les avantages de la construction en terre

Le matériau terre, partout et largement disponible, présente beaucoup d'avantages parmi eux on peut citer :

- **La consommation énergétique** ; La terre est prélevée et exploitée sur site. Contrairement à d'autres matériaux, elle ne consomme aucune énergie non renouvelable et polluante.
- **La disponibilité** ; De grandes quantités de terre extraites au cours de grands travaux d'utilité publique, comme les routes, les travaux des fondations des constructions peuvent être recyclées et utilisées comme matériau de construction ;
- **La gestion des ressources** ; Le matériau terre n'utilise que très peu d'eau de gâchage, ressource essentielle pour la vie des populations ;
- **Les coûts**, des blocs comprimés en terre crue, en comparaison avec ceux de la maçonnerie en parpaing de ciment, de pierre ou même de brique de terre cuite, sont de 20 à 30 % inférieurs³⁴ ;
- **Le respect environnemental**, Pendant sa fabrication ce matériau ne produit aucun rejet de déchets, Son utilisation garantit aussi l'absence d'effets nocifs dans le cadre de la vie quotidienne, il a en plus l'avantage d'être presque entièrement recyclable après son utilisation initiale ;
- **Le savoir-faire** ; Le mode ainsi que les outils nécessaires à la production du matériau terre sont simples et accessibles à tous ;

3.2. Les inconvénients du matériau terre :

Ces inconvénients sont principalement liés à la solubilité à l'eau de la terre crue, qui cause des désordres dans les constructions qu'on désigne par pathologies de vieillissement qui varient selon les climats et dont la maîtrise peut être assurée grâce à des mesures préventives

Climat /précipitations	Inconvénients courants	Mesures préventives
Désertique (aride) et semi-aride moins de 250 mm	-Erosion des murs par le sable -Tassement et fissures de retrait peu graves -Dégâts mécaniques	-Enduit anti-érosion en béton maigre - Bon choix de la terre - Agencement soigneusement pensé - Meilleure réalisation
Humide 700 à 1270 mm	- Erosion des murs et fondations - Erosion par les eaux de ruissellement -Tassement et fissures de retrait très importants -Dégâts Mécaniques	-Bon agencement, bon écoulement -Dallage en béton autour de la construction -Gouttières et tuyaux -Bonne couverture, toit en surplomb -Enduit anti-érosion, imperméable -Bon choix de la terre -Meilleure réalisation
Très humide plus de 1270 mm	Idem	Idem

Figure 78 Mesures préventives des constructions en terre
Source : Aguarwal.A, bâtir en terre

3.3. Les recommandations :

L'art de construire en terre obéit à des règles très strictes qui demandent un savoir-faire propre. Mal conçues, les constructions peuvent être l'objet de graves désordres, les principes constructifs indiqués plus bas exploitent les performances et les caractéristiques du matériau terre pour réduire ou même éliminer les risques de pathologie, elles garantissent la durabilité des œuvres en terre⁴⁹.

Légende :

Protection de la base du mur :

A : soubassement

B : soubassement en pierre

C : renfort des angles en leur base

D : forme de pente évacuation de l'eau loin des murs

Protection de mur

E : calepinage des banchés de pisé

F : calepinage des blocs comprimés ou des adobes

G : angles chanfreinés

Protection des ouvertures

H : tableaux enduits

I : solin haut débordant avec goutte d'eau

Protection du haut du bâtiment

J : chapeau débordant

K : bande d'enduit haute; protection par le décor et la modénature

L : gargouille dépassant; protection du mur à la sortie de la gargouille

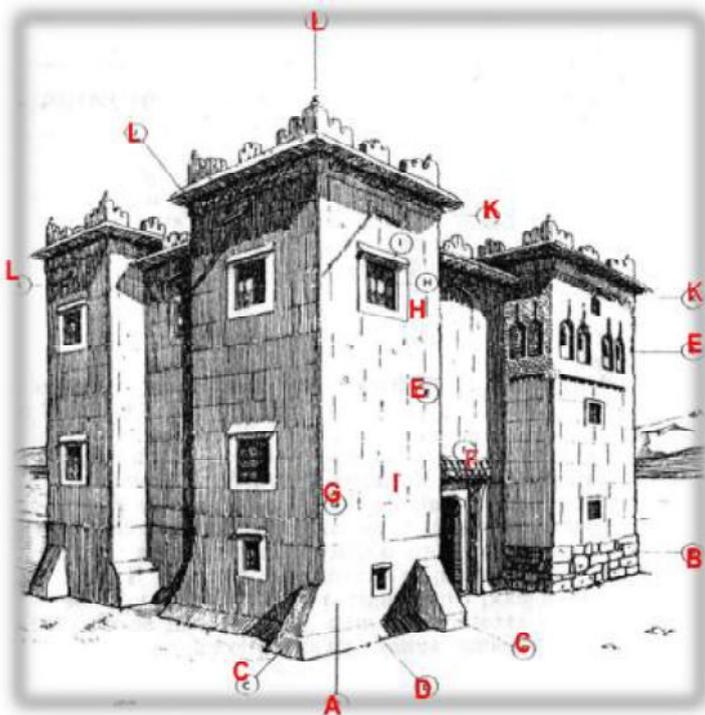


Figure 79 Le schéma de bonne conception architecturale d'un bâtiment en terre
Source : CRATerre

⁴⁹ CRATerre, Marrakech 87, Habitat en terre, P. 18-19.

CONCLUSION

L'architecture de terre, témoigne depuis longtemps d'une capacité technique et une richesse architecturale. Les performances physiques, mécaniques et de la durabilité du matériau terre ne sont plus à remettre en cause. Les systèmes constructifs des bâtiments en terre suffisamment connus peuvent égaler les réalisations avec d'autres matériaux. La diversité de formes permet des compositions riches et variées. Il ne s'agit plus de découvrir cette architecture mais de la promouvoir.

Des études récentes affirment que l'apport de la tradition locale est une condition nécessaire pour tout projet réalisé en terre⁵⁰.

⁵⁰ Z. Derradj, Etude des conditions techniques optimales du mélange « terre paille » en vue de la construction de logements à Ronquières en Belgique, mémoire de Magistère à l'université catholique de Louvain, 1987,

INTRODUCTION

Ce troisième chapitre est une approche analytique, où l'on présentera la terre comme discipline et on essaiera de cerner les axes majeurs pour sa promotion, puis les différents exemples bibliographiques nous permettront de ressortir avec différentes données architecturales, techniques et programmatiques, accompagné par la suite d'une lecture urbaine de la ville de Tlemcen en axant l'analyse sur le thème terre.

1. L'architecture de terre : Une discipline

Il est clair que si les enseignements traditionnels en (terre) doivent intéresser l'architecture contemporaine, c'est évidemment pour son processus d'intégration à un contexte donné, sa réponse technologique adaptée plus que pour ses résultats formels.

1.1. Formation, axe majeur

L'architecture de terre devient une discipline enseignée au niveau supérieur, comme au niveau professionnel. Une discipline qui dispose de ses propres curricula élaborés à partir d'un corpus théorique et pratique pour divers niveaux d'éducation, avec leurs programmes de cours et activités. Une discipline enseignée qui valide les acquis des connaissances et des compétences professionnelles par des certificats et diplômes propres aux formations spécialisées.⁵¹

1.1.1. Définitions

La formation professionnelle est le processus d'apprentissage qui permet à un individu d'acquérir le savoir et les savoir-faire (capacité et aptitude) nécessaires à l'exercice d'un métier ou d'une activité professionnelle.

Selon Terra Education 2010, la formation est « un axe majeur pour le développement » de l'architecture de terre.

1.1.2. Motivation et objectifs de la formation

Cette formation est véhiculée par trois grandes motivations :

- a. Contribuer au maintien de la diversité culturelle des territoires et à la gestion de leurs patrimoines architecturaux
- b. Contribuer au développement d'une architecture d'habitat social économique pour les plus démunis
- c. Faciliter le développement d'un éco-habitat durable contribuant à préserver l'environnement

Elle a pour objectif en premier lieu d'apprendre comment Intervenir sur le patrimoine en terre, et en second lieu d'introduire les techniques en terre dans le design des architectures contemporaines.

1.1.3. Ou forme-t-on ?

L'architecture de terre devient une discipline enseignée au niveau supérieur, dans des universités, leurs facultés d'architecture, d'ingénierie ou de génie civil, comme au niveau professionnel dans des centres préparant aux métiers de la construction.

Le rôle joué par les Organisations Non Gouvernementales et le pouvoir associatif contribue aussi à la formation en architecture de terre notamment à travers les « chantier-école ».

⁵¹ Système européen ECVET présenté durant Terra Education 2010 concernant la formation professionnelle sur les enduits en terre

1.1.4. Qui est formé ?

Les activités de formation proposées concernent un large éventail de niveaux de compétences (étudiants, architectes, ingénieurs, chefs de projets, techniciens, artisans) et que la durée de ces formations peut être adaptées selon les besoins, moyens et disponibilités, allant de quelques jours à une semaine, voire plusieurs semaines ou plusieurs mois. L'ampleur de l'offre de formation semble être un élément important pour obtenir des résultats significatifs et permettre une montée en puissance de l'impact sur les populations et sur le développement des compétences professionnelles.

1.2. L'interprétation, outil de communication

L'interprétation joue un rôle majeur dans la diffusion, la communication et la sensibilisation vis-à-vis l'architecture de terre. Elle implique plusieurs sens. D'où il serait convenable de les expliciter avant de développer le concept de l'interprétation de l'architecture de terre.

1.2.1. Définitions

On peut résumer l'interprétation en un effort explicatif qui vise à donner une signification et aux phénomènes qui nous côtoient, qui nous questionnent. C'est le fait de susciter un vif intérêt pour dévoiler leurs sens cachés, leurs secrets...etc.

A ce propos, le Conseil International des Monuments et des Sites (ICOMOS) propose une définition applicable au domaine de l'architecture de terre en tant que patrimoine matériel et immatériel : « *l'interprétation renvoie à l'ensemble des activités potentielles destinées à augmenter la conscience publique et à renforcer sa compréhension du site culturel patrimonial* ».

1.2.2. Objectifs

On parle ainsi d'une variété de notions telles que dissémination, popularisation, vulgarisation et interprétation qui convergent toutes vers un objectif ultime : la sauvegarde du savoir en le transmettant aux générations futures.

Selon ICOMOS, l'interprétation renferme les objectifs suivants :

- Faciliter la compréhension et l'appréciation des sites culturels et du savoir faire
- Communiquer le sens des sites culturels patrimoniaux
- Sauvegarder les valeurs matérielles et immatérielles propres aux sites culturels
- Respecter l'authenticité des sites culturels patrimoniaux
- Contribuer à la conservation durable des sites culturels
- Encourager la participation dans l'interprétation des sites culturels patrimoniaux
- Développer des normes techniques et professionnelles

1.2.3. Ou est ce qu'on interprète...

L'interprétation n'est pas spécifique à un lieu donné mais plutôt à un outil. C'est par rapport au moyen de diffusion qu'on choisit l'espace, qui peut être :

- Exposition temporaire
- Expositions permanente
- Centre spécialisé
- Chantiers Ecoles
- Structures académiques

1.2.4. Qui est visé par l'interprétation ?

Dans un aspect global, on va dire que l'interprétation s'adresse à tout le monde :

- Les professionnels constitués de scientifiques, chercheurs et principaux acteurs du secteur de la construction en terre
- Décideurs et dirigeants
- Administrateurs et élus et différents financeurs et investisseurs du même secteur

Cependant la plus grande marge s'adresse au grand public, aux profanes les incitant à prendre part aux résultats de recherche.

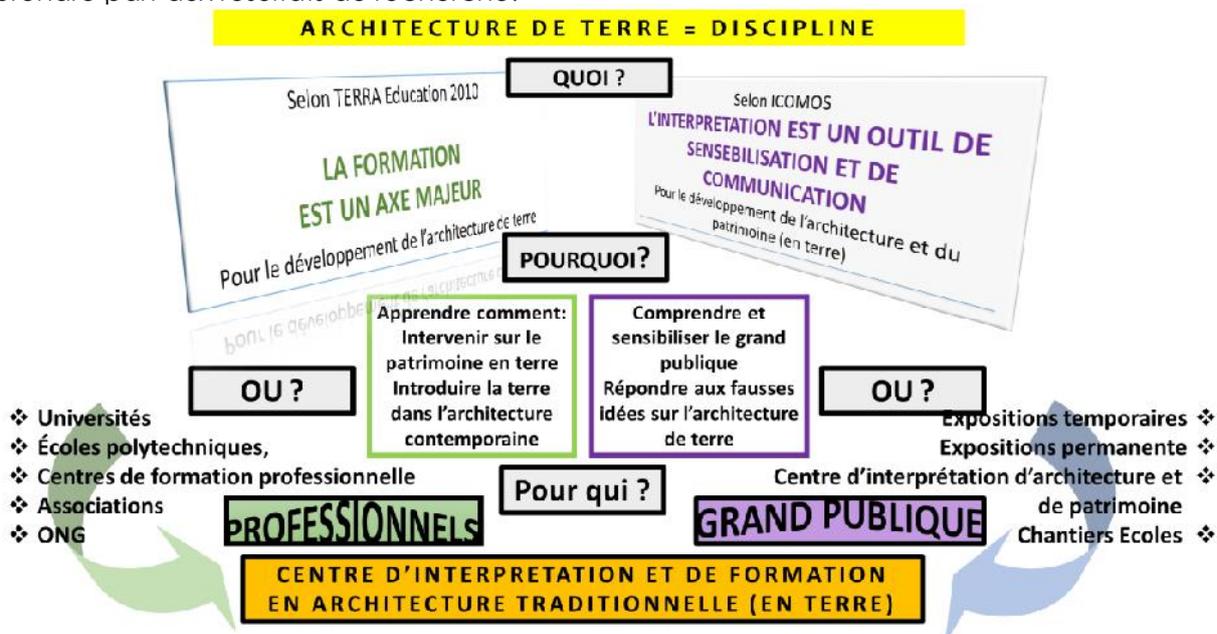


Figure 80 Schéma explicatif de la genèse du type de notre projet
Source : Etabli par l'auteur

1.3. Centre d'Interprétation et de Formation d'Architecture Traditionnel (en terre)

C'est par rapport aux deux axes principaux la formation et l'interprétation, on a défini un nouvel équipement à vocation culturelle et scientifique qui vise un public large constitué de professionnels liés aux domaines de la construction et aux profanes. Cet équipement offre un programme d'activité pluridisciplinaire, varié et flexible.

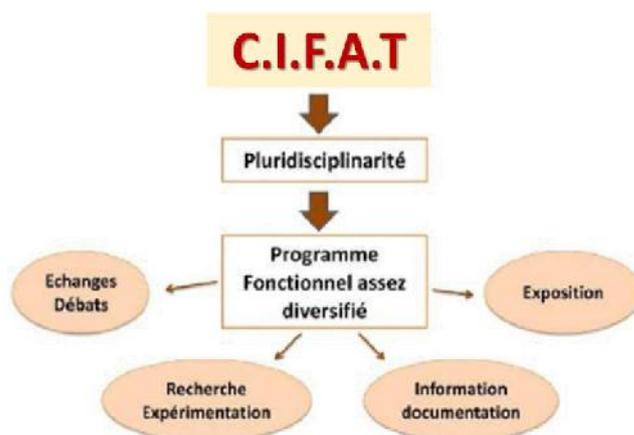


Figure 81 Schéma de l'organisation des rôles dans un CIFAT
Source : Etabli par l'auteur

1.3.1. Qu'est qu'un CIFAT ?

Un CIFAT est un équipement culturel et scientifique ayant pour objectif la sensibilisation, l'information et la formation de tous publics à l'architecture traditionnelle (en terre) de la ville ou du pays, il contribue à en compléter le maillage culturel (musée, médiathèque, galeries...)

1.3.2. A qui s'adresse-t-il ?

Il s'adresse en priorité à la population locale, professionnels, étudiants, stagiaires ainsi qu'aux touristes. Le CIFAT est également un lieu ouvert de débats dont l'objectif n'est pas seulement d'apporter des connaissances, mais d'impliquer la population, dans la compréhension,

Au-delà de ses informations, d'autres données sont nécessaires à la compréhension du projet choisi, ainsi des informations concernant l'échelle, l'implantation, l'organisation spatiale et le programme surfacique seront compléter de l'analyse comparative des exemples.

2. Etude des exemples thématiques

Le projet architectural doit être l'aboutissement de toute analyse déjà faite. Cette analyse donne lieu à une réflexion capable de mettre en interaction trois dimensions ; nature, thème, ville. Chacune de ces dimensions doit fournir des hypothèses organisées
Cette recherche thématique a pour but d'élaborer un socle de données, afin de déterminer le principe, l'évolution, et les besoins lié au thème, ainsi que les activités qui s'y déroulent et les types d'espaces qui s'y adaptent.

2.1. Exemples thématiques choisis

Le choix s'est fait selon les axes cités précédemment. On a cherché des équipements ou s'y déroulent des activités tel que la formation, l'interprétation ou l'exposition de l'architecture de terre afin d'en tirer le maximum de leçons de dimension architecturale, technologique ou programme. Et tous ces projets sont partiellement ou totalement construit avec le matériau terre, ce qui complète notre analyse et étude des différentes technique et procédés.

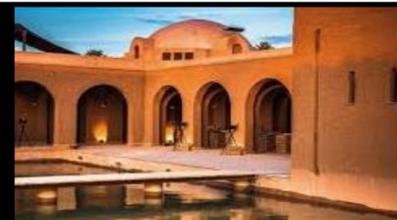
EXEMPLES



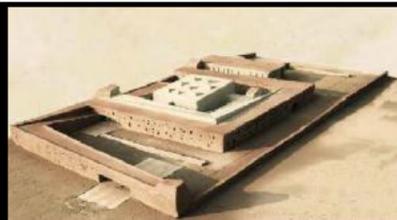
CENTRE DE L'ARCHITECTURE DE TERRE



AVEI
AUROVILLE EARTH INSTITUTE



CENTRE DE LA TERRE



CENTRE DE FORMATION AU METIERS DU
DEVELOPPEMENT DURABLE



CENTRE DES TECHNOLOGIES ALTERNATIVES



DESERT LIVING CENTER



CENTRE ALGERIEN DU PATRIMOINE CULTUREL
BÂTI EN TERRE (CAPTERRE)

SYNTHESE

CENTRE D'INTERPRÉTATION
ET DE FORMATION
EN ARCHITECTURE TRADITIONNELLE
(EN TERRE)

C.I.F.A.T

200 – 500
Places pédagogiques

REGIONALE -NATIONALE

MILIEU PÉRIURBAIN OU URBAIN

A proximité d'un site, monument ou
tissu réalisé partiellement ou
totalement en terre ,

Dans des zones périurbaine ou
paysage naturel, jamais dans un
tissu urbain dense

Emprise au sol inférieur à 0,4

Jusqu'à 80% d'espace extérieur

Disponibilité du savoir faire
Disponibilité du patrimoine bâti en
terre
Disponibilité du matériaux de
construction en terre
Programme pédagogique
complémenter par les formations
existantes

Lieu
Type
Date de réalisation
Echelle
D'appartenance
Implantation

MOPTI- MALI	AUROVILLE- INDE	MARAKKECH-MAROC	MARAKKECH-MAROC	PAYS DE GALLE- UK	LAS VEGAS - USA	TIMIMOUNE- ALGERIE
Culture	Formation / recherche	Formation	Formation Recherche	Formation	Culture	Culture
2010	1989		En cours ...	1974	2007	1910 HOTEL RECONVERTIT 2012
Locale	Internationale	Internationale	Internationale	Nationale	Nationale	Nationale
Tissu traditionnel	Ville expérimentale	Complexe Eco touristique	Périurbain	Milieu rural	Complexe tourisme culturel	Tissu traditionnel

Surface bâti
Hors œuvres
Contexte

1200 m ²	920 m ²	1500 m ²	6300 m ²	2000 m ²	4200 m ²	1650 m ²
3000 m ²	1350 m ²	25 000 m ²	4000 m ²	1500 m ²	56 000 m ²	700 m ²
Proximité de la mosquée restauré, répondre aux besoins du quartiers et au visiteurs du site Stratégie de construction écologique alliant l'ancien et le moderne	Promouvoir et de transférer les connaissances en architecture de terre. Faire revivre les compétences traditionnelles de construction en terre avec la technologie moderne de terre stabilisée.	Conseil et de l'assistance technique à maîtres d'ouvrage en interne ou externe et de la formation sur site ou dans les ateliers de villa Jenna, En plus de sa vocation pour les stages et la formation, cible une clientèle soucieuse du respect de l'environnement	MAJ écriture architecturale contemporaine spécifique au Maroc environnemental. Optimisant les savoir-faire existants, trouvant une bonne adéquation entre la modernité et la tradition.	Promotion, sensibilisation et formations dans le domaines des technologies vertes ouvert a un public divers offrant des cours allant de quelques jours à plusieurs semaines, mois	Un complexe de l'éducation environnementale qui met en valeur les méthodes de construction écologiques, matériaux et technologies pour un climat désertique, Vitrine de technologies alternatives passives	L'identification et l'inventaire du patrimoine culturel bâti en terre et des savoir-faire traditionnels liés à sa production ; l'élaboration et la diffusion des procédés techniques en matière de conservation, de restauration et d'entretien ;.

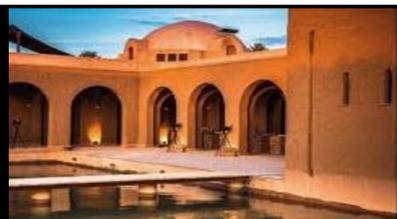
EXEMPLES



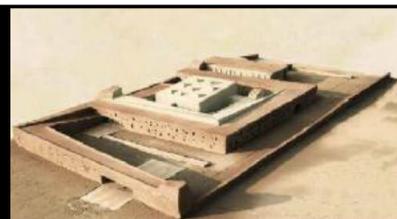
CENTRE DE L'ARCHITECTURE DE TERRE



AVEI
AUROVILLE EARTH INSTITUTE



CENTRE DE LA TERRE



CENTRE DE FORMATION AU METIERS DU
DEVELOPPEMNT DURABLE



CENTRE DES TECHNOLOGIES
ALTERNATIVES



DESERT LIVING CENTER

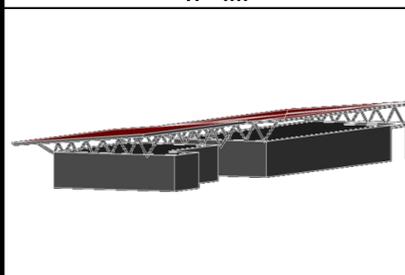


CAPTERRE
CENTRE ALGÉRIEN DU PATRIMOINE
CULTUREL BÂTI EN TERRE

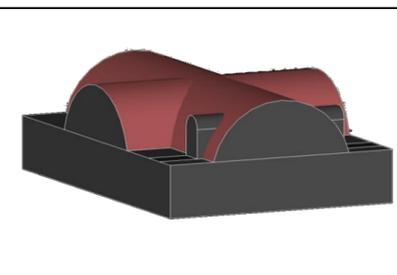
SYNTHESE

VOLUMÉTRIE

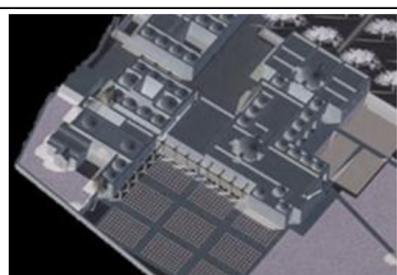
1 niveau
3 blocs reliés par deux toitures
Parallélépipèdes alignés
Toitures inclinés
Respect de la hauteur par rapport au site historique
H= 4m



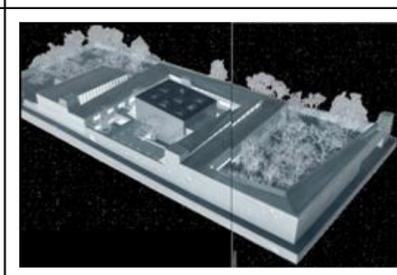
2 niveaux
1 bloc compacte
Juxtaposition voute sur parallélépipède
Toiture courbe en voute
l'alternance des voutes et terrasses
H= 8 m



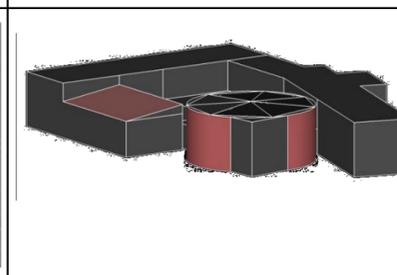
1 niveau
Bloc étalé ponctué par patio
Juxtaposition coupole /parallélépipède
Toiture plate, courbe
H= 4 m



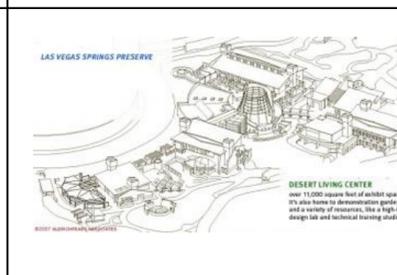
2 niveaux
Bloc étalé
l'imbrication de parallélépipèdes
Toiture plate avec puits de lumière
H= 8 m



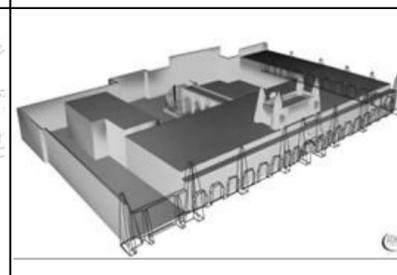
3 niveaux
Bloc étalé
3 parallélépipèdes et de 1 cylindre
Toiture plate
H= 7m



2 niveaux
5 blocs différents
Diversité de volumes
Toiture plate et incliné
H= 10 m



1 niveau
1 seul bloc ponctué par 3 cours intérieures
, Volume massifs
Toiture plate
H= 4 m



De 1 à 3 niveaux
Respect du site
intégration contextuelle
Purisme des formes
architecturales
« notion des patios des cours et surtout les espaces extérieurs »

FAÇADE DÉTAILS ARCHITECTURAUX

Formes rectilignes simples
Rapport vide/plein 10%
Texture du BTC sans revêtement
Avec toiture incliné en charpente métallique



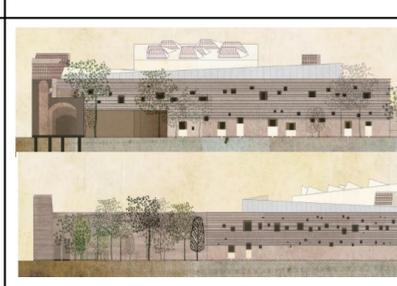
Formes rectilignes et arcs
Rapport vide/ plein 20%
Texture du BTC sans revêtement



Formes rectilignes et arcs
Rapport vide/ plein 10%
texture du matériau apparente ou enduit de terre



Formes rectilignes
Rapport vide/ plein 10%
Textures des matériaux locaux utilisés.



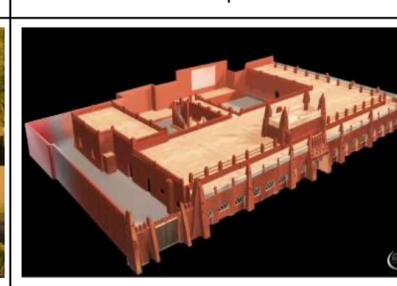
Formes rectilignes
Rapport vide/plein 40%
Les matériaux sont recouverts d'un enduit de terre



Formes diverses
Rapport vide/plein 40%
Texture des matériaux locaux



forme vernaculaire
Rapport vide/plein 5%
texture en terre rouge et éléments architectoniques locaux



Une nouvelle image architecturale qui ne cherche pas à reproduire les formes du passé, en se basant sur un effort subtil de réinterprétation du vocabulaire architectural local. Forme rectiligne horizontale Rapport d'ouverture très faible moyenne de 10% L'esthétisme utilise la texture propre des matériaux

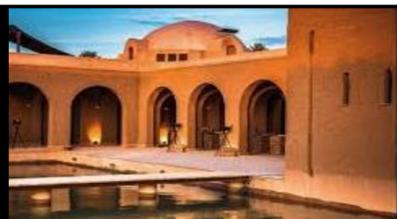
EXEMPLES



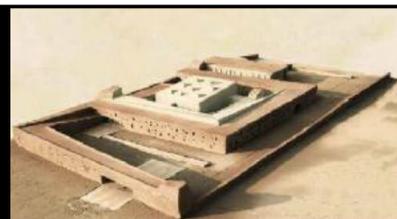
CENTRE DE L'ARCHITECTURE DE TERRE



AVEI
AUROVILLE EARTH INSTITUTE



CENTRE DE LA TERRE



CENTRE DE FORMATION AU METIERS DU
DEVELOPPEMNT DURABLE



CENTRE DES TECHNOLOGIES
ALTERNATIVES



DESERT LIVING CENTER



CAPTERRE
CENTRE ALGÉRIEN DU PATRIMOINE
CULTUREL BÂTI EN TERRE

SYNTHESE

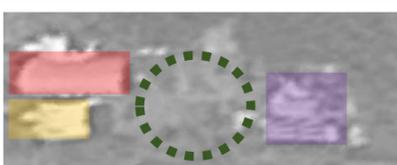
ORGANISATION SPATIALE INTERNE

Dans le même axe de la mosquée restaurée
La circulation entre les bloc se fait par un
corridor couvert par le débord de la toiture
métallique



◆ EXPOSITION ◆ ADMIN ◆ POLYVALANETE
◆ CAFET ◆ DOUCHES PUBLIQUES

1 seul bloc entouré d'espace extérieur qui
sont le prolongement des activités internes



◆ bureau laboratoire et classe ◆ atelier
◆ production ◆ workshop

Un bloc au sein d'un complexe
écotouristique
Les patios et les jardin aménagés
ponctuent l'espace



◆ ACCUEIL
◆ SERVICES
◆ LOISIR
◆ RANGEMENT

Réinterprétation des principes archétypes
des ksar ruraux et medersas urbaines



◆ Exposition
◆ Hall d'accueil, restaurant, cuisine
◆ Bureaux, administration
◆ Amphithéâtre, salle de réunions...
◆ Locaux techniques
◆ Ateliers

Organisation de plusieurs ailes autour
d'une cour centrale
Les espaces de formation sont au RDC les
espaces d'hébergement à l'étage



◆ CONFERENCE ◆ LABORATOIRES ◆ ATELIERS
◆ RESTAURANT ◆ CIRCULATION

Organisé en 5 bloc relié par un parcours
de visiteur



◆ EXPO TEMPORAIRE ◆ SALLES DE CLASSES
◆ SERVICES ◆ EXPO ◆ GALLERIE DES PDT DURABLE

Une galerie médiane qui assure la
circulations entre les différents espaces et
se prolonge vers la cour centrale



◆ BUREAUX ◆ MUSEE ◆ SALLE REUNION
◆ EXPO ◆ BIBLIOTHEQUE

AMBIANCES INTERIEURES



Séquences harmonieuses avec le milieu



Cour intérieur, L'environnement naturel
autour du bâti est resté tel quel



Espace de promenade, découverte et
parcours touristiques



3 cours intérieurs

EXTERIEUR

Large espace extérieur et promenade
proximité du lac



Vaste espace utilisé comme Ateliers de
démonstration en plein air



Jardin aménagé ,Pergolas , palmeraies,
Ateliers en plein air



Aménagement jardin et divers cours a
patio



Cour intérieur, L'environnement naturel
autour du bâti est resté tel quel



Espace de promenade, découverte et
parcours touristiques



3 cours intérieurs



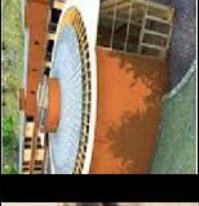
Le mode d'implantation adopté
dans les cas, cherche à
s'organiser d'une manière assez
compacte et introvertie afin de
créer des microclimats frais et
ombragés autour desquels
s'articulent les différentes masses
bâties

Assurer un environnement
intérieur généreux avec un
maximum de lumière naturelle,

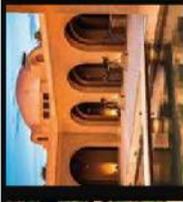
Promenade, parcours et espaces
découvertes

Alternance extérieur et intérieur
Les espaces extérieurs sont le
prolongement des activités du
centre

ANALYSE DES EXEMPLES

Exemples							
	CENTRE DE L'ARCHITECTURE DE TERRE	AVEI AUROVILLE EARTH INSTITUTE	CENTRE DE LA TERRE	CENTRE DE FORMATION AU METIERS DU DEVELOPPEMENT DURABLE	CENTRE DES TECHNOLOGIES ALTERNATIVES	CAPTERRE CENTRE ALGERIEN DU PATRIMOINE CULTUREL BÂTI EN TERRE	CENTRE D'INTERPRETATION ET DE FORMATION EN ARCHITECTURE TRADITIONNELLE (EN TERRE) C.I.FAJ
MATÉRIAUX	Pisé Acier Tôle galvanisée	BTC STABILISE PISE STABILISE	PISE ADOBE	Le pisé L'adobe Éléments préfabriqués industriels	Pisé Lamellé collé-bois Mur rideau bloc de chanvre chaux hydraulique	Adobe Chaux hydraulique	Le recours aux matériaux locaux régionalement abondants présentant des solutions économiques techniquement performantes
SYSTEME CONSTRUCTIF	MURS EN BTC COUVERTURE EN VOUTAINS DE BTC SUR SOLIVES METALLIQUES (9 m) CHAINAGE BETON Une toiture en tôle galvanisée protège le BTC des intempéries et du soleil	MURS EN BTC STABILISE 5% DE CIMENT COUVERTURE EN VOUTE BTC STABILISE (5m) BTCs	MUR EN PISE MUR EN ADOBE COUVERTURE VOUTE COUPOLE EN BTC	Murs en pisé La structure métallique comme système de plancher et toitures inclinés	MURS EN PISE COUVERTURE EN LAMELE COLLE (15,6m) Mur rideau qui protège le pisé de l'extérieur et offre un déambulateur de circulation	ARCADE MURS PORTEURS EN ADOBE PORTÉ TRÈS FAIBLE 2M80	Pisé / adobe / BTC Pour les éléments porteurs verticaux Coupole et voute Pour les couvertures En BTC Portée allant jusqu'à 10m
TECHNOLOGIES	Ventilation naturelle (espace entre toiture métallique et voutains)	Stabilisation 5% ciment développement de voute caténaire FREE SPANING Voûte en encochement décrochement de 80 cm	Photovoltaïque Chauffage solaire puits canadien Puits provincial Gestion des eaux	stratégies passives (patios, plans d'eau, végétation, ouvertures étudiées, espaces tampon, toitures ventilées...) Photovoltaïque	Photovoltaïque Eolienne Mur circulaire en pisé h= 7m	CONFORT EN BRIQUE SOMMET POINTUT COMME PROTECTION ETANCHE	concept énergétique passif qui consiste à profiter des énergies renouvelables (éoliennes, solaires...) ventilation naturelle et de rafraichissement des lieux (tel est l'exemple des tours à vent, Optimisation des ouvertures ou l'intégration de la végétation et des plans d'eau dans l'aménagement intérieur).

ANALYSE DES EXEMPLES

Exemples							
CULTUREL	Salle d'exposition Ateliers de démonstration temporaire	Théâtre en plein air 400 p	Exposition	Salle d'exposition permanente Musée Galerie Bibliothèque	/	Salle d'exposition permanente Musée Galerie Bibliothèque	<p>CENTRE D'INTERPRÉTATION ET DE FORMATION EN ARCHITECTURE TRADITIONNELLE (EN TERRE) C.I.F.A.T</p> <ul style="list-style-type: none"> Exposition permanente Exposition temporaire Théâtre en plein air Ateliers de démonstration Bibliothèque
PEDAGOGIE	Salle polyvalente	Salles de classes 2 Ateliers de production Laboratoires Ateliers de formation Salle de conférence	Salles de classes 8 Ateliers 8 + 2 G, ateliers Salles d'études 3	Salles de séminaire 3 Ateliers 3 Laboratoires 1	/	/	<ul style="list-style-type: none"> Salles de classes Salles de séminaires Ateliers de formation Ateliers de production Laboratoires Amphithéâtres-conférences
Hébergement	/	Hébergement 32 p	/	/	/	/	<ul style="list-style-type: none"> Hébergement Stockage matériaux Stockage matériels Autres Commerces (souvenirs + magasin) Restaurant étudiants Cafétéria Foyer
RESTAURATION	Cafeteria avec terrasse	/	Restaurant	Restaurant	/	/	<ul style="list-style-type: none"> Bureaux administration Bureaux de gestion Orientation accueil et réception Information
ADMINISTRATION	Bureaux de communication	Bureaux de gestion Bureau d'accueil et de gestion	4 Bureaux administration Salle de réunion	4 Bureaux autres services Salle de réunion	/	/	<ul style="list-style-type: none"> Bureaux admin Salle de réunion

3. Etude de la ville

Dans cette partie nous essayerons de présenter la ville qui partage les mêmes objectifs de notre thème : la promotion des architectures de terres.

Comme on l'a dit précédemment, l'architecture de terre n'est pas une spécificité du sud algérien, et elle n'est pas exclusive aux démunis ou sous-développés.

C'est dans cette optique qu'on s'est tourné vers le nord algérien précisément la ville de Tlemcen qui jouit d'un patrimoine bâti important, capital de la culture islamique 2011, ville d'art et d'histoire et porte un regard intense sur ses traditions.

Tlemcen qui jouit désormais d'infrastructures d'envergure (autoroute Est-Ouest, aéroport Zenâta, le campus universitaire Aboubekr Belkaid) est bien lancée pour être la future métropole de l'ouest 2025.

C'est dans ce regard croisé entre l'historicisme et la modernité, que Tlemcen doit puiser dans ses potentialités afin de mettre en valeur son patrimoine, transmettre son savoir-faire et assurer un développement à l'échelle de son titre.

3.1. Présentation de la ville

Tlemcen avec ses 140 000 habitants, a toujours été un centre religieux, culturel, intellectuel et architectural important. À l'époque islamique, elle est l'une des cités du Maghreb les plus propices à la création et à l'épanouissement intellectuel et son influence sera grande dans tout l'Occident musulman⁶⁵. Située au carrefour des routes qui mènent du Maroc à l'Algérie et de la mer Méditerranée au Sahara, Tlemcen joue un rôle culturel et commercial important.

3.1.1. Situation

Située au Nord-Ouest du pays, Tlemcen est bordé au Nord par la mer méditerrané, Ain Témouchent et Oran, à l'Ouest par le royaume du Maroc, par le Sud par Naama et l'Est par Sidi Belabbes.

Elle représente une position stratégique (carrefour d'échange) Tunisie, Maroc, l'Europe et l'Afrique. C'est l'une des portes du pays voir même du continent.

C'est aussi un lieu de convergence de plusieurs flux d'échange ; portuaire, économique, aérienne économique, terrestre entre deux continents : l'Europe et l'Afrique

Sa position qui lui confère un statut du chef-lieu du groupement : Tlemcen, Mansourah, Chetouane, Béni Mester et de métropole régionale vers l'ère 2025 d'après le PDAU. Une ville qui exercera d'ici peu un rayonnement économique, politique, scientifique et culturel sur toute la région ouest de l'Algérie.

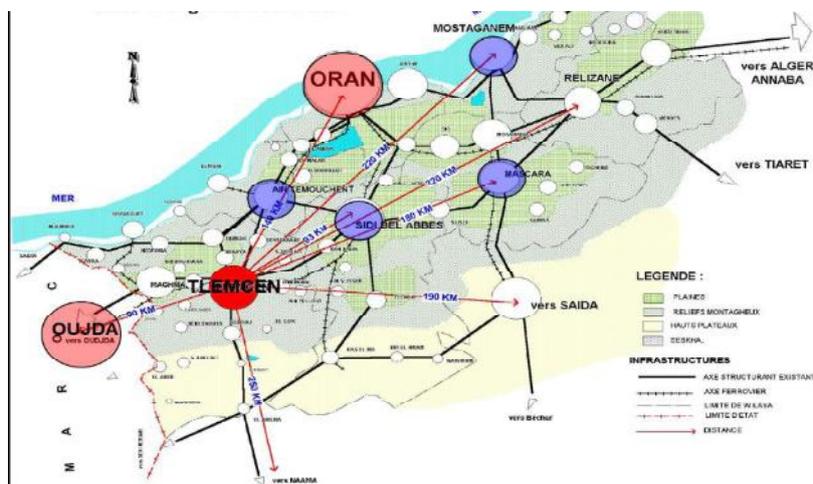
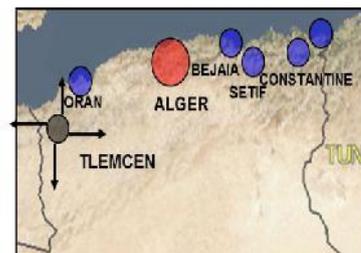


Figure 82 Position stratégique de Tlemcen dans le NORD OUEST

Source : Rapport du groupement Tlemcen-Mansourah-Chetouane 2009

3.1.2. Climat

Le Grand Tlemcen se caractérise par un régime pluviométrique complexe influencé par le climat méditerranéen, caractérisé par : Une saison pluvieuse et une saison sèche. Ce qui se répercute directement sur la construction, des murs épais en terre ou en pierre pour réguler ce changement de saison. Une des solutions qu'on a délaissées pour des system de chauffage et de climatisation couteux et gourmand en énergie.

3.1.3. Relief

Le Grand Tlemcen s'inscrit dans un milieu physique divers au niveau de relief (monts, plains, plateau, ...), et repose sur une série de collines :

- Plateau Lala Seti (barrière physique) :1000m
- Djebel El Koudia: 679 m
- Djebel Ain El Houtz: 651 m
- Djebel Boudjlida: 650 m

3.1.4. Bref historique

Ancienne capitale du Maghreb central, la ville mêle influences berbère, arabe, hispano-mauresque, ottomane et occidentales. De cette mosaïque d'influences, la ville tire le titre de capitale de l'art andalou en Algérie. Selon l'auteur Dominique Mataillet⁵², divers titres sont attribués à la ville dont « Perle du Maghreb », « Grenade africaine » et « Médine de l'Occident».

Cela dit, Tlemcen a connu une évolution suivant 3 périodes importantes :

a. Période précoloniale :

En période d'occupations romaine en Afrique. La naissance de la ville de Tlemcen s'étant établie à Pomaria, puis avec l'arrivée des conquêtes arabes son nom est devenu Agadir.

Elle a subi le passage des dynasties (Almoravide, Almohade, Zianide, Ottomane) en présentant une stratification du savoir-faire de ces derniers dans le tissu urbain, l'architecture et les procédés de construction.

Elle évolue à l'intérieur d'un périmètre délimité par des (remparts de pisé ou de pierre), structuré et composé par les quartiers d'habitations qui entourent un centre Religieux (grande mosquée) ; Economique (la kissaria), Culturel (les medersas) et Politique (el machouar). Relies aux portes de la ville par un parcours public. Ces constructions étaient en brique, bois, pisé et tuile.

b. La période coloniale

La médina de Tlemcen a subi des coups directs et indirects du développement urbain depuis l'occupation coloniale, correspondant surtout à des nouveaux system de référence culturelle, économique, et stylistique.

Les maisons coloniales sont souvent faites de pierre, bois et tuile qu'on va très vite délaissier pour le béton armé.

c. La période postcoloniale

Au lendemain de l'indépendance, la volonté de donner au pays une nouvelle image, celle de l'Algérie prospère s'est reflétée par l'urbanisation rapide des villes sur la base de différent instrument mis en place.

Dans une politique d'urgence, un déficit de logement et une faim d'infrastructure de grande ampleur, le béton armé deviens rois, épaulé quelque fois par du préfabriqué.

⁵² Dominique Mataillet, journaliste à Jeune Afrique-L'Intelligent

3.1.5. Economie

Une économie ouverte et compétitive basée sur une activité industrielle importante près de 34000 entreprises actives dans la wilaya dans les domaines de l'agro-alimentaire, du textile, du cuir, chaussure, de l'électronique (télécommunication), le plastique, la céramique et l'artisanat traditionnelle.

Des grandes entreprises et des groupes industriels, d'envergure nationale, notamment dans l'agro-alimentaire, le BTP et matériaux de construction⁵³.

3.1.6. Tourisme

La wilaya de Tlemcen compte 45 sites naturels et historiques classés par le ministère de la culture algérien, 20 sites et monuments sont situés à la commune: Honâïne, les mosquées almoravides de Tlemcen et Nedroma, Abou Madyane, la médersa d'El-Eubbad, la mosquée de Sidi Bellahsen, la mosquée de Sidi Halloui, le palais El Mechouar, les villages de Tlata et Zahra, la mosquée de Beni Snous, les ruines de Mansourah, le sanctuaire du Rabb, les grottes de Aïn Fezza, Bab El Qarmadin, le minaret d'Agadir, le plateau de Lalla Setti, etc.

Monuments historiques mis en valeur, rendez-vous culturels toutes les semaines, rues dégagées et propres... Depuis 2011, Tlemcen est devenue une sorte de catalogue de tourisme. La ville a restauré un bon nombre de lieux et monuments historiques qui font aujourd'hui sa célébrité.

3.1.7. Formation et enseignement supérieur

Fidèle à son passé, Tlemcen accueille plusieurs écoles et centres de formation, ainsi qu'une gamme diversifiée d'enseignement proposés au sein de ses 6 facultés de l'université Abou Bekr Belkaid.

Communes	Enseignement et formation professionnelle		Enseignement supérieur			
	Nombre Etablissements	Effectifs élèves	Pôles	Effectifs étudiants	Cités	Effectifs étudiants résidents au niveau des cités
Tlemcen	68	39 255	02	2375	03	2200
Mansourah	21	9978	01	18 741	01	2400
Chetouane	22	9166	01	2467	01	700
Total Groupement	111	58 399	04	23 583	05	5300

Figure 83 Tableau récapitulatif : Enseignement supérieur et formation professionnelle
Source : Monographie de la wilaya, 2003

La commune de Mansourah regroupe 80 % de l'effectif étudiant du groupement et 17% d'effectif d'élèves.

⁵³ Jean-Marie Mignon et Dominique Romann, « Deux circuits de l'économie urbaine en pays dominé : Tlemcen, Saïda (Algérie) », Tiers-Monde

3.2. Potentialités de la ville de Tlemcen

Toute ville regorge de multiples potentiels qu'on peut exploiter afin de lui assurer un meilleur développement. Nous allons axer notre lecture sur les éléments forts (en plus de ceux déjà cités) qui nous ont induits au choix de cette ville pour promouvoir le thème des architectures de terre.

3.2.1. Patrimoine bâti important (en terre)

Tlemcen recèle des vestiges historiques d'importance, nationale voir même universelle. Ces espaces ayant bénéficiés de plan de sauvegarde permettant leur insertion au tissu urbain conformément à la loi 98-04 relative à la protection des sites et monuments historiques. Aussi, le lancement des plans des sauvegardes et de mise en valeur des secteurs sauvegardés ou agricoles PPSMVSS/PPSMVSA s'avérait impératifs.

a. Les sites et monuments historique de Tlemcen

De la lecture de la carte des sites et monuments historique, réalisée par l'agence nationale de l'aménagement du territoire (A.N.A.T) en 2007, on a ressorti les informations suivantes :



Figure 84 Quelques chiffres sur les sites et monuments historiques de Tlemcen
Source : ANAT. Traité par l'auteur

b. Exemples de monuments historiques en terre à Tlemcen

Cette richesse a fait de Tlemcen un laboratoire en plein air d'études diverses, ce patrimoine comporte : des lieux de cultes (mosquées, zawiya...), lieux de formation et d'enseignement (medersa) et les espaces résidentiels.



Grande Mosquée de Tlemcen
An 1079 par les Almoravides
Brique d'adobe, bois, tuile.



Citadelle Mechouar
An 1235 par les Zianides,
Pierre, brique adobe, bois.



Mansourah
An 1299 par les Mérinides,
Pierre taillée et pisé .

Figure 85 Exemples de Monuments historiques de Tlemcen
Source : vitaminedz.org

3.2.2. Opérations d'interventions patrimoniales d'envergure

Ces dernières années un regain d'intérêt pour l'héritage arabo musulman de Tlemcen a véhiculé une volonté de sauvegarde et de conservation de ses monuments. Divers opérations ont été entamées. On cite :

a. Restitution du palais du Mechouar

Les travaux de restauration du palais ont commencé en 2010 à l'occasion de l'évènement culturel Tlemcen, capitale de la culture islamique 2011. Ce projet est précédé d'une phase de fouilles archéologiques dirigées par le centre national de recherches archéologiques d'Alger. Ces fouilles permettent de mettre au jour des traces de constructions de différentes époques ainsi que du mobilier archéologique tel que des pierres tombales, des espaces d'eau ou des pièces de céramique.



Figure 86 restitution du palais du Mechouar avant et après les travaux
Source : ARCADE Tlemcen

L'opération de restitution du palais royal n'a pas concerné que le bâtiment en lui-même mais l'acte de bâtir principalement, tous les travaux menés par le bureau d'étude ARCADE se sont fait dans les règles de l'art en respectant minutieusement les techniques et procédés (en terre) de l'époque de sa réalisation.

b. Restaurations de Bab El Kermadine

Aux débuts des années 2000, Bâb El Kermadine regagna un intérêt particulier et fut classée patrimoine protégé, des travaux de restauration ont été exécutés dans ce sens. Une activité culturelle fut injectée « théâtre de verdure » et un aménagement conséquent fut entrepris dans l'espoir de redonner de la vie à ce lieu. Mais l'absence d'entretien et de sécurité laissèrent les ruines livrées à la dégradation humaine et aux intempéries.



Figure 87 Restauration de Bâb El Kermadine 2003
Source : Arcade Tlemcen

c. Restaurations de la mosquée de Mansourah et de son enceinte

Mansourah a fait l'objet d'un classement en 1900 et a connu des travaux de restauration et d'entretien effectués pendant la période coloniale française et postcoloniale par les architectes des monuments historiques.

Ce site mérinide a bénéficié, dans le cadre des préparatifs de la manifestation "Tlemcen, capitale de la culture islamique 2011" d'opérations de consolidation et de confortement de son minaret ainsi que de ses remparts et murailles.

S'étirant sur plus de cent hectares, de Mansourah, il ne subsiste que les parties nord et ouest des remparts et la mosquée.



Figure 88 Minaret de Mansourah, avant et après les travaux 2011
Source : Vitaminedz.org

d. Réflexions sur ces opérations

Durant ces opérations, les acteurs de la restauration ont joui d'un vif échange avec des entreprises étrangères, et ont bénéficié d'une expérience inédite dans le domaine des interventions sur patrimoine.

Sous prétexte de protéger les monuments des travaux de clôtures ont été édifié. Largement critiqué par le public comme par les experts, ces travaux ont mis le monument en second plan détaché de son environnement, il devient un objet et perd de sa « valeur » historique. D'autre part la servitude du monument historique de 200 m rend la tâche de plus en plus dure dans le cadre de la valorisation de ces monuments, il y'a une attractivité certaine de ses monuments par rapport au public, mais difficile de la rentabiliser quand on ne peut y implanter des fonctions commerciales, ludiques, ou autres.

Si la conservation des monuments historiques est essentielle, les monuments sont indissociables de l'espace qui les entoure. On s'accorde à dire que toute modification sur celui-ci a des conséquences sur la perception et donc la conservation des monuments. A ce titre, une vigilance particulière s'impose à l'égard des projets de travaux dans leur environnement.

Dans les modèles européens, la construction dans un périmètre historique répond à cette vigilance qui consiste à veiller à la qualité des interventions sur le bâti (façades, toitures, matériaux), et sur les espaces publics traitement des sols, mobilier urbain, éclairage). Le traitement de « cas par cas » est plus bénéfique au monument car il intègre dans les aménagements communaux, dans le développement de l'urbain et ne le met pas à l'écart.

3.3.3. Maillage culturel diversifié

Depuis Tlemcen capitale de la culture islamique en 2011, la ville accueille une multitude d'activités culturelles, organisées au sein d'un maillage de nouvelles structures, créées pour l'occasion mais qui subsiste bien sûre après le durée des festivités. Cela prouve l'intérêt que porte la ville pour la culture et encourage de plus en plus des manifestations à échelle nationale ou locale.

On cite notamment comme exemple :



**Le palais de la culture
Imama**



**Le centre des études
andalouses Imama**



**Bibliothèque municipale
Mohammed Dib Imama**

Figure 89 Exemples d'équipements culturels récents de Tlemcen
Source : Vitaminedz.org

De ces travaux découle un style néo mauresque reprenant les formes architectoniques d'autre fois comme référentiel et les projète dans un langage nouveau. Certains le caractérise de pastiche et disent que les concepteurs sont restés emprisonnés de ligne de conception en désaccord avec une société moderne, d'autres sont plus conservateurs et encourage la valorisation de cet esthétisme identitaire spécifique à la ville.

De notre côté, on arrêtera un point de vue médian entres les deux précédents, puiser dans les ressources historique renforce l'intégration du projet a son environnement, mais avec vigilance : il ne faut pas imiter la forme mais l'interpréter.

4. Prospection de terrain

La réussite du projet architectural est en fonction de la pertinence de son implantation. Dans notre projet, 2 critères primordiaux conditionnent le choix du site : la **proximité** d'un vestige, monument ou construction en terre et la **disponibilité** du matériau terre nécessaire à la construction.

A ces critères s'ajoutent :

- Situation
- Accessibilité
- La disponibilité foncière
- Rayon d'influence
- Lisibilité
- Visibilité

4.1. Présentation des sites

Après avoir effectué une lecture urbaine de Tlemcen, on est ressorti par 3 sites potentiels de la carte des monuments historique (ANAT 2007) :

- Le site sidi Boumediene
- Le site Bâb el kerma dine
- Le site de Mansourah

Ces 3 sites ont connu le moins d'interventions lourdes par rapport aux 2 autres proposés par la même carte des monuments : site de la médina et le quartier d'Agadir.

Sites	Sidi Boumediene	Bâb el kerma dine	Mansourah
Proximité d'un vestige en terre	 Complexe religieux de Sidi Boumediene	 Porte de Bâb el Kermadine	 Ruines mosquée de Mansourah et fragment de muraille
Situation	Tissu historique	Milieu urbain	Milieu périurbain
Accessibilité	Mauvaise	Moyenne	Bonne
Disponibilité du matériau terre	Quantité limité Difficulté de transport	Quantité limité Difficulté de transport	Quantité illimité
Disponibilité foncière	Quantité limité	Quantité limité	Large potentiel foncier
Rayon d'influence	Grand Contexte historique riche	Petit Contexte historique méconnu	Grand Contexte historique riche
Visibilité	Mauvaise	Bonne	Très bonne
Lisibilité	Bonne Nature définie	Moyenne Nature ambiguë	Bonne Nature définie

Figure90: Tableau comparatif choix du site.

Source : Etabli par l'auteur

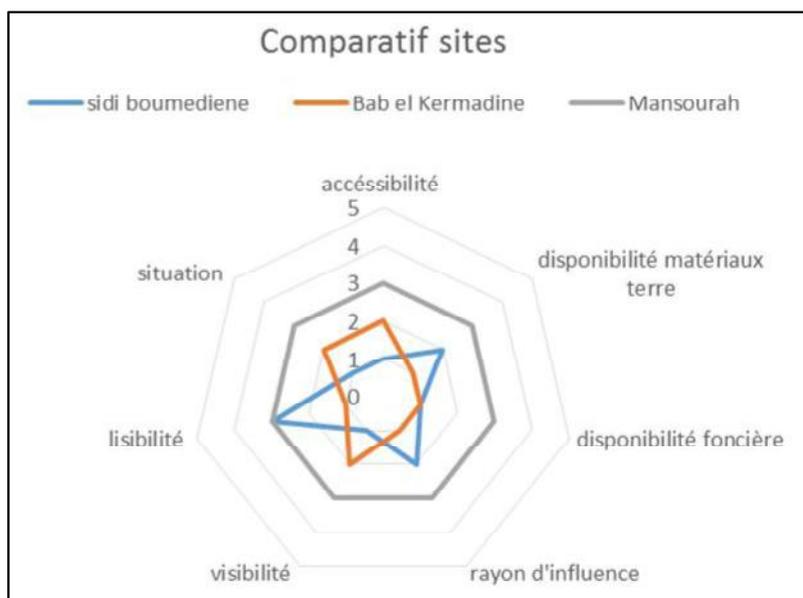


Figure 91 : Diagramme comparatif des sites.
Source : Etabli par l'auteur.

Synthèse

Le site de Mansourah offre de meilleures potentialités que les deux autres, d'abord la visibilité du minaret est omniprésente et l'accessibilité est directe au site via de la RN 7, ensuite les vestiges des murailles s'étalent sur tout le site offrant ainsi un laboratoire en plein air pour notre projet.

Conclusion

La terre comme discipline est un axe majeur pour la promotion de la richesse de ses architectures. D'après la recherches des exemples, cette discipline est intimement liée à la vocation de la ville, son maillage culturel et sa culture constructive. Tlemcen se propose d'accueillir cette discipline au sein d'un centre dédié à la culture de l'architecture de terre, des arts traditionnels et tout ce qui fera la promotion d'une vocation historico-culturelle déjà existante. Ainsi donc le choix de Tlemcen est renforcé par ses potentialités matérielles aussi, un laboratoire à ciel ouvert dont on a choisi le site de Mansourah pour nous y planter.

Introduction

Cette phase est la présentation du programme élaboré qui sera une réponse aux exigences déjà citées dans l'approche thématique, afin de maîtriser la qualité des espaces, leur fonctionnement et agencement.

1.1. Objectifs du programme :

De la synthèse des programmes étudiés (chapitre 03) les entités de base s'articulent autour de la vocation culturelle et formation du projet ; cela se traduit par :

- L'offre d'un « éventail » d'activités et d'espaces diversifiés et évolutif qui octroiera, au projet un caractère attractif.
- L'élaboration d'un programme caractérisé par la souplesse des rapports entre les espaces qu'il identifie.
- La participation à la lisibilité fonctionnelle du projet.
- La mise en relation des fonctions compatibles et complémentaires afin de
- Participer à la flexibilité globale du projet.
- L'harmonisation des fonctions et des proportions surfaciques et spatiales entre les différentes activités de l'équipement.

La réponse aux exigences fonctionnelle d'un équipement ouvert au grand publique, notamment en ce qui concerne les espaces d'accueil et de circulation.

- La prise en considération des nécessités fonctionnelles et programmatiques qu'implique un lieu d'exposition.
- L'accompagnement du programme culturel et artistique qui caractérise le projet, par une somme d'espaces de détente et de récréation, afin de faire de cet équipement un lieu fréquenté, aussi bien, pour sa qualité d'espace culturel que pour celle de lieu de loisir.

1.2. Capacité d'accueil et échelle d'appartenance :

Notre Centre va servir à l'échelle **nationale** et propose **500 places** pédagogiques.

1.2.1. Justification de la capacité d'accueil :

Notre projet intitulé Centre d'interprétation et de formation de l'architecture de terre est contient deux unités fondamentales : formation et interprétation.

- En ce qui concerne la formation :

Selon les exemples étudiés (chapitre 03), les centres de formations liés à la terre, métiers durables et autres, avoisinent le nombre de **500 places** pédagogiques.

Selon la Grille Théorique des équipements, une ville comme Tlemcen (ville type 150.000-250.000 habitants) les Centre de formation professionnelle, Instituts nationaux de formation spécialisés, et autres établissements du genre accueillent entre **300 et 500 places** pédagogiques.

- En ce qui concerne l'interprétation :

Aucune donnée n'est mentionnée dans les exemples, l'appréciation de l'interprétation comme toutes les fonctions culturelles varie d'une société à une autre et se présente de différentes formes. Néanmoins une analogie peut être faite en analogie au taux de visiteurs des sites culturels de Tlemcen par mois. Le site de Mansourah et le palais du Mechouar accueillent chacun jusqu'à **4000** visiteurs par mois⁵⁴, soit une moyenne de **133** visiteurs par jour.

- En ce qui concerne l'évènementiel

On a mentionné auparavant que ce genre de centre est destiné à accueillir des événements à échelle nationale et internationale en complétant le maillage culturelle de la ville existant. Le festival de l'ArchTerre invite chaque année **200** étudiants-chercheurs à l'échelle nationale et des **50** intervenants (bâtitseurs et conférenciers) les activités se déroulent au sein de l'école polytechnique d'architecture et d'urbanisme EPAU et des équipements tels que la salle de Conférence de RIAD EL FETH épaula les cérémonies d'envergure. On suivra le même principe : palais de la culture (1 600p) à proximité du site (1.5Km), Centre des études Andalouses (1Km).

Récapitulatif

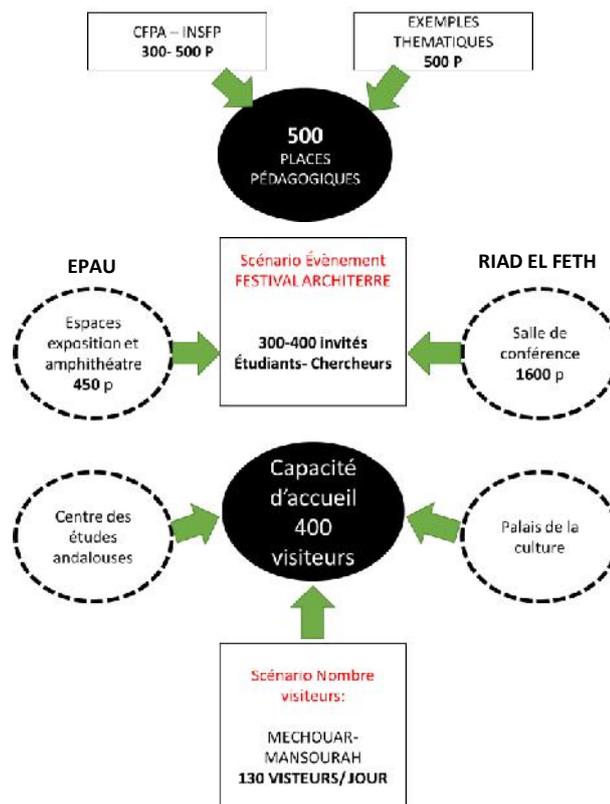


Figure 92 : Schéma récapitulatif de la capacité d'accueil
Source : Etabli par l'auteur

⁵⁴ Enquête auprès des gérants de ces sites, et témoignage du bureau d'étude ARCADE

1.3. Justification de l'échelle d'appartenance :

Vu que notre centre est destiné à accueillir 500 Places pédagogiques et des évènements nationaux et internationaux comme le festival de l'Architerre. Il va servir à échelle **nationale** épaulé par le maillage culturel existant.

1.4. Types d'usagers :

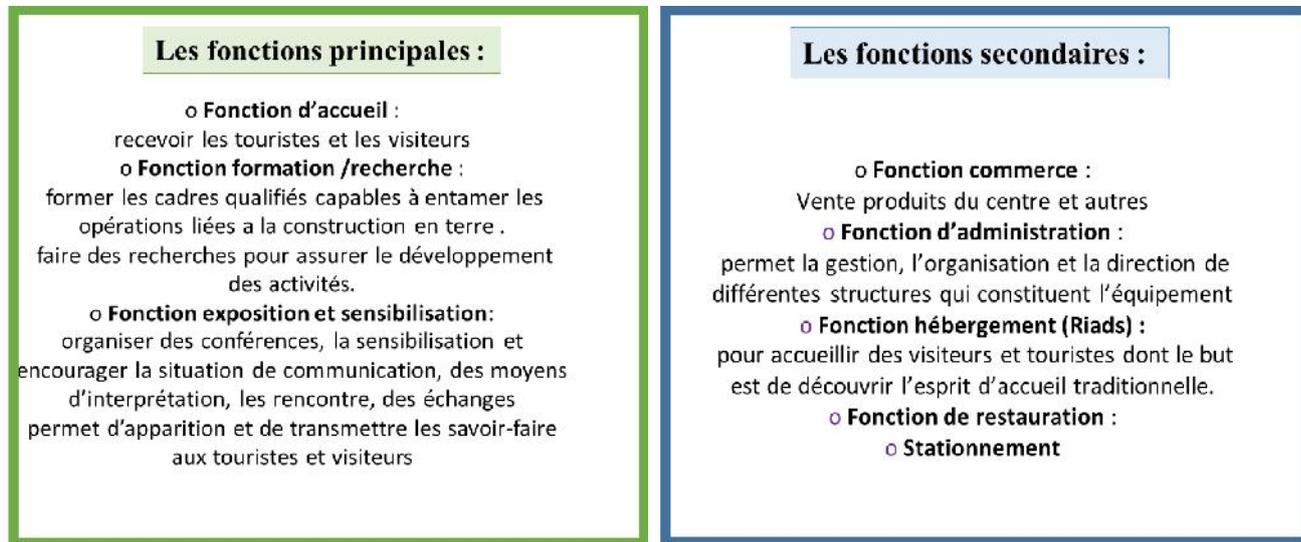
Notre projet est destiné à accueillir différent types d'usagers, qui se présentent comme suit :

PROGRAMME SUIVANT LES UTILISATEURS ET USAGERS			
UTILISATEURS	Nbr	ACTIVITÉS	BESOINS
S E L O N L A F O N C T I O N	Etudiants	Etudier, pratiquer, se former, stocker, exposer, Changer ses vêtements, prendre une douche, se nourrir, se loger, se divertir, stationner	Appareils techniques, ateliers de production, ateliers de formations, salles pédagogiques, laboratoires, salle d'exposition, bibliothèque, médiathèque, Locaux de stockage, Vestiaires, Douches, Parking, Restaurant, cafétéria
	Stagiaire	Pratiquer, stocker, Changer ses vêtements, prendre une douche, se nourrir, se divertir, stationner	Appareils techniques, ateliers de production, ateliers de formations, Vestiaires, Douches, Parking, Restaurant, cafétéria, magasins
	Visiteurs	S'orienter, se divertir, être sensibiliser, découvrir, apprendre, stationner	Orientation, salle d'exposition, ateliers de démonstration, atelier de vulgarisation, cafétéria, restauration, commerce, parking
	Formateurs enseignants Chercheurs	Enseigner, former, Faire des recherches, faire des essais, Echanger les idées, se nourrir, stationner	Ateliers de formation et de recherche, bibliothèque, Médiathèque, Salles de clubs, Parking, Restaurant, cafétéria
	Guides de visiteurs	Guider les visiteurs, Changer ses vêtements, se nourrir, stationner	Vestiaires, Parking, Restaurant, cafétéria
	Administrateurs	Travailler, Administrer, consommer, stationner	Bureaux, Parking, Restaurant, cafétéria
	Comptables	Calculer les frais et revenus, faire des rapports, se nourrir, Stationner	Bureaux, Parking, Restaurant, cafétéria
	Vendeurs	Acheter, vendre, stocker/Préparer, se nourrir, consommer, stationner	Boutiques, , local de stockage/préparation, Parking, Restaurant, cafétéria
	Agents de sécurité	Sécuriser le bâtiment, surveiller les vidéos des caméras de surveillance, garder les affaires oubliées, faire des rapports, se nourrir, stationner	Salle de surveillance, des coins aménagés, Parking, Restaurant, cafétéria
	Techniciens Du centre	Réparer, entretien, se nourrir, stationner	Locaux technique, Locaux rangement, Parking, Restaurant, cafétéria
Techniciens de surface	Nettoyer, Changer ses vêtements, se nourrir, prendre une douche.	Local de rangement, Vestiaires, Douches, Restaurant	

Figure 93 : Tableau des types d'usager.
Source : Etabli par l'auteur.

1.5. Identification des fonctions du projet

Comme tout projet architectural, des fonctions sont mises en avant parmi d'autres. Elles représentent les piliers principaux qui permettent au projet d'assurer sa vocation. D'autres fonctions secondaires assurent la bonne coordination entre les fonctions mères.



1.6. Organisation fonctionnel

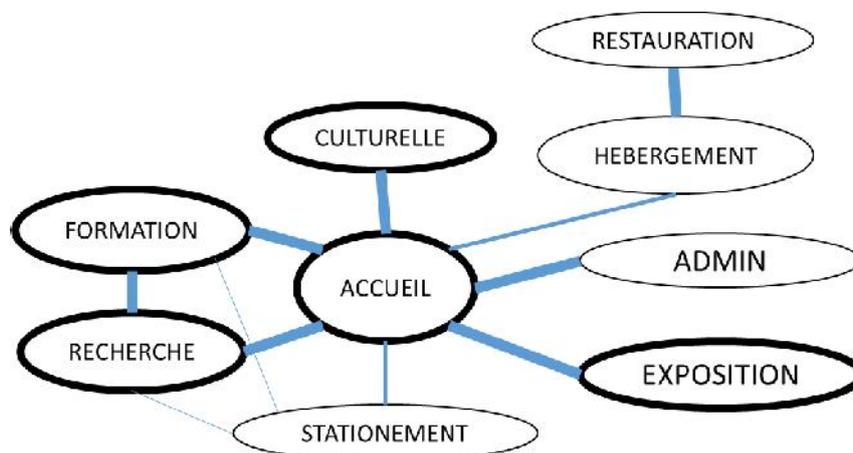


Figure 94 : Organigramme fonctionnelles
Source : Etabli par l'auteur.

1.7. Programme de base

Les entités visent à concrétiser les deux objectifs principaux de notre projet à savoir la formation et l'interprétation, ces deux fonctions vont propulser une dynamique qui réanimera le site et réhabilitera le lien entre les habitants et les savoirs faires liés à la terre. Tout en les faisant redécouvrir aux touristes. Ces richesses témoignent de la présence d'une culture constructive et met en avant le patrimoine unique de la ville de Tlemcen.

Entités	Espaces
Accueil	<ul style="list-style-type: none"> - Réception - Renseignement
Culture et découverte	<ul style="list-style-type: none"> - Salle de conférence - Exposition temporaire - Exposition permanente - Espace d'interprétation - Bibliothèque
Apprentissage et recherche	<ul style="list-style-type: none"> - Amphithéâtre - Salles de cours - Laboratoires de recherche
Formation	<ul style="list-style-type: none"> - Ateliers de formation - Ateliers de production - Ateliers d'initiation - Champ d'expérimentation
Détente et loisirs	<ul style="list-style-type: none"> - Commerce - Cafeteria - Animation
Gestion administration	<ul style="list-style-type: none"> - Direction - Admin pédagogie - Salle de réunion - Bureaux gestion, secrétariat

Figure 95 : Tableau du programme de base.
Source : établi par l'auteur.

1.8. Exigences spatiales et fonctionnelles :

1.8.1. L'accueil :

Marquant une zone tampon entre l'extérieur et l'exposition, l'accueil est le premier espace parcouru par le public. Il doit être assez spacieux pour recevoir un grand nombre de visiteurs et disposer des différents éléments nécessaires pour renseigner les visiteurs en lui fournissant les informations indispensables concernant le circuit de la visite, la description des pavillons d'exposition, les services offerts par le centre....



Figure 96 Modèles d'espaces d'accueil

a. Exigences spatiales :

Ce hall doit être transparent, flexible, ouvert, animé, vitrines, pour bien répondre aux fonctions qui lui sont attribuées. Relation avec tous les espaces. Ce hall doit contenir: perméabilité, lisibilité, démarcation.

b. Exigences technique :

- Ce service doit avoir au minimum un 01 agent pour le contrôle et la sécurité.
- Doit assurer la liaison verticale par les escaliers et les ascenseurs.
- En relation directe avec l'accueil et la banque de donnée.
- Avoir un local de préparation pour les expositions.
- Un bon éclairage général 350 lux.
- Aérer naturellement.
- Hauteur libre.
- Revêtement du sol lavable.
- Revêtement des murs doit faciliter l'accrochage des papiers.
- Espace vaste, ouvert vers l'extérieur.
- Introduire des éléments naturels et point d'eau.
- Espace qui assure la réception et l'orientation nécessaire pour que le public puisse trouver sans difficultés tous les renseignements concernant l'équipement.

1.8.2. Exposition et sensibilisation

Elles constitue l'élément clé dans un centre d'interprétation en offrant une panoplie d'outils de médiatisation pour faciliter l'appréhension des thématiques à interpréter et réussir la communication culturelle du contenu du centre. Ces pavillons sont articulés par des parcours prévus ainsi que l'éclairage requis, sans oublier les locaux de maintenance, de dépôt.



Figure 97 Modèles d'espaces d'exposition

a. Exigences spatiales :

Elles répondent à une circulation définie. Le parcours est linéaire ou circulaire selon le besoin et le type de l'exposition.

- Linéaire : respectant un schéma de circulation obligée. Ce parcours suit un schéma linéaire constitué d'une artère principale à partir de laquelle sont implantées les salles d'expositions de part et d'autre.
- Circulaire : dont l'espace central, desservant les espaces d'expositions périphériques, permet un libre itinéraire de visite.

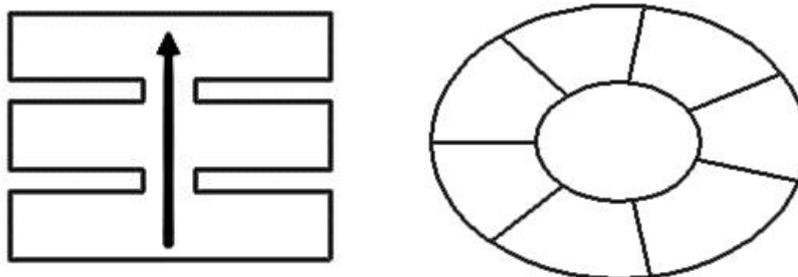


Figure 98 Schéma de circulation possible dans l'exposition

b. Exigences technique :

Ça concerne l'éclairage contrôlé, et il existe 2 types d'éclairage artificiel utilisés :

- *Eclairage en parallèle* : Dont la lumière vient de plusieurs cotés définis, ainsi que le rayonnement principal arrive au niveau de l'objet exposé
- *Eclairage orienté* : La lumière vient d'une seule source avec un rayonnement parallèle et l'apparition des ombres.



Figure 99 exemples d'éclairage dans une exposition.

1.8.3. Recherche et formation :

Ce bloc projette une vision futuriste du patrimoine et son adaptation aux exigences actuelles. Comprenant des salles de classe, des ateliers de formation aux techniques de construction en terre, un amphithéâtre et des laboratoires de recherche. Il contribue à la formation à un nouveau genre de bâtisseurs qualifiés aux techniques constructives en terre. De plus on vise la promotion des recherches scientifiques liées à la thématique du centre et l'organisation de séminaires, les stages, les débats et les échanges.



Figure 100 Espaces de formation en architecture de terre

Source : Earth-Auroville.com

a. Les exigences techniques :

- Espace de rangements ou dépôt pour les travaux finis et le matériel.
- Bon éclairage.
- Bonne aération.
- Isolation phonique

1.8.4. Champ d'expérimentation :

C'est un espace intérieur ou extérieur à ciel ouvert qui va abriter les différents chantiers d'expérimentation ou on peut aussi impliquer les visiteurs dans les approches pratiques et participatives.



Figure 101 Champ d'expérimentation GDB à gauche et Auroville à droite.
Source : Rapport des GDB Grain des bâtisseurs 2010.

a. Les exigences techniques:

- Fixe: 2-3 bacs de 70x50cm avec paille lavable.
- Des bacs de 50x50x80 pour le transport de la terre
- Chambre humide de 12-30m² avec porte étanche
- Eclairage naturel assuré par des ouvertures 1/8 de la surface total et Artificiel par un seul côté 500lux

1.8.5. L'administration :

Cette dernière assure la gestion de tous les compartiments du centre avec les bureaux et salles de réunion.

1.8.6. Hébergement

Il peut être dédié aux chercheurs, aux stagiaires, une possibilité de prendre en charge le voyage d'études des écoles d'architecture.



Figure 102 Chambre double, centre de la terre Marrakech

1.9. Les exigences dimensionnelles

On a une capacité d'accueil de 500 Place pédagogiques, et une moyenne de 200 visiteurs par jour. Ces données vont nous servir pour le dimensionnement des espaces de notre projet. Voici quelques exemples de calcul :

Fonction	Schémas	Calcul	S - T
L'accueil exposition		Nombre des usagers «500»*0.5m ² «espace occupé par personne »+la S de circulation (20%- 40%) L'exposition « 1 m ² par personne »	350 m² +500 m ²
Fonctions d'enseignement			
Les salles de classes		Place nécessaire par étudiant est de 3 m ² 15 étudiants X 3	45 m ²
Amphi-théâtre 1/3 du Nbr		Place nécessaire par étudiant dans une position confortable, 70 x 85 cm, normale 60 x 80 voire 55 x 75 cm. Par étudiant en comptant toutes les surfaces dans les grands amphithéâtres avec une marge : 0,80-0.95 m	300 m ²
Laboratoires:		Selon le neufert pour 8 p assises on a un laboratoire de 80m² soit 10m²/1p On a 16 places assises soit 16 X 10m ²	160 m ²
Fonctions culturelles			

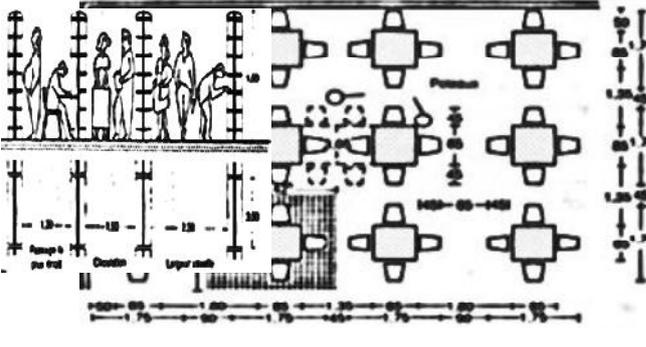
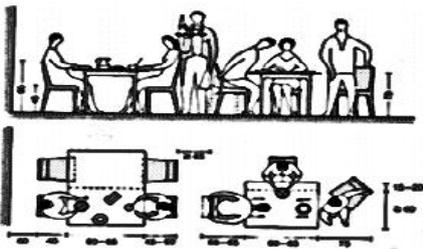
<p>Bibliothèque «150 personnes» ¼ du NBR</p>		<p>La surface de la salle de lecture est environ 3 m² par 2 personnes + 20% de circulation (c'est-à-dire 1.8 m² par personne) La surface du fond documentaire : 4 m² par une étagère x nbr + S circulation</p>	<p>270 m² 120 m²</p>
Restauration			
<p>Cantine 150 personnes ¼ du NBR</p>		<p>La S.de consommation : S1=Nbr de pers*1 m² La cuisine : S2=S1/2</p>	<p>S1=150 m² S2=75 m²</p>

Figure 103 Méthode de calcul des surfaces
Source : Neufert Ed 8, Traité par l'auteur.

1.10. Programme surfacique

FONCTION	ESPACE	SOUS ESPACE	NBR	SURFACE UNITAIRE	SURFACE TOTALE 1	SURFACE TOTALE 2	
Accueil	Hall d'accueil	Réception	01	60 m ²	320 m ²	320 m ²	
		Salle d'attente	01	25 m ²			
		Salon d'attente	01	80 m ²			
		Cafétéria	01	155 m ²			
Culture et découverte	Salle de conférence	Salle Principale 350 p	01	300 m ²	450 m ²	2290 m ²	
		Scène	01	30 m ²			
		Arrière scène	01	40 m ²			
		Salon d'honneur	01	65 m ²			
		Régis	01	15 m ²			
	Musé de la terre	Hall Principal	01	100 m ²	300 m ²		
		Grande salle d'exposition	01	200 m ²			
	Interprétation	Grande salle		01	365 m ²		420 m ²
			Loge matériel	01	35 m ²		
			Bureau animateur	01	20 m ²		
	Conservatoire échantillons des sols	Présentoir		01	130 m ²		200 m ²
			Comptoir	01	10 m ²		
			Stockage	01	60 m ²		
	Exposition temporaire	Salle couverte sous coupole		01	110 m ²		180 m ²
			Annexe	01	70 m ²		
	Bibliothèque	Salle de lecture		01	260 m ²		550 m ²
			Salle de prêt	01	185 m ²		
			Consultation	01	20 m ²		
			Salle de projection	01	85 m ²		
	Salle de presse	/	01	65 m ²	65 m ²		
Administration	Bureau programmeur	01	15 m ²	75 m ²			

		Bureau gestion	01	10 m ²		
		Secrétariat	01	10 m ²		
		Salle de réunion	01	25 m ²		
		Attente	01	15 m ²		
	Sanitaire	Sanitaire Homme	01	25 m ²	50 m ²	
		Sanitaire Femme	01	25 m ²		
Apprentissage et recherche	Amphi 170 p	/	01	275 m ²	275 m ²	1520 m ²
	Salle de cours	/	06	60 m ²	360 m ²	
	Laboratoire Etd	/	02	190 m ²	380 m ²	
	Laboratoire ESS	/	01	295 m ²	295 m ²	
	Salle de travail	/	02	40 m ²	80 m ²	
	Bureau	Espace tirage	01	40 m ²	60 m ²	
		Espace stockage	01	20 m ²		
	Sanitaire	Sanitaire Homme	01	35 m ²	70 m ²	
Sanitaire Femme		01	35 m ²			
Formation	Ateliers	Atelier de production	01	180	600 m ²	1525 m ²
		Atelier d'initiation	02	60 m ²		
		Atelier de formation	05	60 m ²		
	Grand atelier	Espace expérimentation	01	860 m ²	1105 m ²	
		Salle de séminaire	01	115 m ²		
		Stockage matériel	02	120 m ²		
	Sanitaire	Sanitaire Homme	01	15 m ²	30 m ²	
		Sanitaire Femme	01	15 m ²		
	Vestiaire	Casier habillement	02	20 m ²	90 m ²	
		Douches	02	25 m ²		
Administration	Pédagogie	Salle de réunion	01	70 m ²	155 m ²	280 m ²
		Bureau de gestion	01	55 m ²		
		Secrétariat et archives	01	30 m ²		
	Direction	Bureau directeur	01	45 m ²	125 m ²	
		Bureau comptabilité	01	40 m ²		
		Sanitaire Homme	01	20 m ²		
	Sanitaire Femme	01	20 m ²			
Hébergement	Internat	Chambre double	75	16 m ²	1470 m ²	2195 m ²
		Chambre simple	10	12 m ²		
		Sanitaire Homme	01	35 m ²		
		Sanitaire Femme	01	35 m ²		
		Douche Homme	01	40 m ²		
		Douche Femme	01	40 m ²		
	Logement de fonction	Appartement F3 A	03	75 m ²	450 m ²	
		Appartement F3 B	03	75 m ²		
	Restauration	Salle de consommation	01	200 m ²	275 m ²	
		Cuisine	01	50 m ²		
		Stockage	01	25 m ²		
Surface totale					8130 m²	
Surface totale + circulation 30%					2439 m²	10569 m²
Espaces de stationnement					140	1750 m²
					places	
Espace extérieurs (espaces verts, placette, champ d'expérimentation, théâtre en plein aire, circulation promenade)						39081 m²

Figure 104 : Tableau programme surfacique.

Source : Etabli par l'auteur.

2. Projection architecturale

2.1. Analyse du site de Mansourah

2.1.1. Présentation du site

Le site historique de Mansourah est situé à l'ouest de Tlemcen, et appartient à la commune de Mansourah. Il est mitoyen au sud avec le quartier de Riad Boudghène et le plateau de Lâlla Satti (1.200 m d'altitude), et à l'est avec le quartier de Makhokh. A l'Ouest et au Nord les remparts sont attenants à la voie ferrée, aux terrains agricoles et à quelques constructions illicites éparses⁵⁵.

IL bénéficie d'une situation privilégiée par le passage de la RN22 et RN7.

La délimitation choisie pour le site est celle en référence à la délimitation du plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur de secteur archéologique – MANSOURAH PPMVSA, (ANAT 2008). Ce plan s'étale sur 260ha et possède des dispositions claires et l'intervention sur ce site doit répondre à ses exigences.

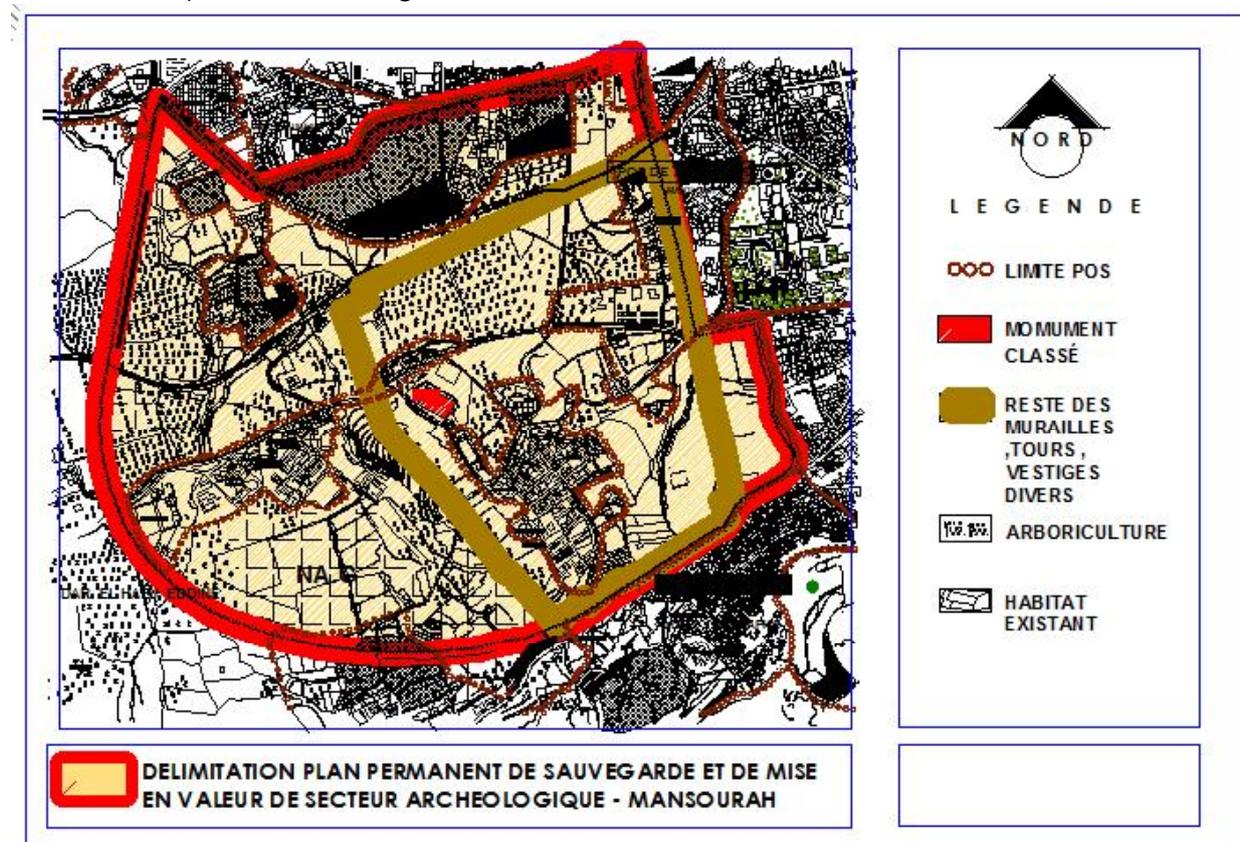


Figure 105 Carte de délimitation du PPMVSA Mansourah

Source : ANAT, traité par l'auteur

2.1.2. Vestiges historique (en terre) du site :

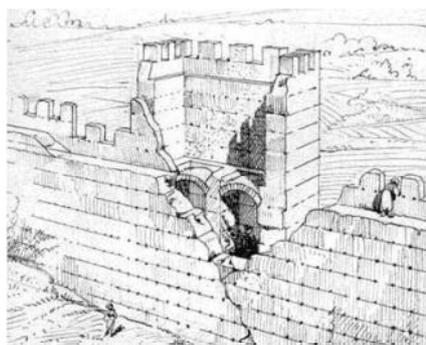
Tlemcen fut la capitale du Maghreb central au xie siècle, puis du xiiie au xvie siècles. C'était une place stratégique au départ de la Route de l'Or vers le Soudan. convoitée par ses voisins mérinides de Fès, Tlemcen eut à résister plusieurs fois à leurs assauts. Et, sous le règne du zianide Abou Saïd Othman, elle eut à se défendre contre l'un des sièges les plus longs de son histoire qui dura huit années, où) fit ériger la ville de Mansourah (la Victorieuse) au voisinage de la cité assiégée. C'est l'assassinat du sultan mérinide par l'un de ses esclaves qui mit fin au

⁵⁵ GHOMARI Fouad, La ville de Mansourah, un site archéologique classé.

siège, avec pour conséquence le retour des mérinides à Fès et l'abandon de Mansourah dont il reste quelques vestiges⁵⁶.

a. Les remparts

L'enceinte de Mansourah est en pisé. Elle avait 1.50m d'épaisseur à la base et se rétrécissait au sommet. Leur hauteur moyenne actuelle est de 7 à 11 m. Comme celle de la médina de Tlemcen, l'enceinte de Mansourah était flanquée de tours au nombre d'environ quatre-vingts, ayant entre elles des distances variables⁵⁷.



Voûtes en berceau supporte
le plancher en bois

Figure 106 Rampart de Mansourah
Source : Archi-mag.com

b. La mosquée

La mosquée est un plan rectangulaire dont il nous reste que les murs, le porche, une partie du minaret et du mihrab. Le corps de la tour principale du minaret est réalisé en maçonnerie de pierre taillée de grès rose et la structure des voûtes supportant les rampes des escaliers est en brique de terre cuite hourdée d'un liant. Il s'élève à 38m de hauteur.

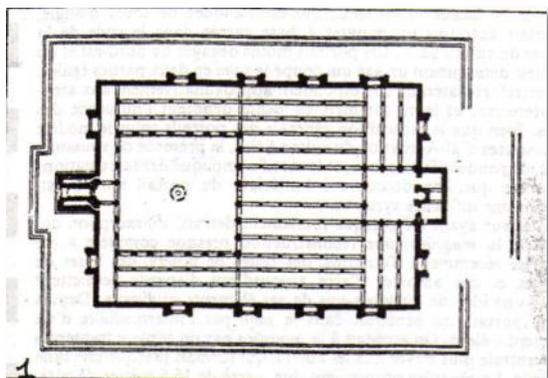


Figure 108 Plan Initial de la Mosquée de Mansourah
Source : Archi-mag.com



Figure 107 Minaret de la mosquée de Mansourah
Source : VitamineDZ.com

⁵⁶ Algérie-dz.com

⁵⁷ GHOMARI Fouad, La ville de Mansourah, un site archéologique classé.

c. Le palais

Le palais de la victoire s'élevait à l'Est du village actuel d'où l'on jouit d'un point de vue magnifique. L'emplacement de ce palais est encore marqué aujourd'hui par des murailles ruinées.

2.1.3. Etat de fait du site :

Une lecture typo morphologique et fonctionnelle nous permettra de mieux appréhender les caractéristiques et les potentialités de notre site, constituant ainsi une base fondamentale à la genèse des premiers traits de notre esquisse.

Etat du bâti et du non bâti :

L'état du bâti est en général bon mais on retrouve quelques équipements qui présentent un degré de vétusté constater par notre enquête sur terrain tel que la présence des fissures apparent sur les murs et d'autres seulement réhabilités mais ils présentent eux aussi un degré de vétusté.

Etat des hauteurs :

Les hauteurs des constructions du site varient entre R.D.C et R+2 et la hauteur du minaret de la mosquée de Mansourah et de 38m.

Eléments de repère :

Le minaret de la mosquée de Mansourah, club de tennis, la ligne du chemin de fer, le zoo, CFPA de Mansourah, RN 7 et RN 22.

Le cachet architectural :

On retrouve à plus de 70% un cachet typiquement colonial car l'îlot a été construit durant la période coloniale.

Infrastructure routière :

La liaison des espaces est assurée par deux axes primaires la RN22, et la RN7 et par des axes secondaires qui permettent une bonne liaison avec le reste de l'ensemble urbain Tlemcen- Mansourah. A l'intérieur du site historique, on trouve le village colonial qui s'organise le long de la RN22 suivant un plan en damier, composé principalement d'habitat individuel, l'extension de ce village est limitée à son périmètre urbain actuel en raison de sa situation au cœur du centre historique.

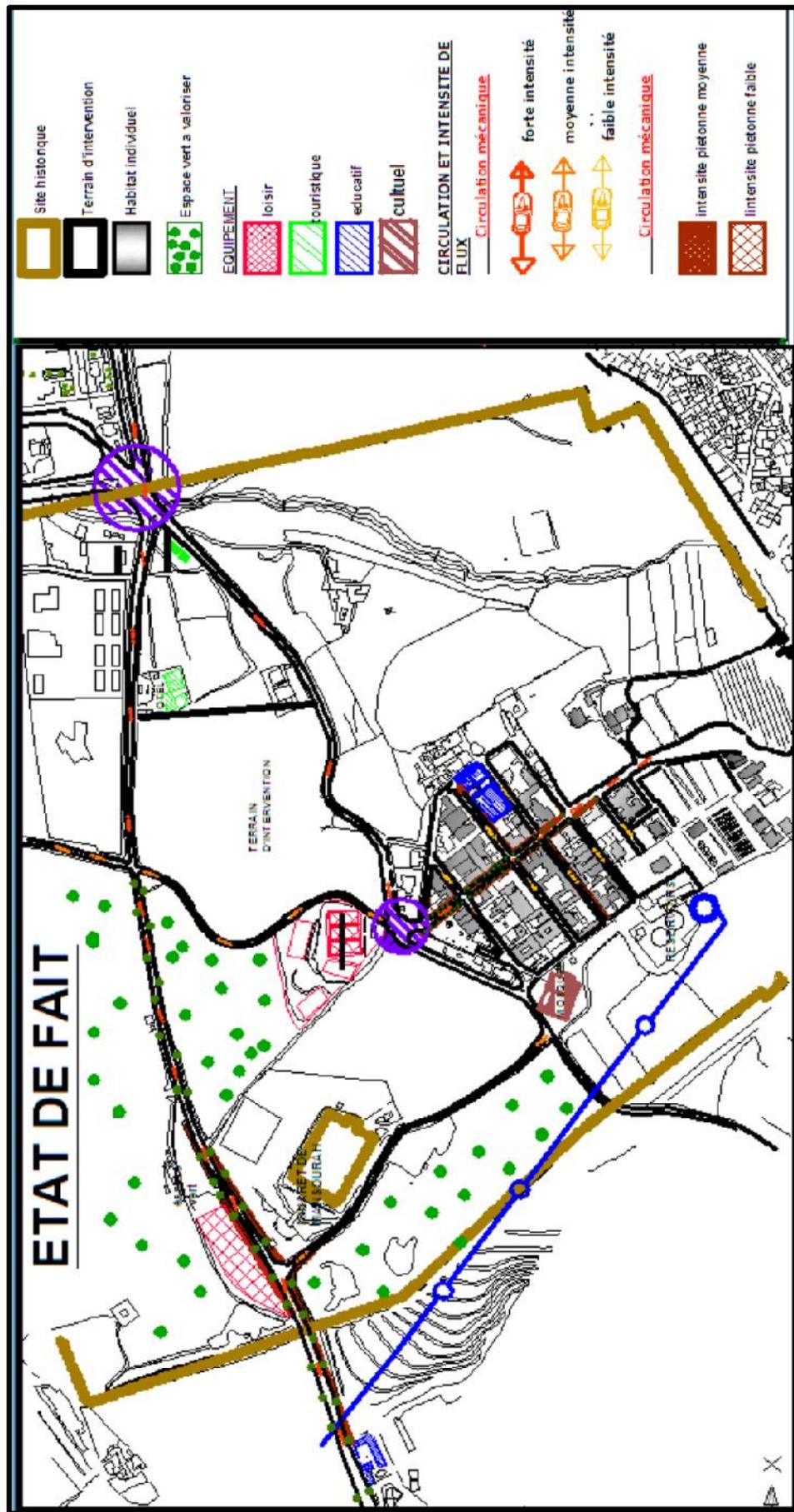
Circulation piétonne :

Après avoir fait un comptage dans une heure de pointe on a constaté que la RN 7 et la RN 22 présente un faible flux piéton.

Fonctions urbaines

- Educatif et formation « l'école primaire du village de Mansourah » + CFPA
- Cultuel « mosquée »
- Socio -culturel « fondation Benkalfat, salle des fêtes Bouali »
- Loisir « le zoo, club de tennis »
- Touristique « motel »
- Commercial « intégré dans l'habitat collectif au niveau du RDC

La carte suivante synthétisera toute ces données :



2.1.4. Contraintes et servitudes

Au vu de leur profondeur historique, les Monuments et Sites archéologiques et historiques témoignent, au fil de l'histoire, du rapport de l'algérien avec son environnement naturel et culturel. Ils ne sauraient être réduits à une simple préexistence n'intéressant que la curiosité du visiteur. L'intervention aux abords de monuments historiques répond à des exigences strictes, la plus importante est celle du champ de visibilité (98-04 Art 17).

Le champ de visibilité dont la distance est fixée à un **minimum de deux cents (200) mètres** peut être étendu afin d'éviter notamment la destruction des perspectives monumentales comprises dans cette zone; son extension est laissée à l'appréciation du ministre chargé de la culture sur proposition de la commission nationale des biens culturels.

Figure 109 Extrait lois 98-04 article 17

Source : JORADP.dz

Afin de répondre à cette exigence nous avons établi une carte de servitudes, qui nous a délimité la zone d'intervention.

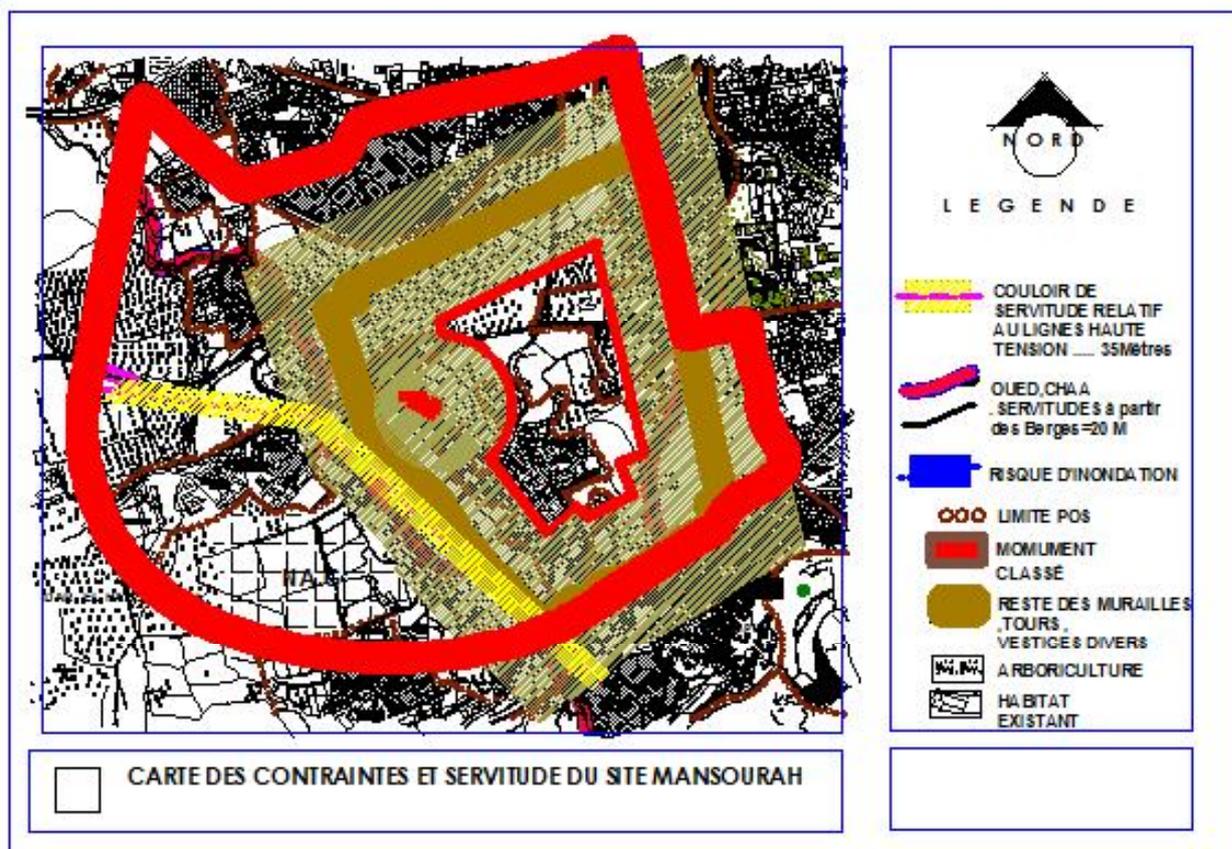


Figure 110: Carte des contraintes et servitudes du site Mansourah.

Source : Etabli par l'auteur.

2.1.5. Présentation terrain d'intervention

Le terrain est au cœur du site archéologique de Mansourah, à l'Est de la mosquée de Mansourah, il est de nature privé, et il est limité par :

- Au Nord la RN07 et des terrains agricoles.
- Au Sud la RN 22 et le village Colonial de Mansourah.
- A l'Ouest le club de tennis
- A l'Est un motel à l'abandon.

La délimitation est selon les voies existantes ainsi que la limite du Pos.

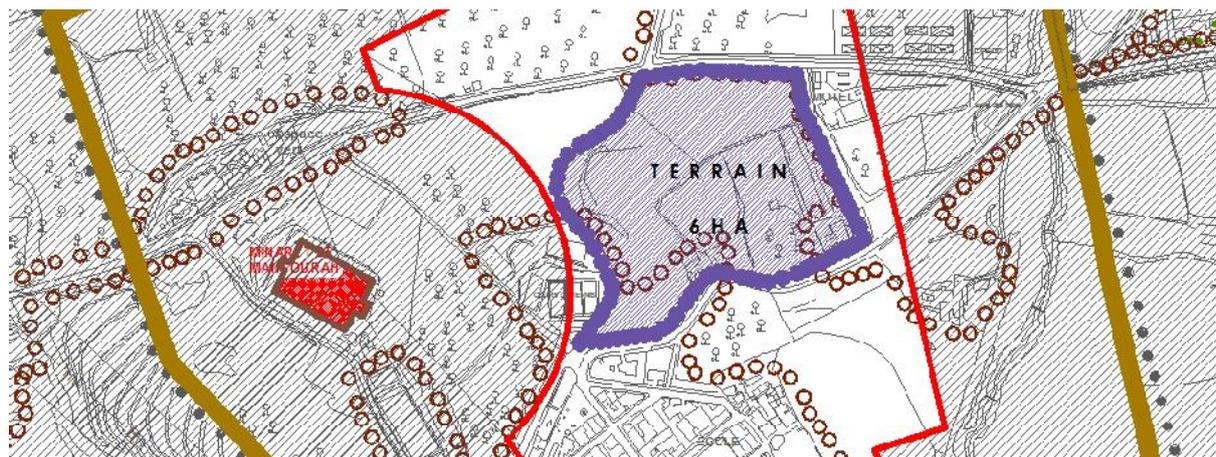


Figure 111 : Délimitation du terrain d'intervention.
Source : Etablis par l'auteur.

2.1.6. Accessibilité et flux de circulation

L'accessibilité se fait par la RN 07 qui est un axe principale reliant le centre-ville de Tlemcen à la proche compagne de Mansourah et son site historico-touristique caractérisée par un flux fort. Le second axe est celui de la RN22 au Sud qui se prolonge au village colonial. Enfin une voie tertiaire rejoint les deux axes principaux à l'ouest de notre terrain.



Figure 112: Carte d'accessibilité au terrain.
Source: Etabli par l'auteur.

2.1.7. Topographie et dimensions du terrain

Le terrain a une forme irrégulière, composé de deux arrêtes rectilignes et deux autres à milieu courbé. Il est caractérisé par deux pentes : dénivelé de 15m du sud au nord, et 5m de l'est à l'ouest.

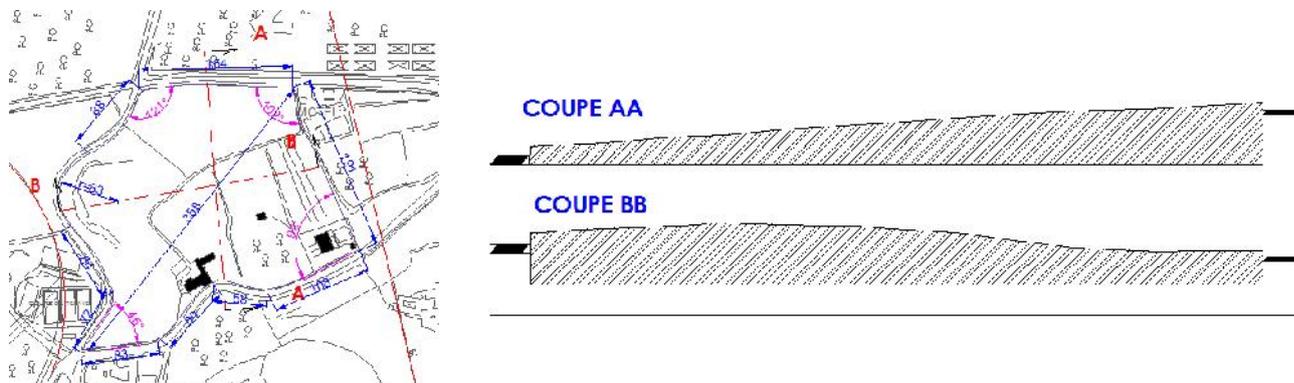


Figure 113 : Carte de morphologie et dimension du terrain.

Source : Etablie par l'auteur.

Synthèse

Cette analyse a mis en évidence les potentialités majeures de notre site. Aussi des enjeux à l'échelle urbaine et locale sont à prendre en considération pour la réussite du projet.

Parmi les enjeux du site :

- Problème d'intégration au reste de la ville dont une séparation nette entre le site historique et le reste de la ville.
- Transformation d'usage mal adaptée au caractère historique du site.
- Manque d'équipements structurant qui pourraient refléter la valeur historique et culturelle du site.

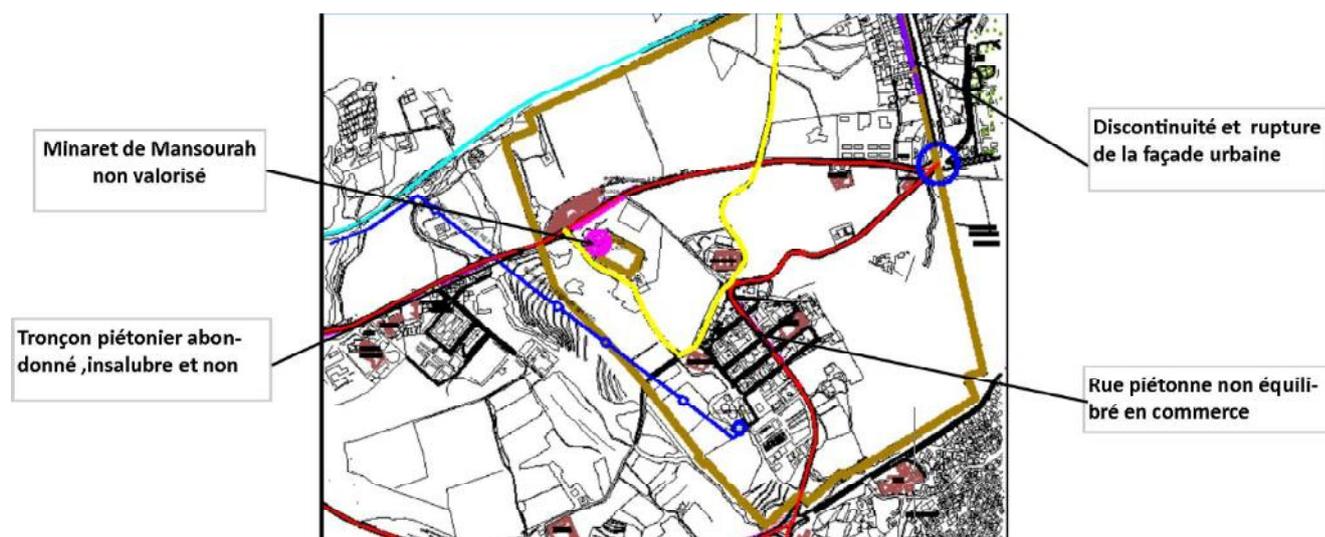


Figure 114 : Carte de synthèse des problématiques du site.

Source : Etabli par l'auteur.

2.2. Genèse du projet :

« Un projet est un espace vivant tel qu'un corps humain ce qui induit que les espaces qui le constituent doivent être complémentaires et fonctionnels tel que les organes vitaux »

- Louis Kahn

La genèse du projet repose sur 3 grandes phases ; le principe d'implantation, l'organisation fonctionnelle et le principe de composition.

2.2.1. Principe d'implantation :

a. La visibilité du monument :

Le champ visuel vers le monument de Mansourah est la composante majeure de notre projet, il définit notre axe principal de composition ainsi qu'il délimite l'air idéale pour la construction. A l'ouest du terrain les arbres du club de tennis forment un écran qui masque la visibilité vers le monument. On exploitera cette partie dans l'implantation de notre bâti.

- La plus grande aire sera réservée à notre centre d'interprétation et de formation en architecture de terre (l'idée d'un projet non éparpillé)
- La seconde aire, est réservée au bâtiment annexe du centre (l'internat)



Figure 115 : Schéma de la visibilité du monument.



Figure 116 : Perspective de la visibilité du monument.

Source : Etabli par l'auteur.

b. Accessibilité et parcours principal

On a projeté une voie de desserte qui relie la RN7 à la RN22 délimitant notre îlot et permet l'accès mécanique et piéton. Du milieu de cette voie de desserte débute un axe qui définit le parcours principal dans notre projet.



Figure 117 : Schéma de l'accessibilité et parcours principal.



Figure 118 : Perspectives de l'accessibilité et parcours principal.

Source : Établi par l'auteur.

c. Axes structurants :

Pour le CIFAT, on a deux axes principaux qui définissent le bâti, la matérialisation accentue la limite du champ visuel. Un troisième axe relie les deux premiers tout en s'ouvrant sur le monument historique. C'est la matérialisation de l'articulation principale du CIFAT. Les trois intersections qui résultent de cette composition nécessiteront des traitements particuliers en termes de fonction et de volume.

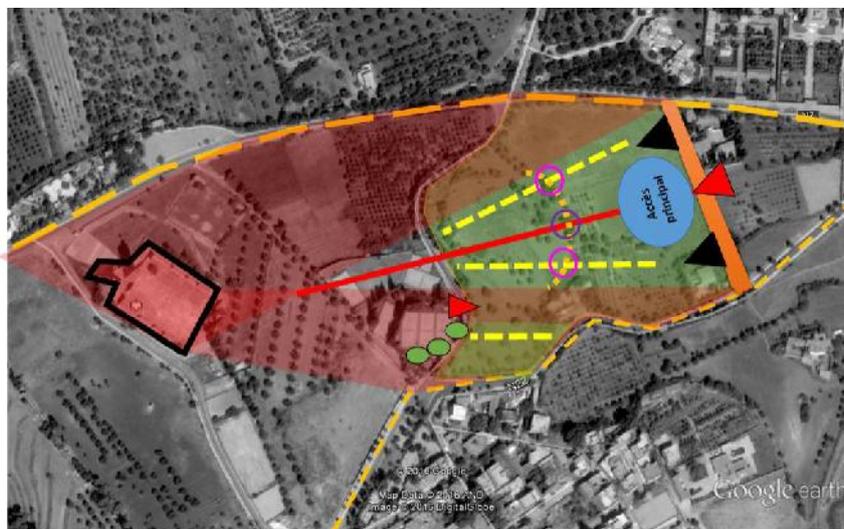


Figure 119 : Axes structurants.
Source : Établi par l'auteur.

2.2.2. Principe d'organisation fonctionnelle :

a. Zoning des entités de base

Le premier trait fut de projeter nos 2 entités : l'entité culturelle et celle de la formation, articulés par une entité intermédiaire entre les deux.

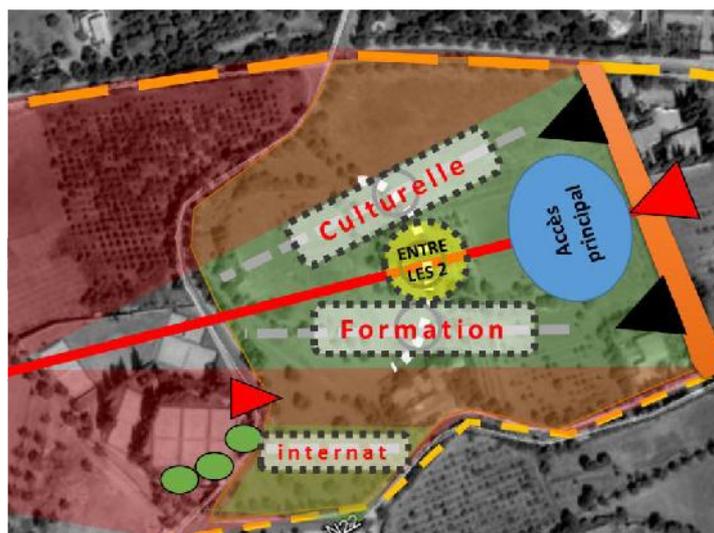


Figure 120 : zoning des entités de base.
Source : Établi par l'auteur.

- **Entité culturelle** : zone animée qui contient la fonction culturelle et de découverte en relation avec la ville, en premier plan de l'axe principal menant au monument historique.
- **Entité formation** : zone en relation avec l'axe secondaire, légèrement plus calme que le premier, retiré et idéale pour les activités d'apprentissage et de formation.
- **Articulation principale** : le parcours principal de notre projet, il recouvre les activités intermédiaires entre les deux entités : accueil, les expositions temporaires et les lieux de rencontre et de cohésions sociales.
- **Internat** : la fonction résidentielle est indépendante du centre et retiré dans la zone calme du terrain, dans le pôle en relation avec le village de Mansourah (partie d'habitat)
- **Activité extérieur lié au centre** : cette fonction représente le prolongement des activités du centre. Elle se trouve dans l'axe du parcours initial.

b. Organisation fonctionnelle et parcours principaux

L'intersection des deux parcours principaux sont des lieux de rencontre, d'échange et de détente, le prolongement du parcours courbé est un lieu de cohésion sociale et de transmission : représentés par une salle de presse dans la partie culturelle et un amphithéâtre dans la partie formation.

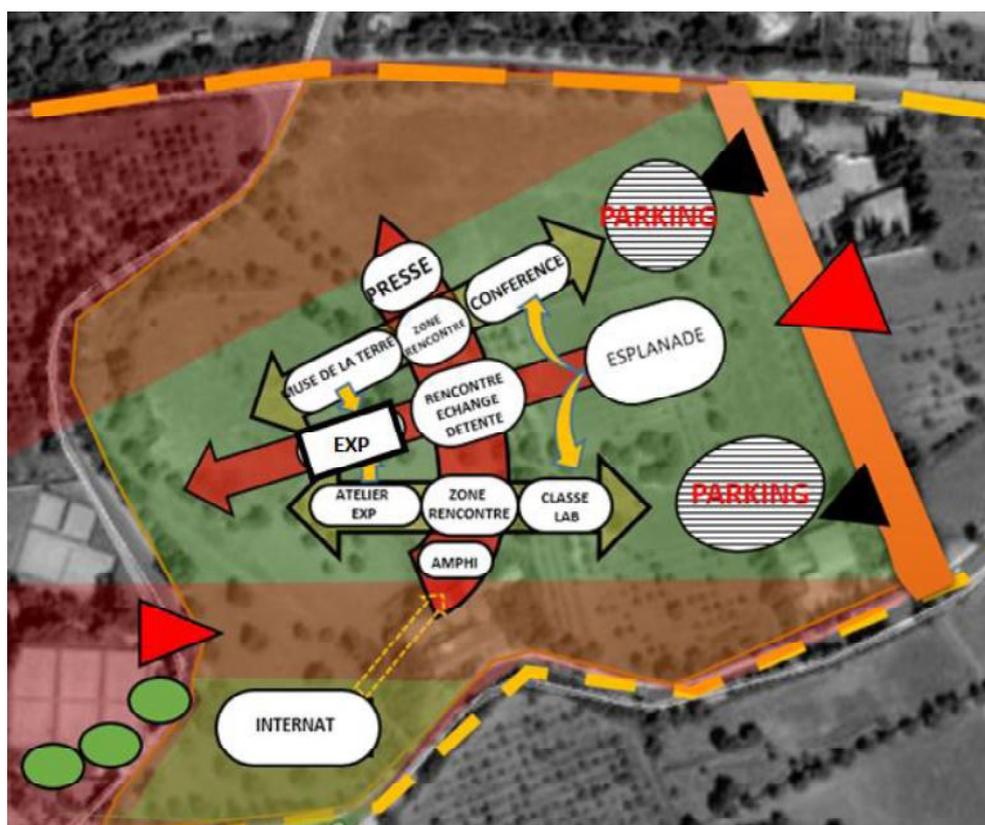


Figure 121 : Organigramme fonctionnelle et parcours principaux
Source : Etabli par l'auteur.

Une alternative au parcours principal mène vers la salle de conférence ou le bloc de formation, créant ainsi respectivement un accès VIP et un accès étudiant. Afin de privilégier la salle de conférence et le bloc de formation par ces accès secondaires on les a implantés en amont par rapport à l'accès principal. Les activités liées à l'exposition du musée et les travaux d'ateliers se prolongent à l'extérieur dans le champ d'expérimentation, d'où leur implantation privilégiée près de celui-ci.

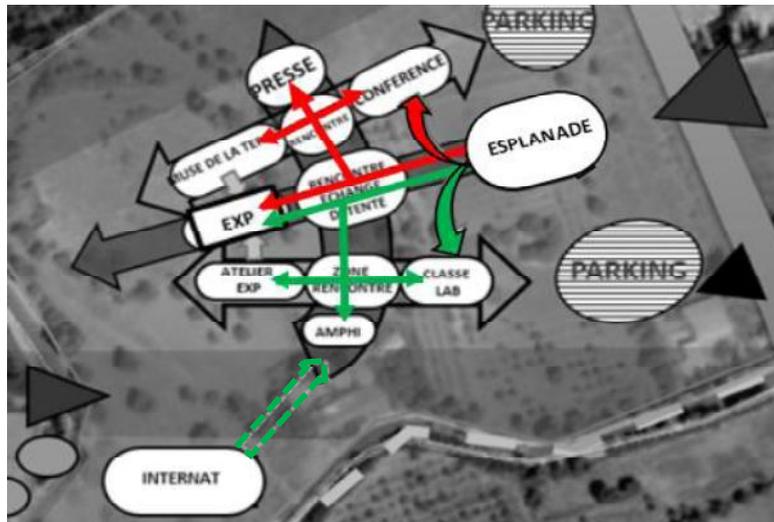


Figure 122 : Schéma des différents parcours du projet.
Source : Etabli par l'auteur.

2.2.3. Principe de composition :

a. Implantation des masses

Les deux champs visuels délimitent notre forme du bâti, on a projeté deux masses parallèlement aux limites de la visibilité vers le monument. Ils accentuent notre principe de préserver cette visibilité tout en gardant un léger recul pour permettre le jeu de composition par la suite.



Figure 123 : Schéma implantation des masses.
Source : Etabli par l'auteur.

Les deux parallélépipèdes sont à différents niveaux, la création de plateformes est indispensable sur ce terrain. Notre principe reste de ne pas agresser le terrain et d'épouser sa morphologie.

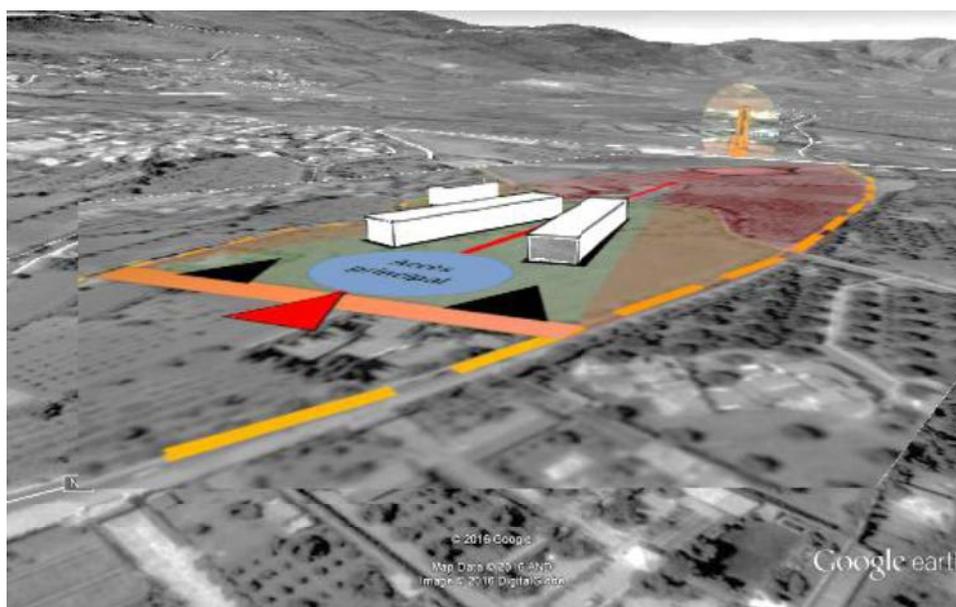


Figure 124 : Perspective implantation des masses.
Source : Etabli par l'auteur.

b. L'ouverture vers le site

Un troisième volume relie les deux principaux, rattrape la différence de hauteurs et s'ouvre sur le site. Il est dans l'axe du parcours principal, on s'est adapté à notre fonctionnement, l'idée du parcours subsistera et pénétrera même notre bâti.



Figure 125 : Schéma de l'ouverture vers le site .
Source : Etabli par l'auteur.

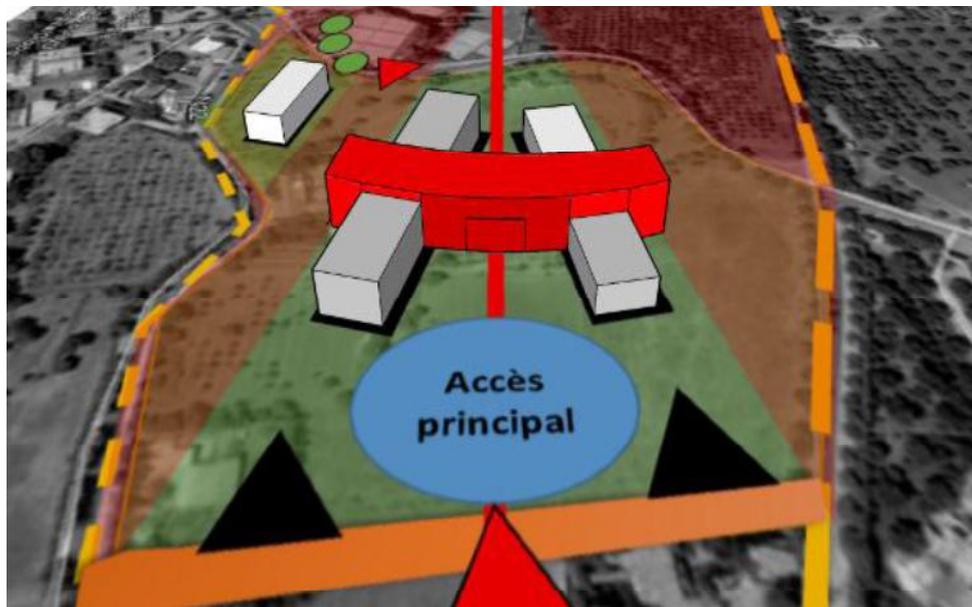


Figure 126 : Perspective de l'ouverture vers le site.
Source : Etabli par l'auteur.

c. Les articulations :

L'intersection des 2 volumes avec le croissant généré une composition qui se doit d'être particulière. On ne voit qu'une coupole comme réponse de composition ainsi qu'une première trace de notre thématique (la promotion de la construction en terre)

La partie du croissant qui est sur l'axe du parcours principal se doit d'avoir une composition privilégiée, une grande coupole marquera cette articulation et sera une alternation entre le dedans et le dehors dans notre projet.



Figure 127 : Schéma des articulations
Source : Etabli par l'auteur.

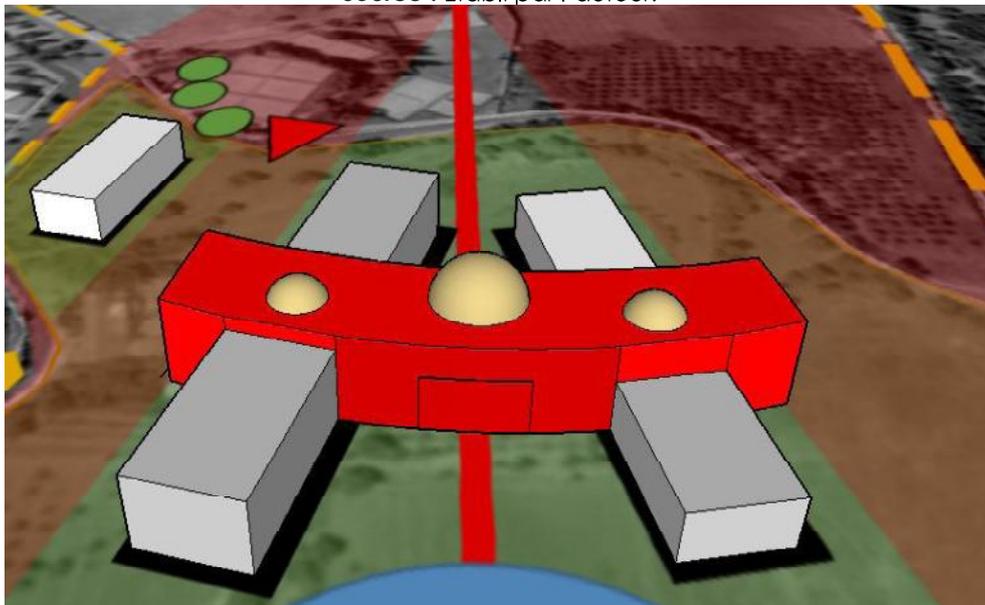


Figure 128 : Perspective des articulations
Source : Etabli par l'auteur.

d. L'approche modulaire :

Dans le but de promouvoir l'architecture de terre, et notamment ses systèmes de couvertures (les voutes), on a proposé une approche modulaire (6m= portée choisie pour les voutes en BTC). Ces voutes couvrent les salles de classes, les laboratoires ainsi que les petits ateliers.

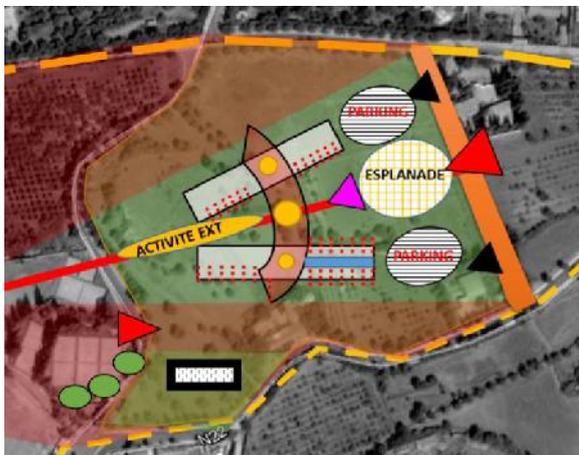


Figure 130 : Schéma de la disposition des modules.

Source : Etabli par l'auteur.

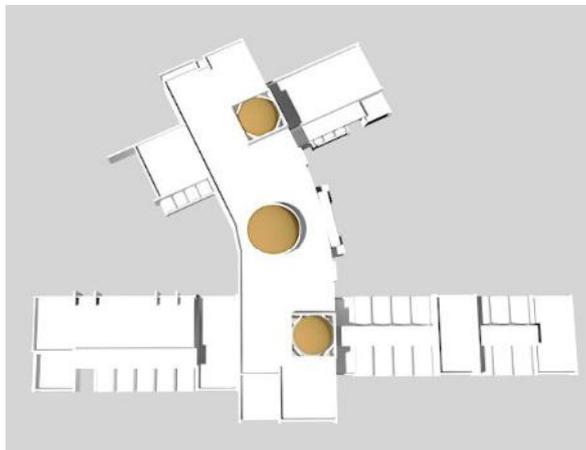


Figure 129 : 'interprétation des modules en voutes
Source : Etabli par l'auteur.

Une recherche du rythme dans la disposition des voutes, et d'un équilibre volumétrique. Des voutes ressortent des grandes masses de notre projet et la monotonie de répétition est cassée par d'autres masses rectilignes. On voit déjà apparaître un volume en guise de porche d'entrée et un avant-gout d'un monumentalisme recherché.

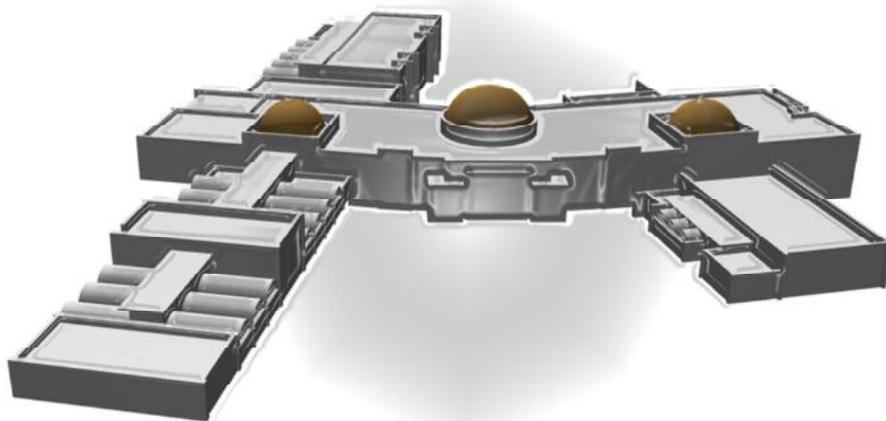


Figure 131 Volume final du CIFAT
Source : Etabli par l'auteur.

2.3. Descriptif des plans :

Les plans de notre CIFAT sont l'aboutissement de ce qu'on a étalé précédemment, la circulation principale est restée le long du croissant qui s'ouvre sur le site, un parcours traverse le centre allant de l'esplanade à l'air d'expérimentation. La création de trois plateformes au RDC comme réponse aux contraintes du site est rattrapée par le volume supérieur.

Les activités d'animation et de formations sont au RDC, les activités plus calmes comme la bibliothèque et l'administration sont à l'étage. La circulation à l'étage suit le même parcours via un corridor donnant sur des patios et vides sur hall. Enfin l'aspect monumental est renforcé par deux grands escaliers symétriques.



CENTRE D'INTERPRETATION ET DE FORMATION EN ARCHITECTURE DE TERRE



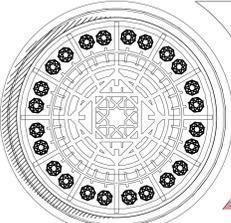
Présenté par : **BELARBI HICHEM**

Encadré par : **Mr BABA AHMED HADJ AHMED**
Mr MAHMOUDI .I

Date de la soutenance : **12/06/2016**

Master en Architecture **2015/2016**

Echelle : _____ Heure de passage : _____

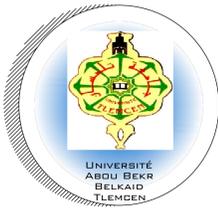


PLAN DE MASSE

1/500

SALLE DES FETES

EPEC



CENTRE D'INTERPRETATION ET DE FORMATION EN ARCHITECTURE DE TERRE



Présenté par : **BELARBI HICHEM**

Encadré par : **Mr BABA AHMED HADJ AHMED**
Mr MAHMOUDI .I

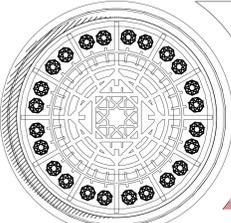
Date de la soutenance : **12/06/2016**

Master en Architecture **2015/2016**

Echelle : _____ Heure de passage : _____

PLAN D'ASSEMBLAGE

1/500





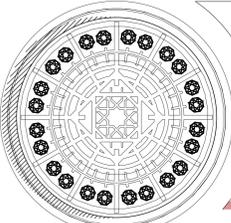
CENTRE D'INTERPRETATION ET DE FORMATION EN ARCHITECTURE DE TERRE



PLAN RDC
1/200

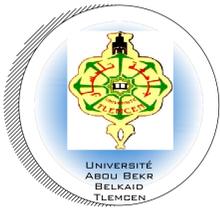
Présenté par **BEARBI HICHEM**
Encadré par **Mr BABA AHMED HADJ AHMED**
Mr MAHMOUDI I

Date de la soutenance : **12/06/2016**
Master en Architecture
2015/2016
Echelle : Heure de passage :

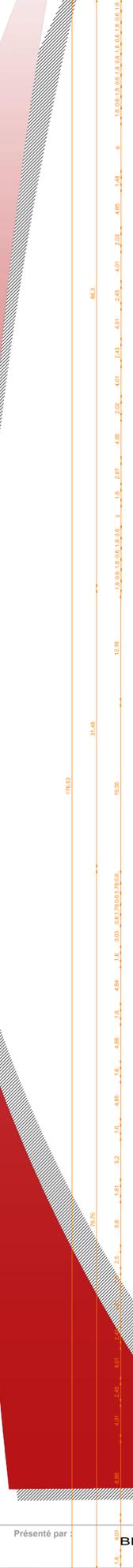
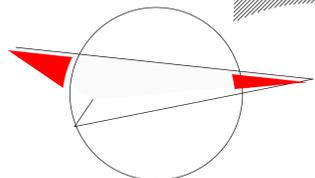
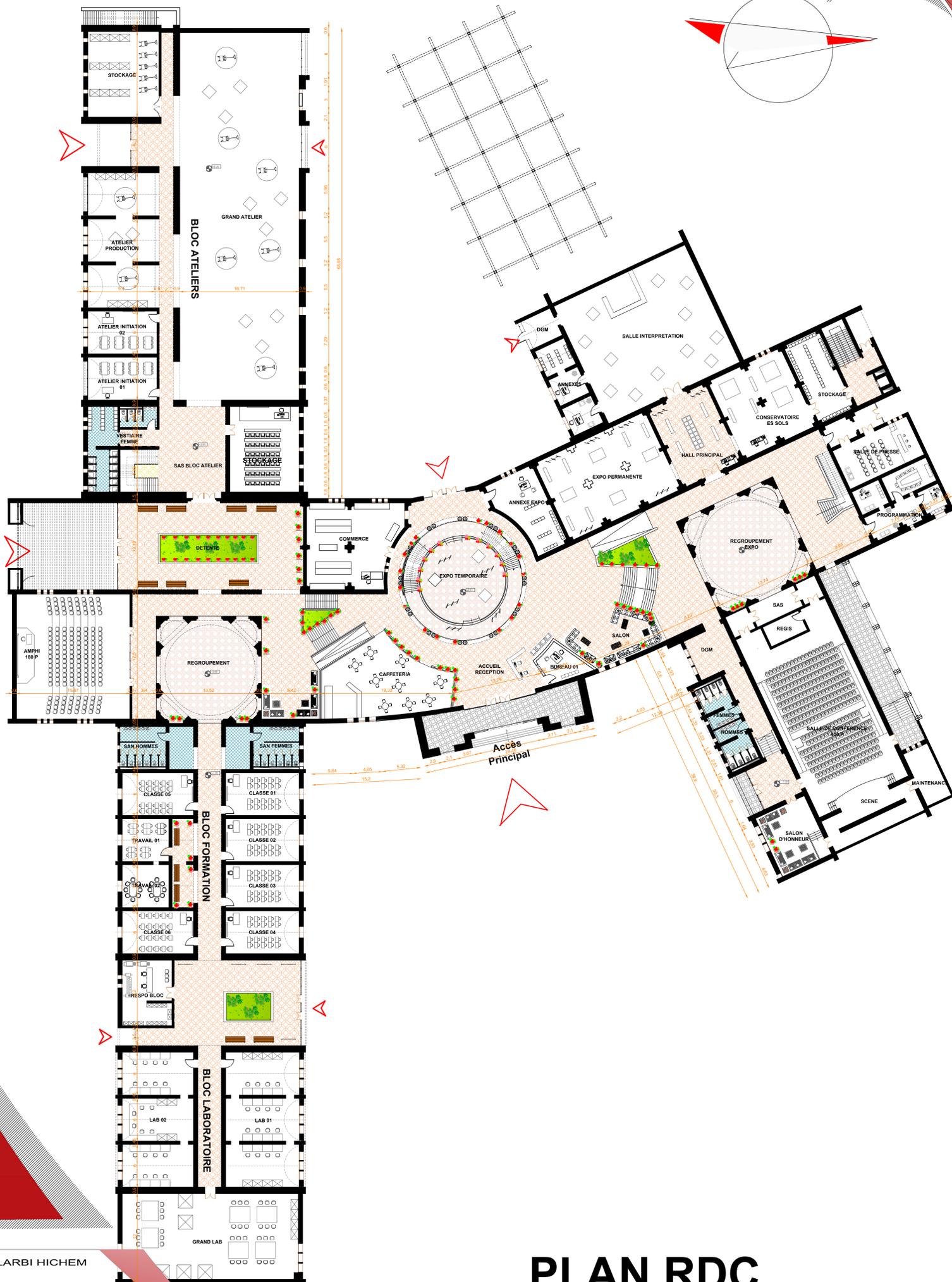


REALISE PAR UN PRODUIT AUTODESK A BUT EDUCATIF

REALISE PAR UN PRODUIT AUTODESK A BUT EDUCATIF



CENTRE D'INTERPRETATION ET DE FORMATION EN ARCHITECTURE DE TERRE



Présenté par : **BELARBI HICHEM**

Encadré par : **Mr BABA AHMED HADJ AHMED**
Mr MAHMOUDI .I

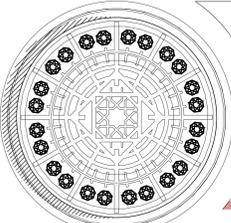
Date de la soutenance : **12/06/2016**

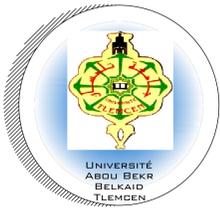
Master en
Architecture **2015/2016**

Echelle : _____ Heure de passage : _____

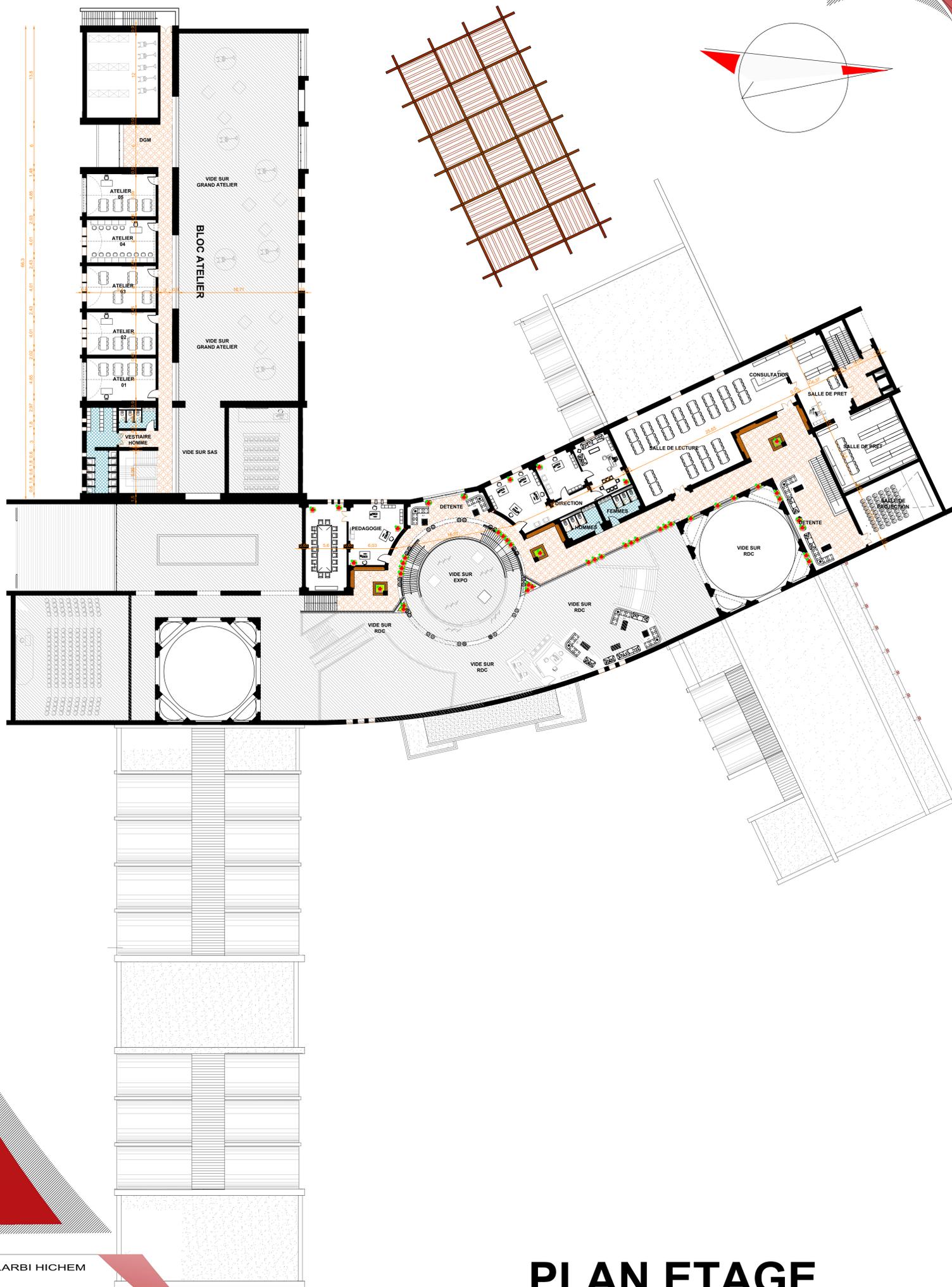
PLAN RDC

1/200





CENTRE D'INTERPRETATION ET DE FORMATION EN ARCHITECTURE DE TERRE



Présenté par : **BELARBI HICHEM**

Encadré par : **Mr BABA AHMED HADJ AHMED**
Mr MAHMOUDI .I

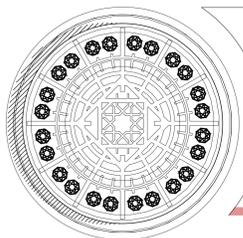
Date de la soutenance : **12/06/2016**

Master en
Architecture **2015/2016**

Echelle : _____ Heure de passage : _____

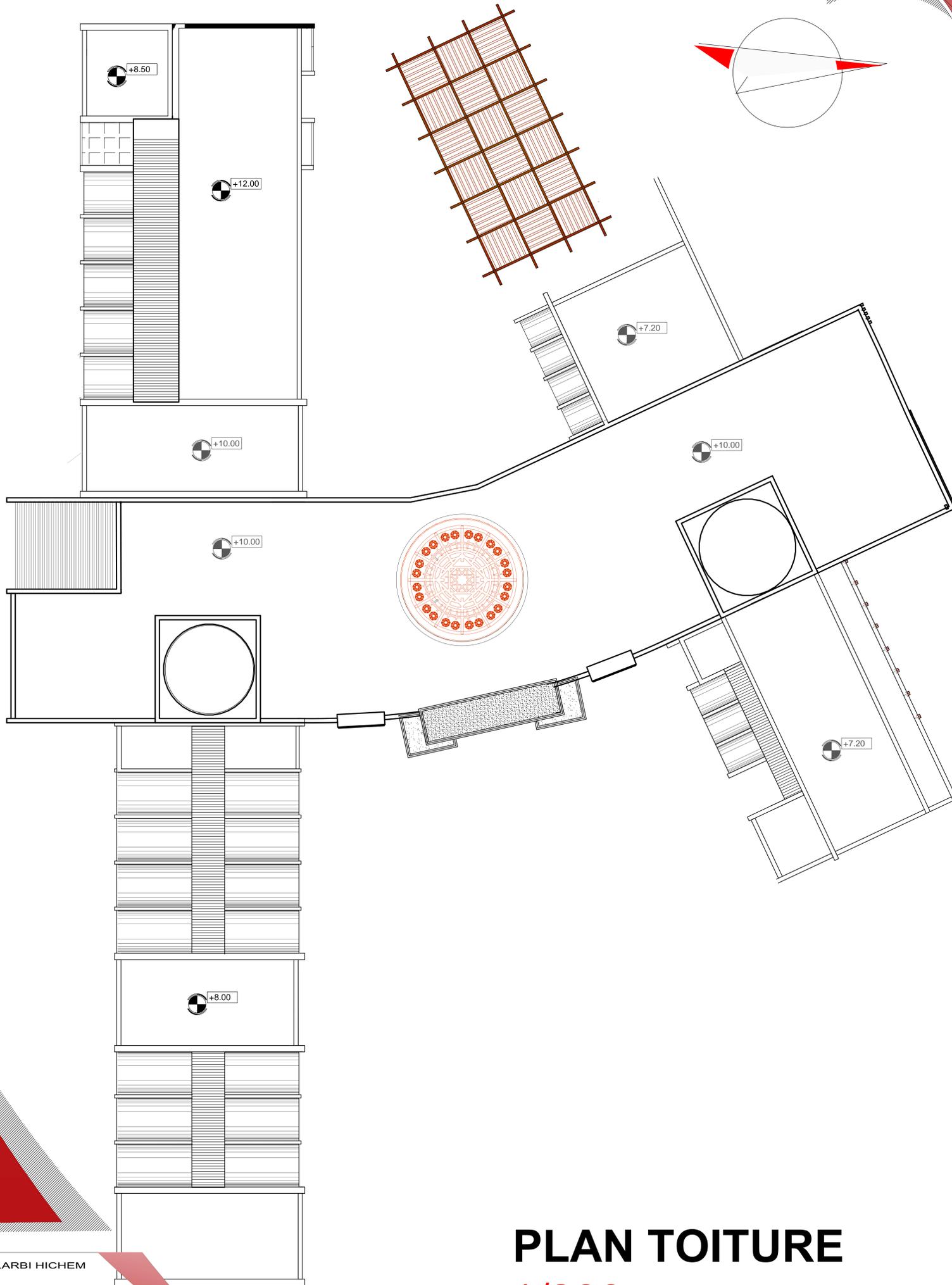
PLAN ETAGE

1/200





CENTRE D'INTERPRETATION ET DE FORMATION EN ARCHITECTURE DE TERRE



PLAN TOITURE 1/200

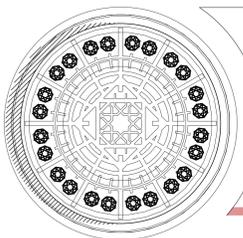
Présenté par : **BELARBI HICHEM**

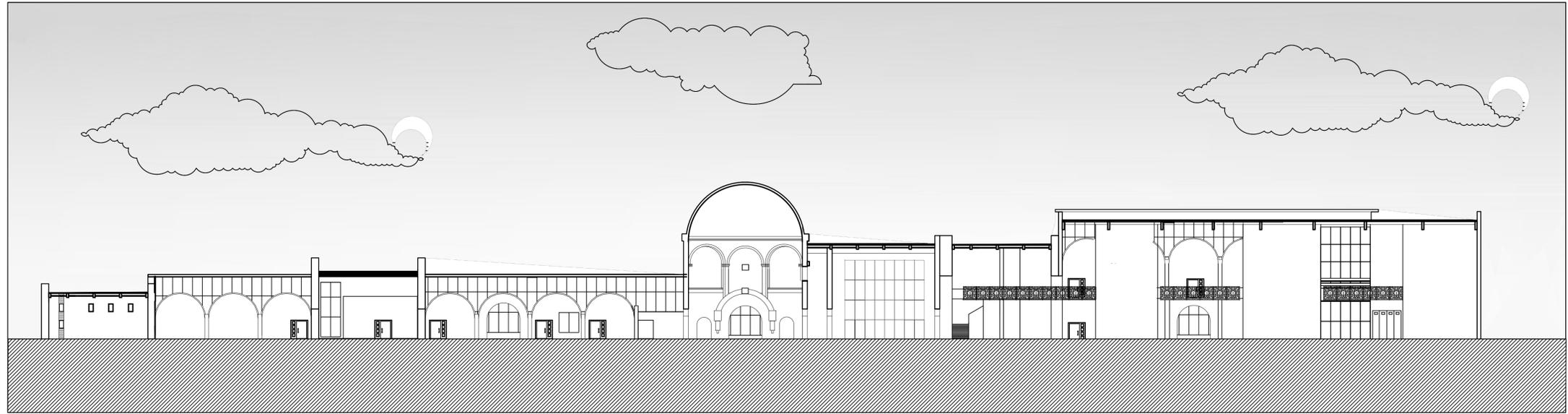
Encadré par : **Mr BABA AHMED HADJ AHMED**
Mr MAHMOUDI .I

Date de la soutenance : **12/06/2016**

Master en
Architecture **2015/2016**

Echelle : _____ Heure de passage : _____





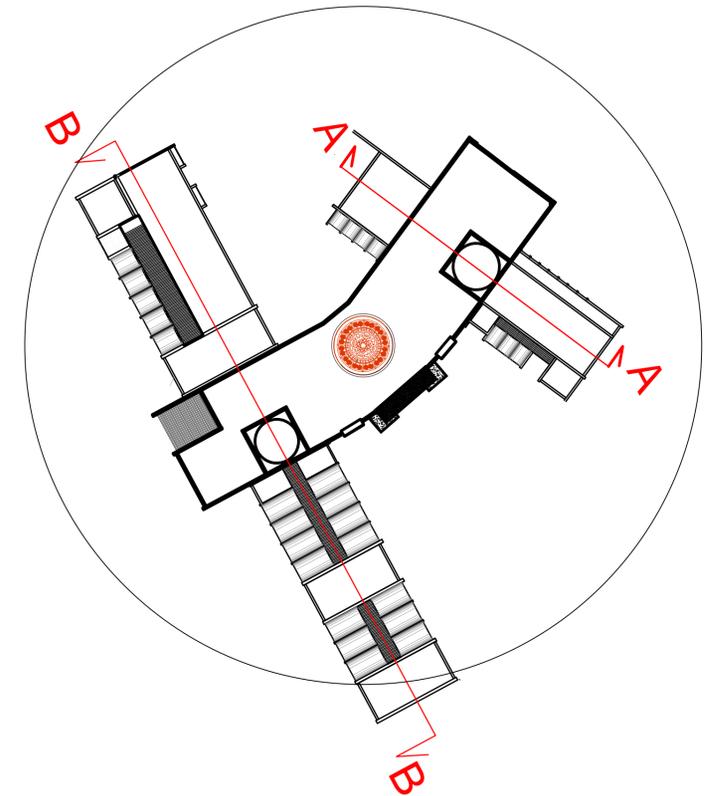
COUPE BB

1/200



COUPE AA

1/200



2.4. Recherche stylistique et inspirations :

L'architecture de terre porte une richesse stylistique déjà présenté dans le chapitre 02, un apport qu'on a essayé de traduire tant dans la composition volumétrique que dans le style architectural. Une autre richesse présente, la culture locale de Tlemcen, un style authentique propre à la ville et particulièrement au site de Mansourah s'ajoute à nos références contribuant ainsi à une intégration parfaite au site.

Enfin une touche de modernité vient contribuer à l'humanisation de notre projet, le CIFAT n'est pas un projet du passé mais bel est bien une architecture prometteuse qui à sa place dans la société contemporaine.

L'architecture de terre porte une richesse stylistique déjà présenté dans le chapitre 02, un apport qu'on a essayé de traduire tant dans la composition volumétrique que dans le style architectural. Une autre richesse présente, la culture locale de Tlemcen, un style authentique propre à la ville et particulièrement au site de Mansourah s'ajoute à nos références contribuant ainsi à une intégration parfaite au site.

Enfin une touche de modernité vient contribuer à l'humanisation de notre projet, le CIFAT n'est pas un projet du passé mais bel est bien une architecture prometteuse qui à sa place dans la société contemporaine.

2.4.1. Inspirations de l'architecture de terre :

Un volet très riche s'est offert à nous, la principale source fut celle des voutes de Hassan Fathy qu'on a essayé de développer et d'adapter à notre projet.



Figure 132 Exemples travaux HASSAN Fathy
Source : Archnet.com

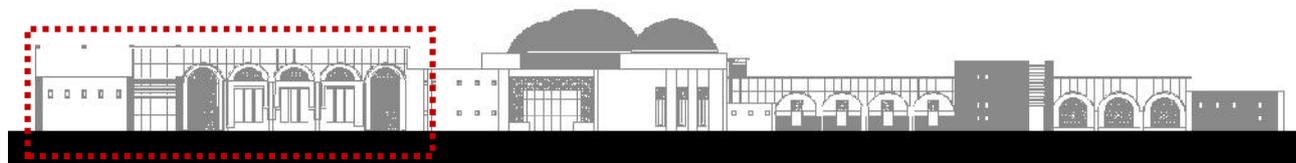




Figure 133 Fragment Façade Sud du CIFAT
Source : Etabli par l'auteur

On a ajouté à ça des filtres solaire comme le moucharabieh, la pergola, ces dispositifs tant fonctionnels qu'esthétique contribuent à la richesse de nos traitements.

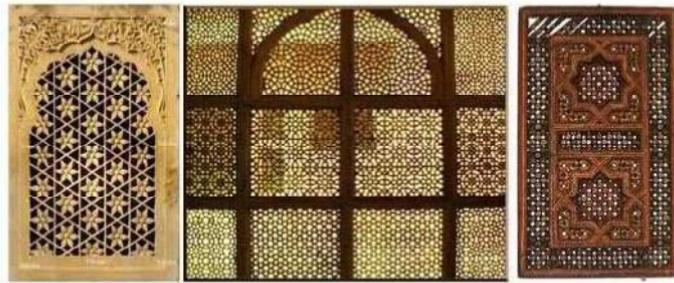
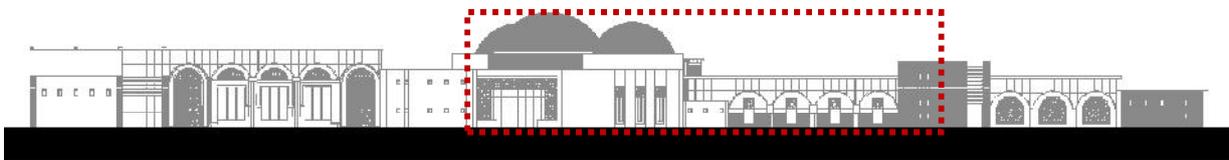


Figure 134 Modèles moucharabieh



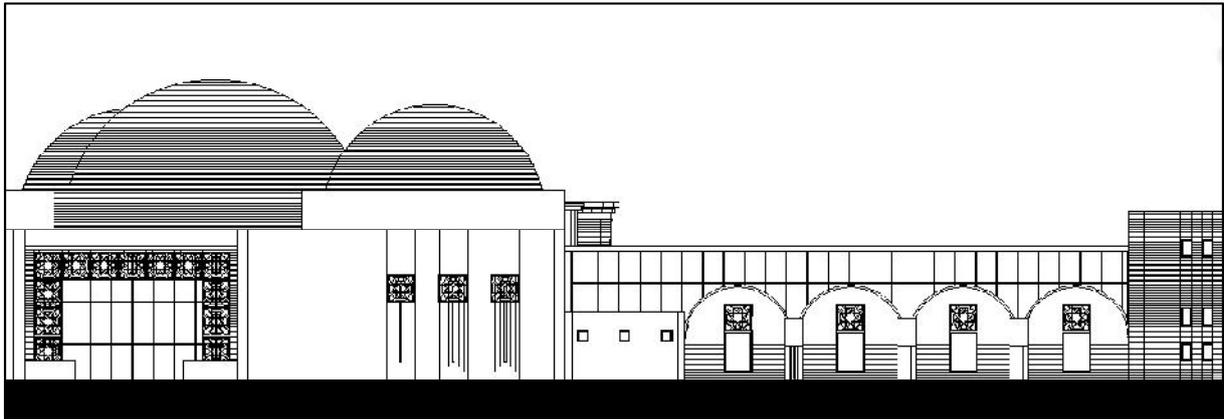


Figure 135 Fragment Façade Sud du CIFAT
Source : Etabli par l'auteur.

2.4.2. *Inspirations de l'architecture du site :*

Le site de Mansourah possède un cachet architectural remarquable, pour accentuer le lien entre le CIFAT et le monument en terre, on s'est inspiré de l'ornement de son minaret. En premier lieu on a fait une lecture des éléments de la façade du minaret de Mansourah.

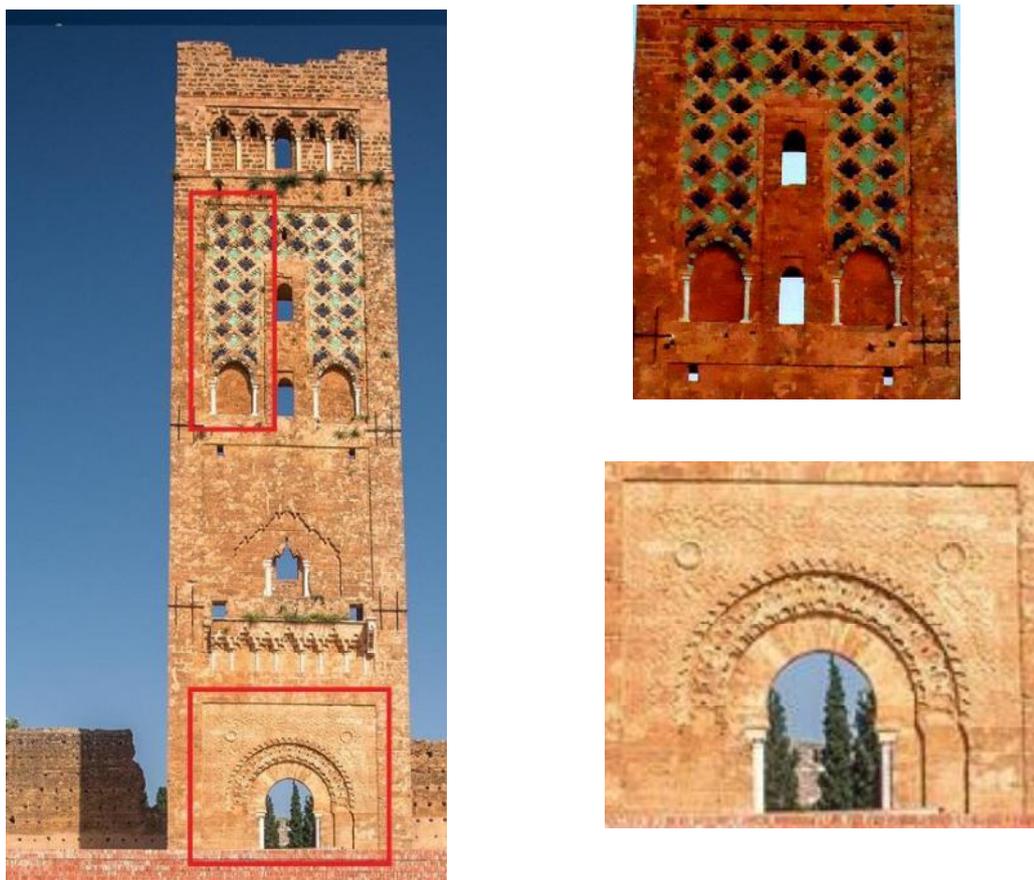


Figure 136 Eléments minaret Mansourah
Source : VitamineDZ.com- Traité par l'auteur

Ces éléments ont été repris dans notre façade principale, avec une interprétation propre au CIFAT

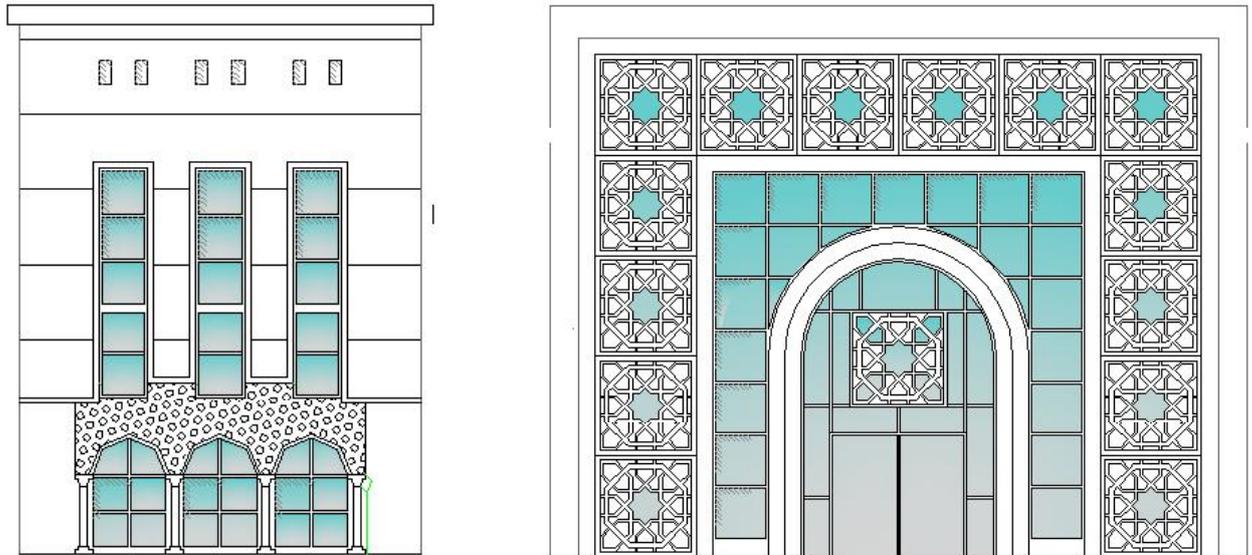


Figure 137 Traitement façade Principale CIFAT
Source : Etabli par l'auteur

Les remparts du site de Mansourah possèdent eux aussi un cachet particulier qu'on réinterpréter dans notre façade.

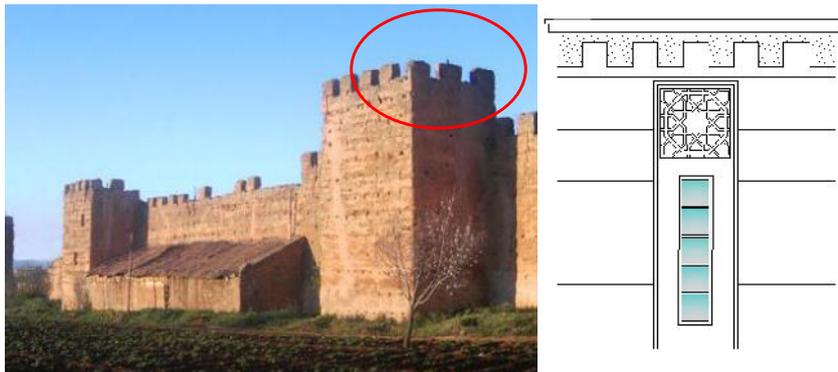
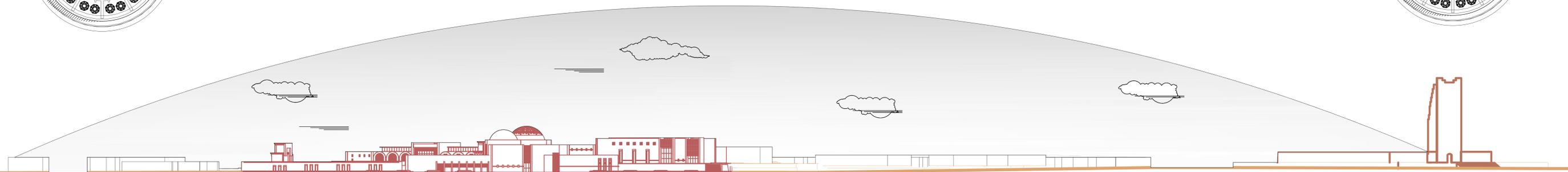
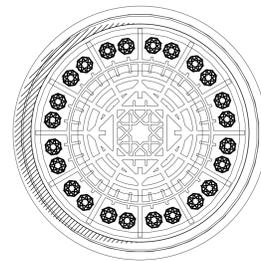
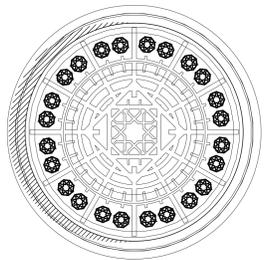
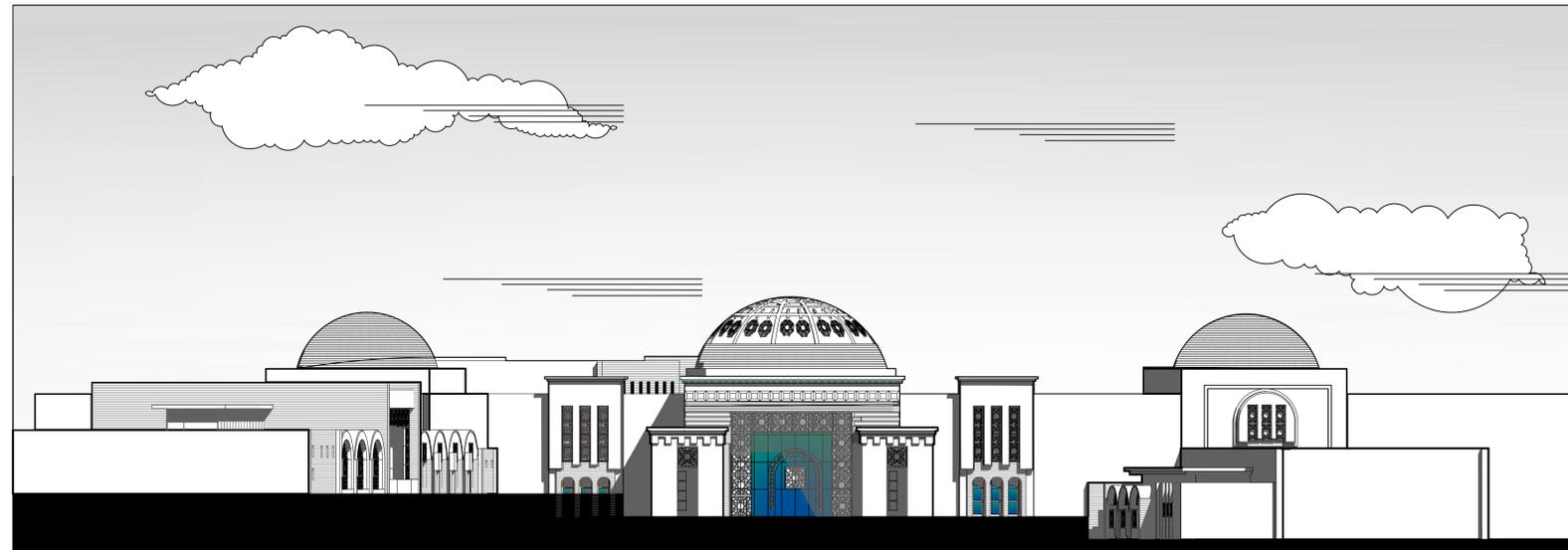


Figure 138 Inspiration Remparts Mansourah
Source : Tlemcen-Dz.com- Traité par l'auteur

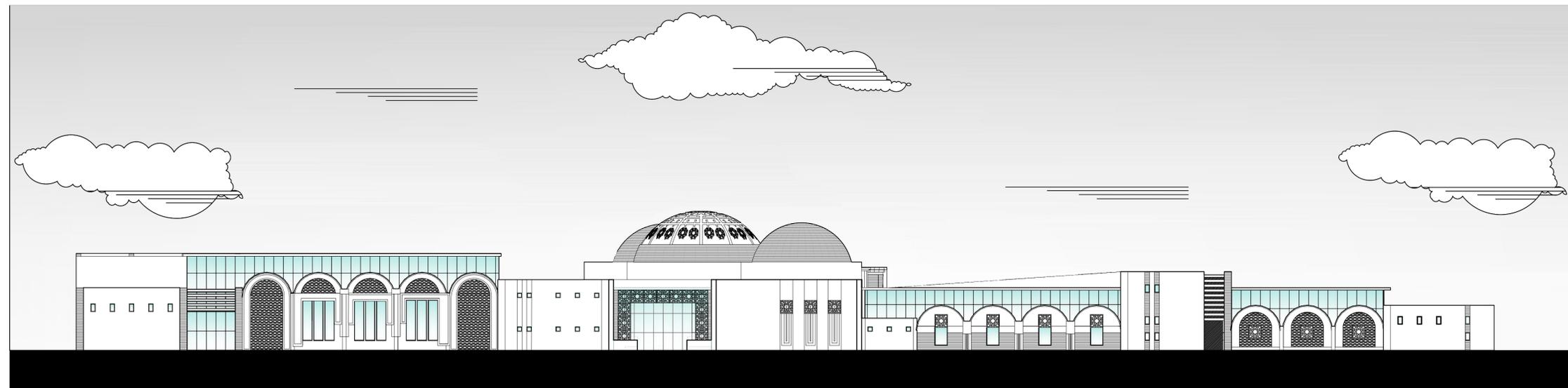
CENTRE D'INTERPRETATION ET DE FORMATION EN ARCHITECTURE DE TERRE





FACADE PRINCIPALE

1/200



FACADE SUD

1/200



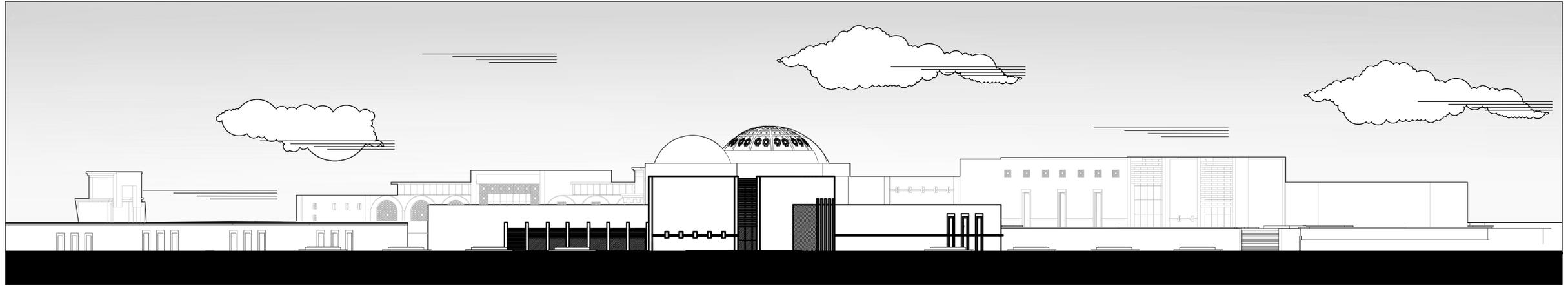
FACADE SUD

1/200



FACADE NORD

1/200



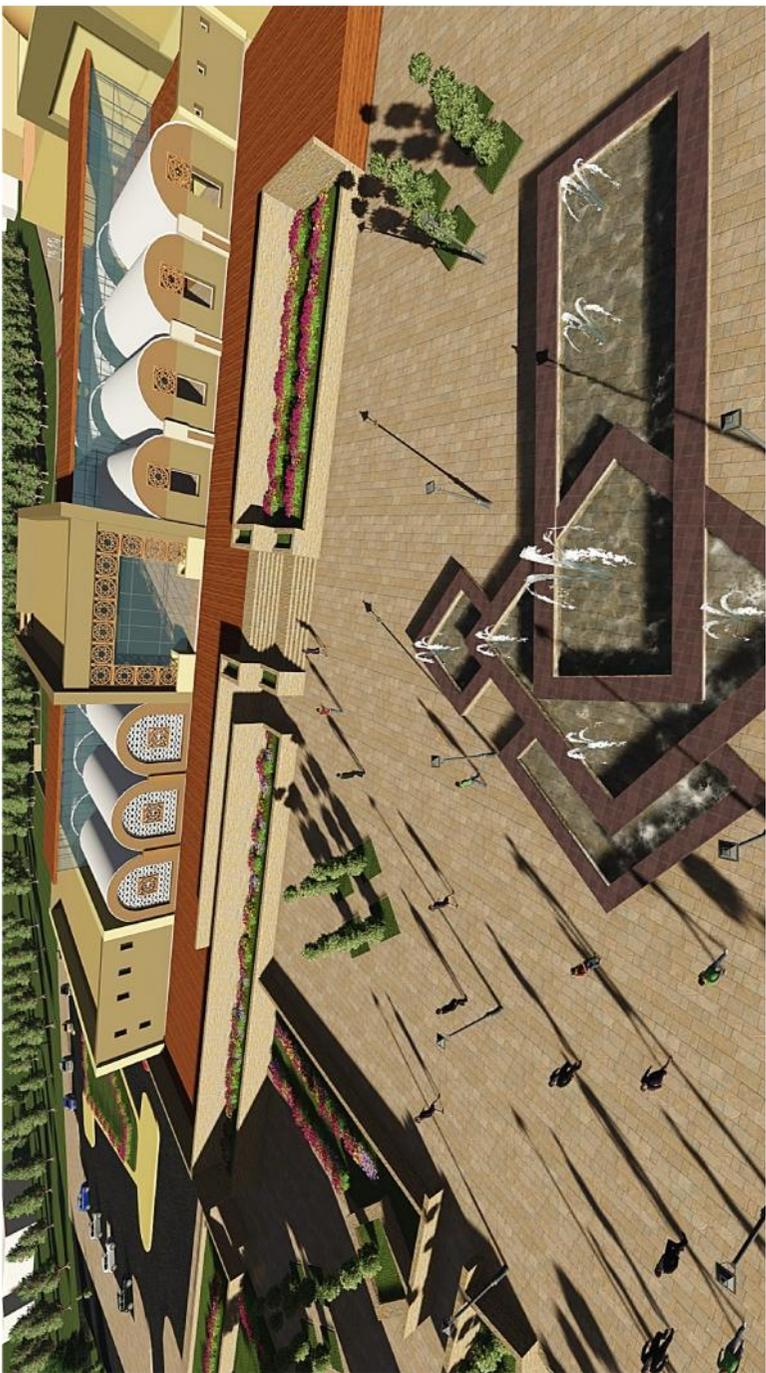
FACADE NORD

1/200















Conclusion

Nous sommes partis d'une recherche programmatique visant à définir les exigences fonctionnelles, spatiales, techniques et qualitatives d'un centre pluridisciplinaire qu'est le CIFAT. Ces besoins sont repris et implantés sur un terrain à proximité de Mansourah, intégrant un nouvel enjeu dans notre projet. Tout en répondant aux critères imposés du site nous avons proposé une projection architecturale comme synthèse à toute l'analyse déjà faite.

Introduction

La conception du projet architectural est un processus itératif qui exige la coordination entre la structure, la forme et la fonction, tout en assurant aux usagers la stabilité et la solidité de l'ouvrage.

L'objectif de cette étape est de faire tenir le projet structurellement avec le matériau terre principalement, et de lui donner les moyens d'assurer les fonctions qui lui sont assignées, de garantir sa durabilité et d'assurer sa sécurité.

1.1. Infrastructure :

1.1.1. Les fondations :

La solidité des fondations est indispensable pour assurer une bonne transmission des charges au sol. Elles doivent être construites en matériaux résistants aux actions mécaniques mais aussi mise hors d'eau par des dispositifs de drainage et d'étanchéité.

a. Le matériau utilisé :

L'une des techniques les plus couramment pratiquées est celle des fondations superficielles ou semi profondes en béton armé recouvert d'un produit bitumineux constituant une barrière étanche aux remontés capillaires.

b. Mise hors d'eau

Afin d'éviter les dégradations du matériau terre par les actions liées à l'eau, on a proposé un système d'évacuation des eaux de surface autour du bâtiment : Une ceinture de drainage distante des fondations de 1m50, une canalisation est posée en fond de fouilles en pente régulière et comblée d'un système filtrant essentiellement en cailloux et graviers.

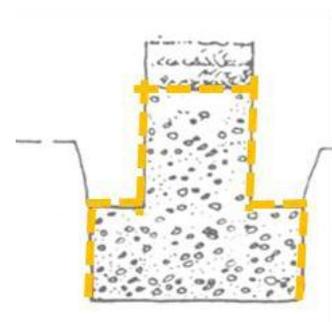


Figure 139 : Détail constructif des fondations
Source : Etabli par l'auteur

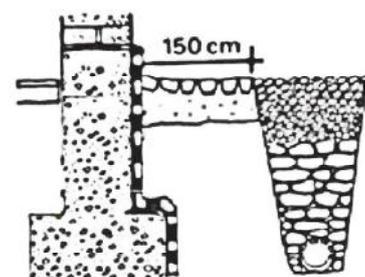


Figure 140 : Détail constructif des fondations.
Source : Traité construction en terre – CRATERRE

1.1.2. Les murs de soutènements :

Ayant un terrain accidenté, on a opté pour la création de plusieurs plateformes qui épousent la topographie du terrain. Nous avons prévu des murs de soutènement en béton armé dans les parties semi enterrées afin de retenir les poussées de terres.

1.2. La superstructure :

Après l'étude effectuée sur les différentes techniques de constructions en terre et leurs systèmes constructifs (chapitre 02) notre choix est porté sur trois systèmes porteurs : les murs en BTC, murs en pisé, colonnes en marbre. Ces systèmes ont évidemment besoin d'une protection à la base d'où la nécessité d'un soubassement et leur principe de dimensionnement se base sur les travaux du CRATERRE et ceux d'AUROVILLE EARTH INSTITUTE.

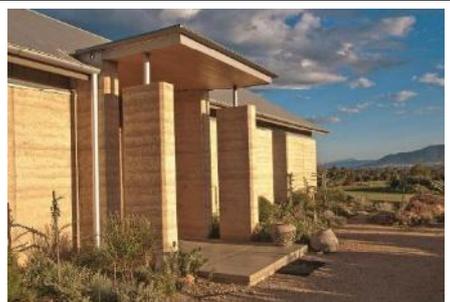
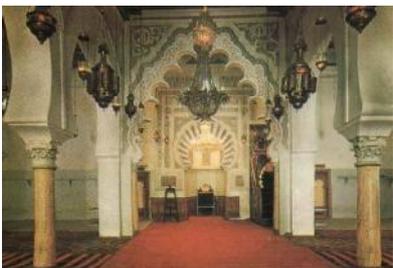
TRADITIONNEL TLEMCENIEN	ANALOGIE MODERNE
 <p data-bbox="357 819 823 875">Mur porteur en brique d'adobe, MECHOUAR Tlemcen avant restitution 2002</p>	 <p data-bbox="895 819 1355 875">Éléments porteurs en BTC, AUROVILLE EARTH INSTITUTE prototype</p>
 <p data-bbox="341 1189 839 1245">Fragment de muraille en pisé, Bab el Kermadine Tlemcen 2003</p>	 <p data-bbox="871 1189 1369 1245">Mur porteur en Pisé moderne, EARTH STRUCTURE GROUP.</p>
 <p data-bbox="357 1536 823 1592">Colonne en marbre dans la grande mosquée de Tlemcen.</p>	 <p data-bbox="871 1536 1369 1592">Colonne en marbre dans la mosquée de Sheikh Zayed, Abu-Dhabi 2007</p>

Figure 141 : Tableau comparatif des superstructures

Source : Etabli par l'auteur.

D'abord, les deux premiers, sont les matériaux les plus utilisés dans la construction en terre contemporaine et témoignent d'une grande flexibilité tout en intégrant d'autres procédés techniques (tels que le bois). Ensuite, tous les matériaux retenus répondent au critère de « soutenable » évoqué dans le (chapitre 01). Enfin, Ces trois systèmes représentent une évolution contemporaine de la culture constructive déjà présente à Tlemcen, en particulier au sein du site de Mansourah (chapitre 03).

1.2.1. Le soubassement :

Le soubassement est un ouvrage essentiel à la mise hors d'eau de la construction, il peut être en brique cuite, en béton, en pisé stabilisé, en bardage ou en pierre.

On a opté pour un soubassement en pierre (disponible sur site).

Qu'on a laissé en apparence avec des joints en creux afin d'éviter les infiltrations d'eau. La hauteur du soubassement est en fonction du régime pluviométrique et des débords de toiture, selon le CRATERRE : une hauteur de 20cm pour une pluviométrie faible, 40cm à 60 cm pour les zones à pluviométrie moyenne et 100 cm dans les berges de l'oued. On opte alors pour une hauteur de 60cm pour les régions similaires à Tlemcen.

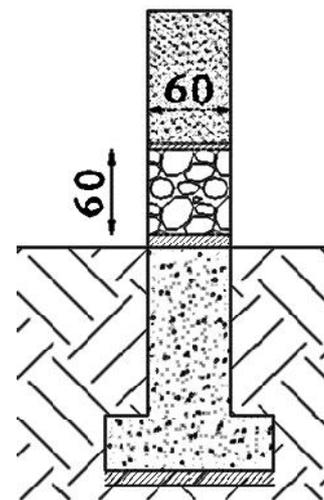


Figure 142 : Détail constructif du soubassement.

Source : Traité construction en terre – CRATERRE

1.2.2. Éléments porteurs en BTC :

Ils se présentent comme éléments linéaire et supporte 43% des couvertures et planchers dont :

- 31 voutes en BTC stabilisé
- 2 coupoles en BTC stabilisé
- 2500 m² des planchers en bois soit 25% de la surface portée totale.

a. Repérage dans le plan :

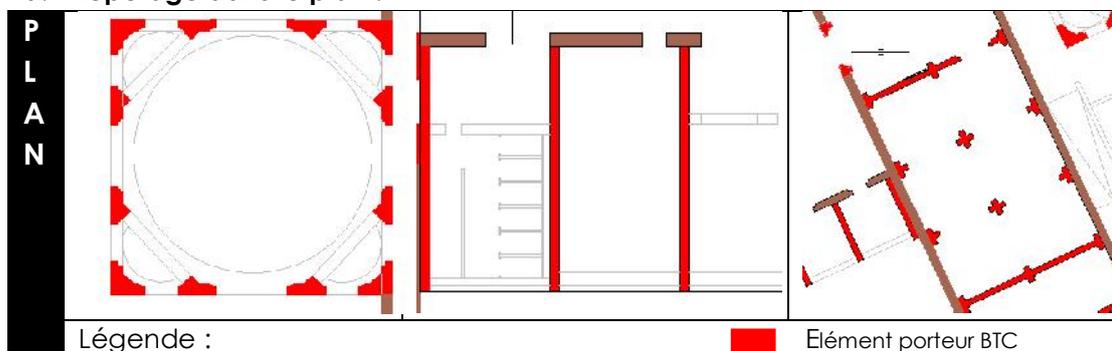


Figure 143 : tableau de repérage dans le plan.

Source : Etabli par l'auteur.

Afin d'optimiser l'usage des espaces, les arcs sont indispensables comme éléments de transition d'une charges répartie linéaire à un appui ponctuel.

b. Dimensionnement et vérification :

On a opté pour des murs de **45cm**, en se basant essentiellement sur les travaux du CRATERRE. Les éléments en BTC portent essentiellement des arcs et des voutes dans notre projet. Il existe alors deux méthodes pour la vérification du pré dimensionnement des arcs :

- La forme de l'arc est déterminée par avance, le tracé de la ligne de pression doit passer dans le **1/3** moyen de l'arc, auquel on donne l'épaisseur nécessaire.

- On détermine le trajet des forces et l'on adapte ensuite la forme et l'épaisseur de l'arc à ce trajet.

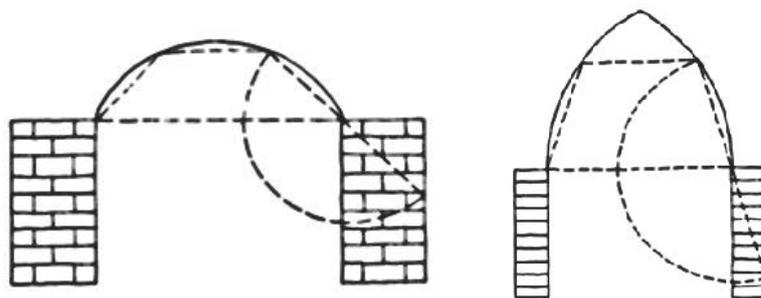


Figure 144 : Schéma de dimensionnement et vérification des arcs.

Source : *Traité construction en terre – CRATERRE*

c. Application dans notre projet :

On a appliqué cette vérification a notre projet, on a pris le cas le plus défavorable : porté de 4m50, avec des appuis en croix de 1m35.

Le pré dimensionnement est convenable et est totalement vérifié.

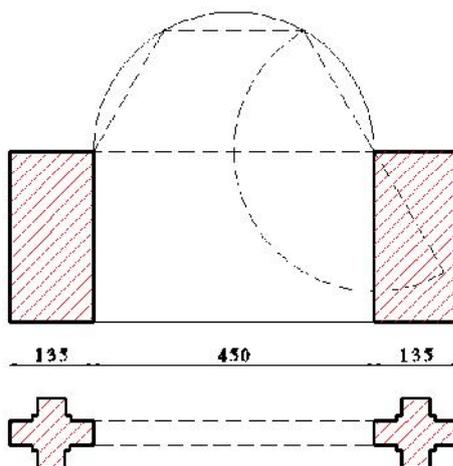


Figure 145 : Schéma de l'application des arcs dans le plan

Source : Etabli par l'auteur

Concernant les murs portant les planchers en bois, les règles courantes de murs porteurs et de décente de charge s'appliquent à eux. A noté la résistance mécanique à la compression de la brique comprimé stabilisé à 8% de chaux choisie est de 300mPA.

d. Détail constructif : le calepinage

Les briques de terre comprimées répondent aux normes d'appareillage appliquées aux briques cuites ou la pierre (appareillage en boutisse, panneresse, en parpaing, en carreau ou modulaire). On a opté pour un modèle de brique rectangulaire, couramment utilisé dans le marché : 29.5x14x5.

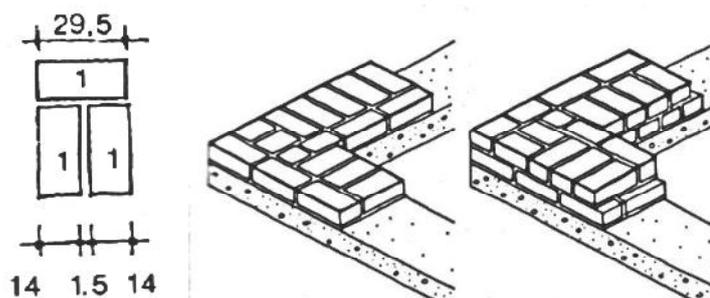


Figure 146 : Détail constructif de le calepinage.
Source : Traité construction en terre – CRATERRE

e. Détail constructif : liaison de murs identiques

Il convient d'assurer une bonne liaison structurale des murs entre eux, dans le but d'obtenir une bonne résistance et une stabilité dans la construction. Il faut alors un bon calepinage de liaison et qui assure le bon harpage des éléments de maçonnerie.

On recommande aussi un renforcement des angles par des armatures horizontales noyé dans le mortier des joints horizontaux chaque 60cm.

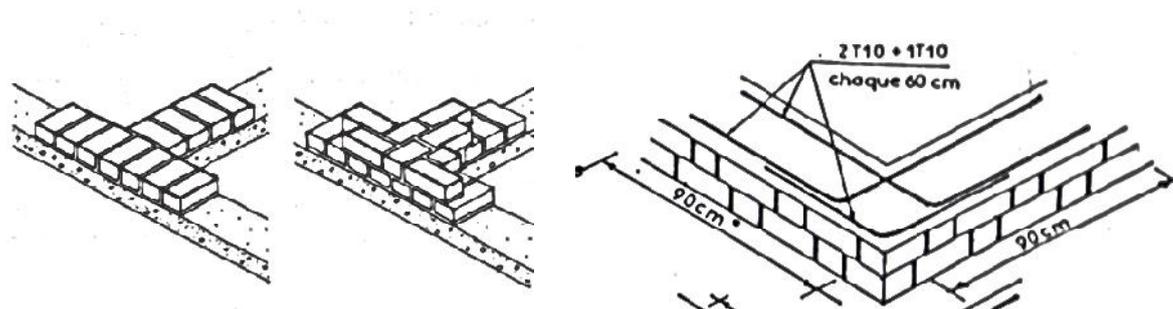


Figure 147 : Détail constructif liaison des murs identique.
Source : Traité construction en terre – CRATERRE

1.2.3. Murs porteurs en pisé :

Eléments porteurs linéaires et supporte toute la couverture en lamellé collé soit 50% des couvertures. Ils se présentent comme murs monolithiques périphériques, regroupant des grandes fonctions, tels que : la salle de conférence, les salles d'exposition, les grands ateliers, la bibliothèque et le volume du hall central.

a. Dimensionnement :

En se référant aux travaux de RAUCH, CRATERRE et par analogie aux exemples thématique étudié (chapitre03), on a opté pour une épaisseur de 60 cm pour le mur en pisé stabilisé.

Les règles courantes de murs porteurs et de décente de charge s'appliquent aux murs en pisé. A noté la résistance mécanique à la compression du pisé stabilisé à 6% de ciment est de 50mPA. Cette résistance est variable selon le type de terre utilisée.

b. Détail constructif : joints de dilatation

Afin d'éviter la fissuration du mur en pisé lié à la dilatation thermique on a prévu des joints sec espacé de 5 à 6m qu'on a résolument intégré aux ouvertures.



Figure 149 : Détail constructif des joints de dilatation
Source Traité construction en terre – CRATERRE

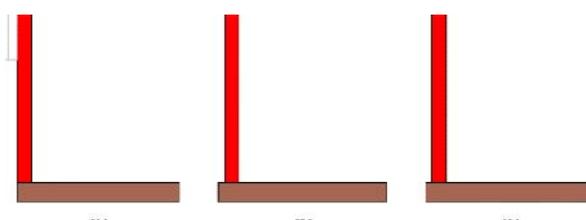


Figure 148 : disposition dans le plan
Source : Etabli par l'auteur

c. Détail constructif : liaison de 2 murs différents

Il faut éviter les murs harpés, le travail différentiel et la résistance ne sont pas les même. Le meilleur procédé est alors celui de la saigné dans le mur extérieure.

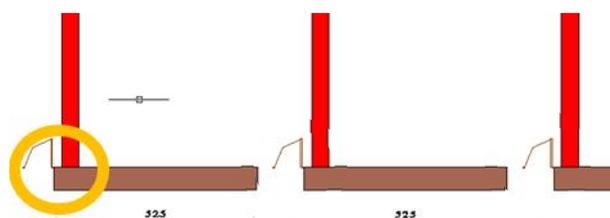
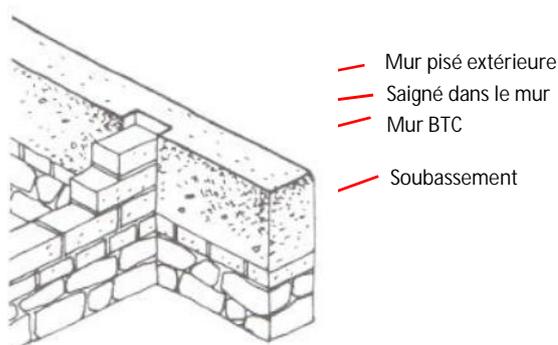
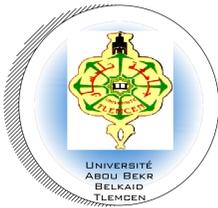
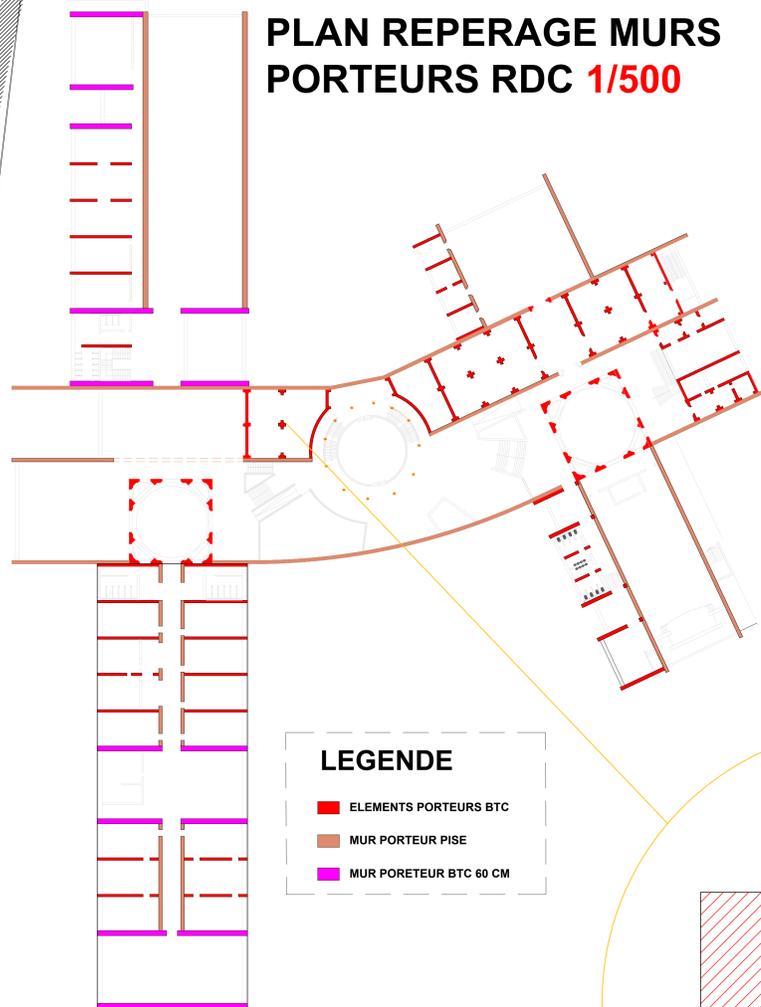


Figure 150 : Détails constructif de la liaison de 2 murs différents
Source : Traité construction en terre –cratère

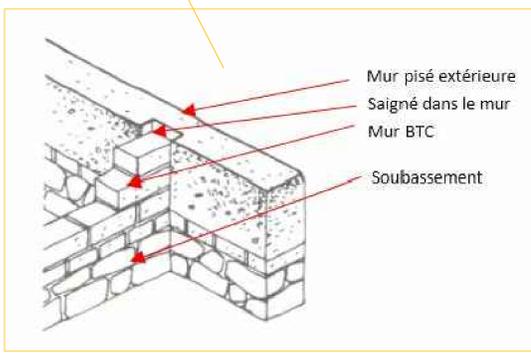
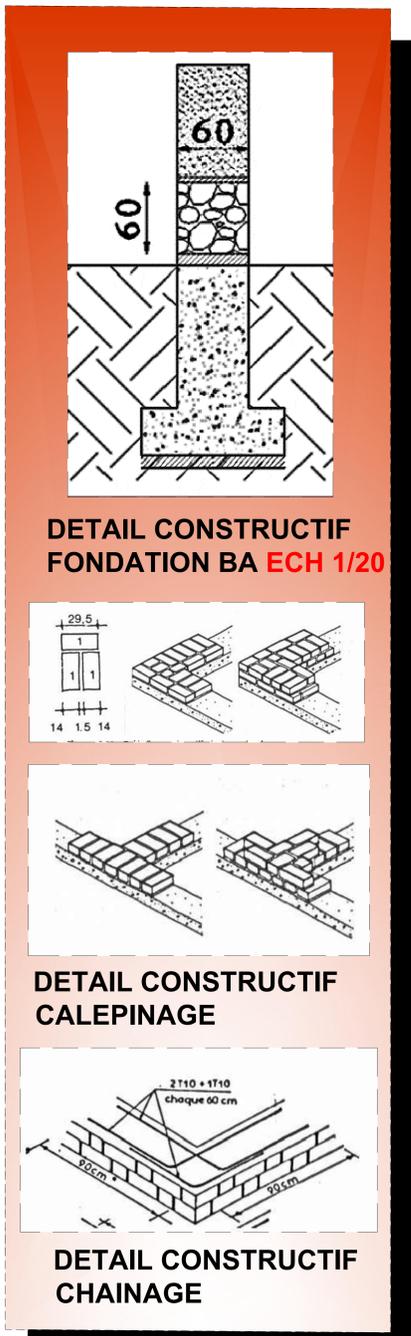
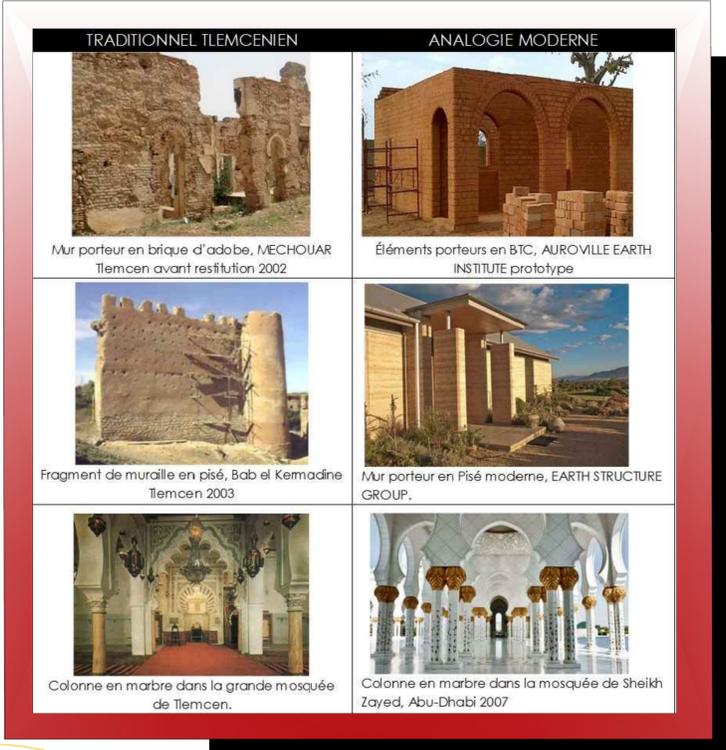
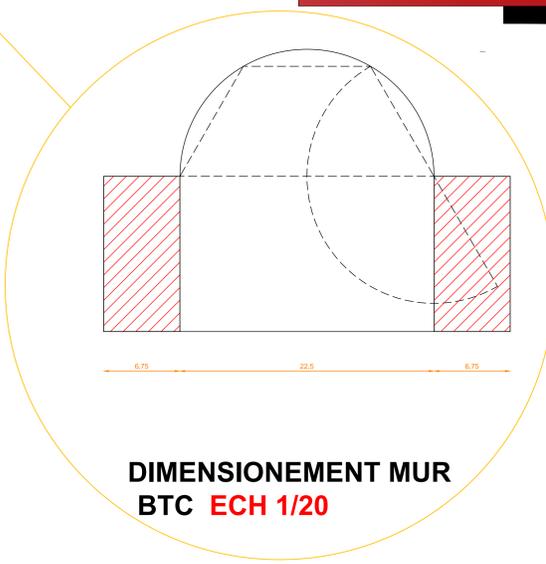
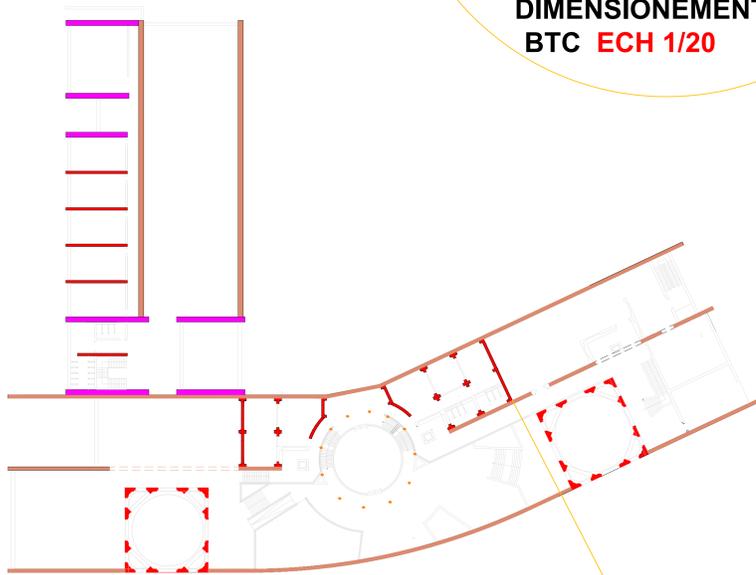


CENTRE D'INTERPRETATION ET DE FORMATION EN ARCHITECTURE DE TERRE

MURS PORTEURS



- LEGENDE**
- ELEMENTS PORTEURS BTC
 - MUR PORTEUR PISE
 - MUR PORETEUR BTC 60 CM

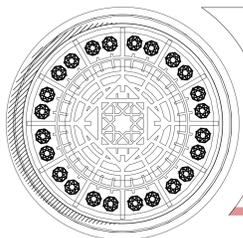


Présenté par : **BELARBI HICHEM**

Encadré par : **Mr BABA AHMED HADJ AHMED**
Mr MAHMOUDI .I

Date de la soutenance : **12/06/2016**

Master en Architecture **2015/2016**



Echelle : _____ Heure de passage : _____

1.2.4. Des colonnes en marbres :

Elles supportent la coupole centrale, un principe inspiré du traditionnel et qui se propose dans son aspect monolithique meilleur que la pierre. Leur dimensionnement répond aux normes de décente de charge. On a opté pour de colonne de 0.6m de diamètre (dimension courante dans les projets similaires.)



1.2.5. Les planchers :

Les surfaces dures telles que les planchers doivent répondre à des normes très strictes. Ils doivent être imperméables à l'eau et ne doivent pas montrer de fissures.

a. Plancher principal au RDC : Terre- Ciment

Niemeyer propose un plancher où la couche de base est constituée d'argile, environ 15 cm d'épaisseur, à haute teneur en argile. Ça agit comme une barrière à l'eau et est appliqué en deux couches qui sont compactées jusqu'à ce qu'aucune fissure n'apparaisse pendant le séchage. La couche suivante est constituée de gravier grossier, ce qui interrompt l'action capillaire. Au-dessus, une couche de 10 cm d'épaisseur de terre fibrée avec de la paille qui fournit isolation thermique. Un montant supplémentaire de 4 cm d'épaisseur couche de terre stabilisée avec 6% de ciment. Enfin, après qu'elle est complètement sèche, la surface est cirée.

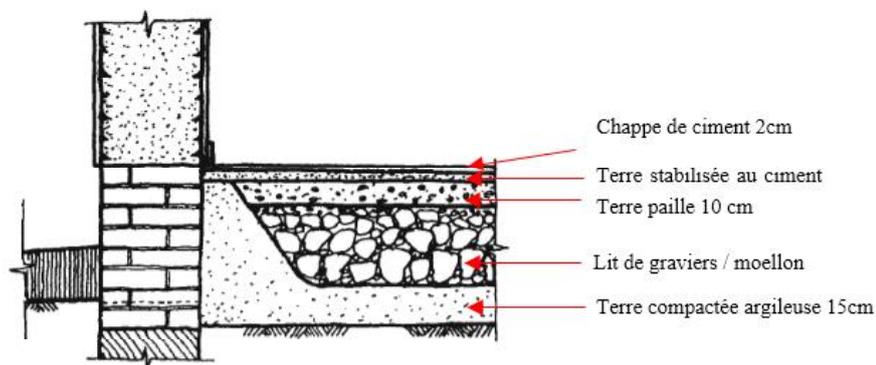


Figure 151 : Détails constructif plancher terre – ciment
Source: Building with earth –GERNOT Minke

Dans cette étude on suggère d'inverser la séquence des deux couches inférieures pour interrompre l'action capillaire, le gravier doit être utilisé en tant que couche la plus basse. La

terre à forte teneur en argile devrait former la couche suivante, agissant en tant que barrière à l'eau et à la vapeur. Eventuellement la terre paille peut être remplacée par du liège expansé (solution industrielle et dimensionnelle).

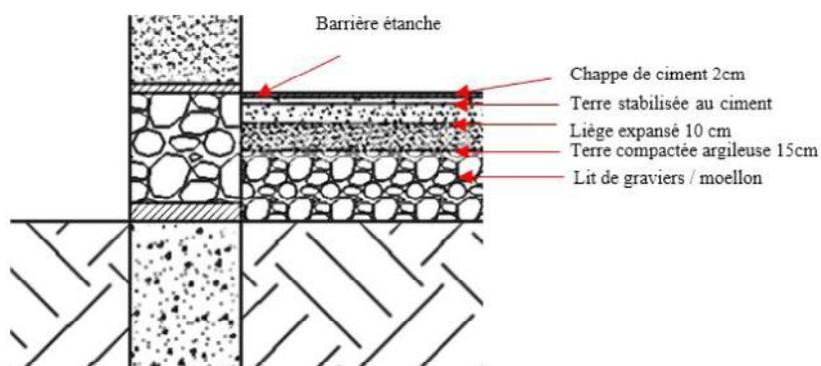


Figure 152 : Détails constructif plancher terre-ciment
Source : Etabli par l'auteur

b. Plancher intermédiaire : Terre – bois

Etant donné le plancher en bois présente quelques inconvénients (isolation acoustique) par rapport à certaines de nos fonctions (bibliothèque, exposition) un plancher composite terre – bois a été proposé.

On a opté pour une technique à principe traditionnel : des poutrelles en bois espacé de 80 à 120 cm avec un remplissage de brique d'adobe sur du bois lisse traité, recouvertes de terre argileuse, de liège et d'une Chappe de ciment.

Cette solution présente d'excellent rendu du point de vue thermique et acoustique ainsi que des possibilités esthétiques (décoration bois, caissons..etc.)

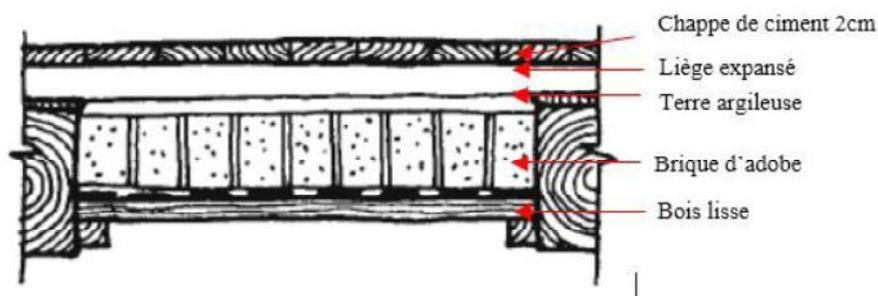


Figure 153 : Détail constructif plancher Terre-bois
Source: Building with earth- GERNOT Minke

La liaison mur BTC- Bois se fait à partir d'une Chappe en béton légèrement armé qui agit comme une poutre de répartition. Afin d'éviter les effets de poinçonnement ou de rotation des poutrelles on a prévu un ancrage en acier.

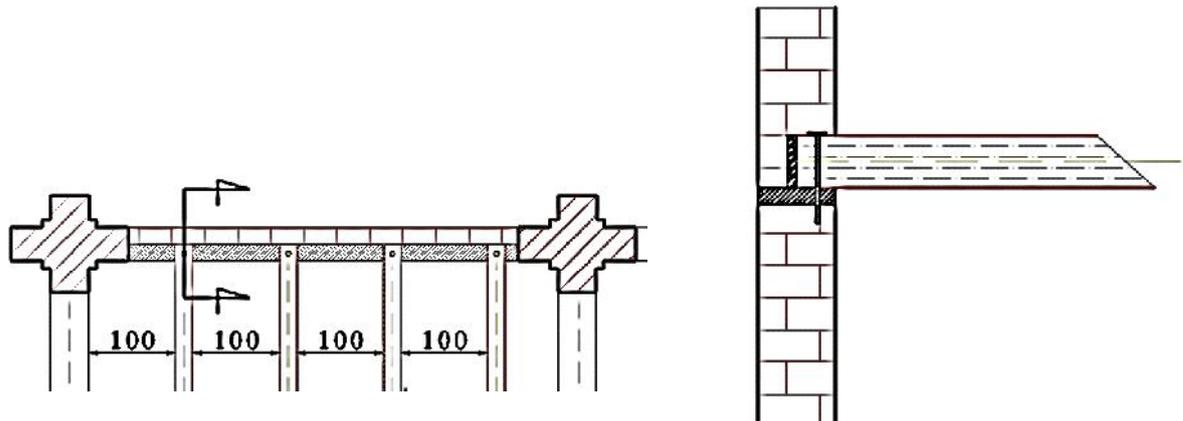


Figure 154 Détail constructif liaison bois –
BTC

Source : Etabli par l'auteur

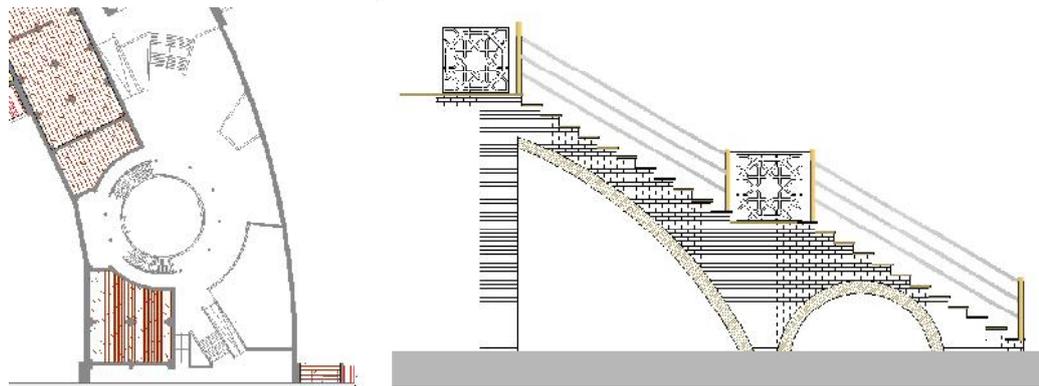
1.2.6. La relation verticale

Quand ils ne sont pas construits en bois les escaliers sont construits en maçonnerie. Les marches repose sur du plein ou sur une voûte. Les exemples varient selon les régions. Avec les nouvelles avancées technologiques, notamment dans la stabilisation du matériau, les espaces sous paillasse sont libérés.



Figure 155 Hallawa House à gauche
Rowland KEABLE House à droite

Application dans notre projet



1.3. Les couvertures :

Dès la genèse de notre projet, on a opté pour des formes de couvertures curvilignes, traces de l'universel architecture de terre : les voutes et coupoles. Ces systèmes offrent une grande variété d'utilisation mais comme chaque matériau, la terre possède des limites. Un système complémentaire viens combler le les lacunes de la terre et afin de répondre pleinement aux objectifs : le lamellé collé.

1.3.1. Les voutes

Elément de couverture unidirectionnel qui recouvre 1300 m² de notre projet. On a opté pour des voute semi circulaire en BTC, c'est l'une des formes les plus courantes et les plus stables dans la construction en terre.

a. Dimensionnement

Le dimensionnement répond à l'expérience des bâtisseurs, parmi les travaux d'Auroville la voute semi circulaire a portée de 6m et longueur de 11m donne des résultats concluants. On a opté pour une voute de 4 à 6m de portée, longue de 5 à 10m, haute de 3m et son épaisseur est de 15cm. Ces données sont vérifiées dans le manuel de la construction en terre du CRATERRE.

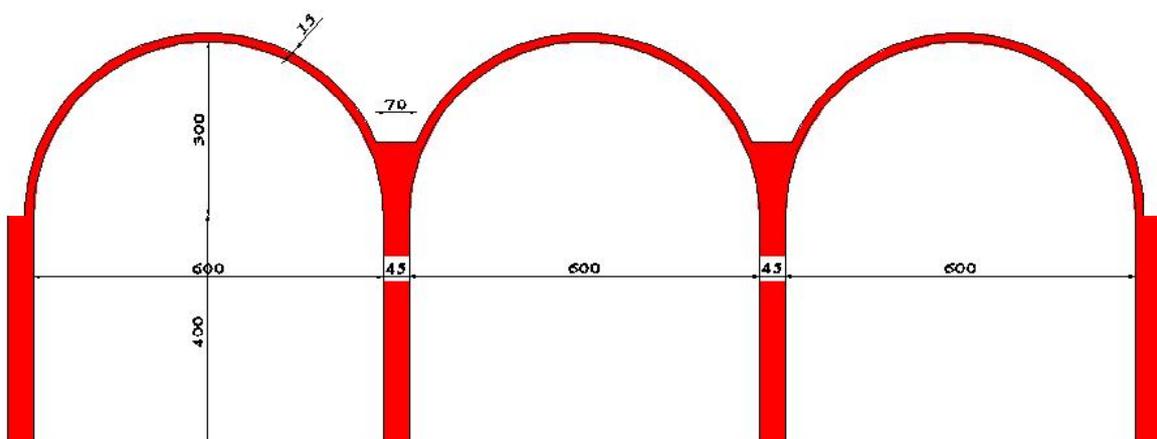


Figure 156 : Schéma de dimensionnement des voutes
Source : Etabli par l'auteur

b. Détail constructif : liaison aux appuis

La brique de terre crue est posée sur le mur (lit de pose) et la seconde brique est légèrement inclinée. Il est impératif d'être très minutieux lors de la pose et de respecter un dosage de mortier régulier et convenable. Entre les voutes on a proposé un remplissage en BTC, ceci joue un rôle structural et permet de garder une bonne étanchéité grâce à une pente de 1% vers l'extérieur.

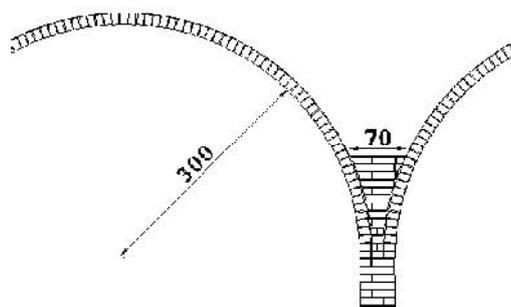


Figure 157 : Détail constructif liaison aux appuis
Source : Etabli par l'auteur

c. Détail constructif : finitions extérieures

Les finitions extérieures de toiture consistent en la réalisation des enduits de finition et d'étanchéité. Il sera appliqué systématiquement une couche initiale de terre (environ 5 cm) qui recevra ensuite le crépissage d'étanchéité. Le plus courant c'est de rajouter un feutre bitumineux et une chape en ciment traitée.

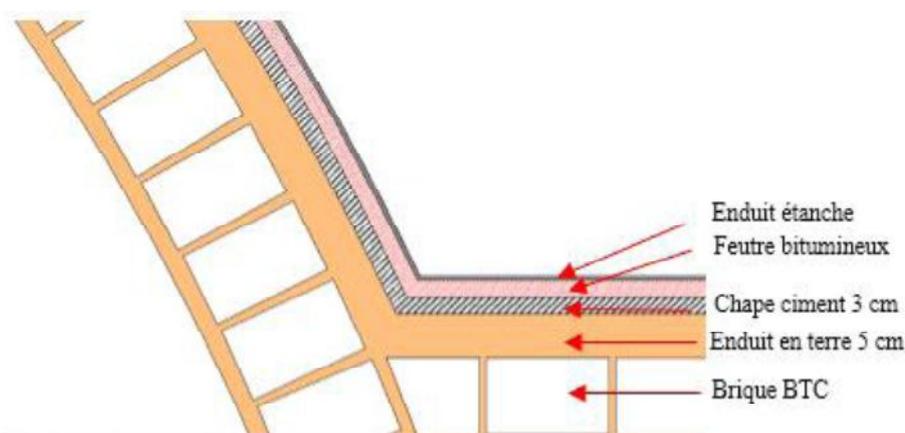


Figure 158 Détail constructif revêtement voute
Source : Etabli par l'auteur

1.3.2. Les coupoles à base carrée :

Elément représentatif de l'architecture de terre, elles offrent d'énormes possibilités en espaces et volumes. Ce n'est pas pour sa symbolique mais plutôt pour ses propriétés structurelles qu'on a utilisé la coupole dans notre projet.

a. Dimensionnement

On a utilisé 2 coupoles à base carré, elles recouvrent les espaces de regroupement annexés respectivement à la salle de conférence, musée de la terre et au bloc formation. La coupole s'insère dans un carré de 15 x 15m et d'une hauteur de 12 et 16m. Construite en brique de terre BTC le modèle choisi est celui de la coupole du Ismail Center « Dubaï 2007).

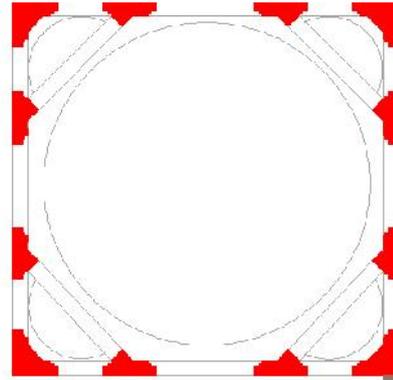


Figure 159 Analogie de la coupole du Ismaili Center
Dubai

b. Détail constructif : la trompe

La transition d'un espace carré à une couverture circulaire est assurée dans notre cas par une trompe qui prend l'appui sur deux pans de murs et forme un angle rentrant.

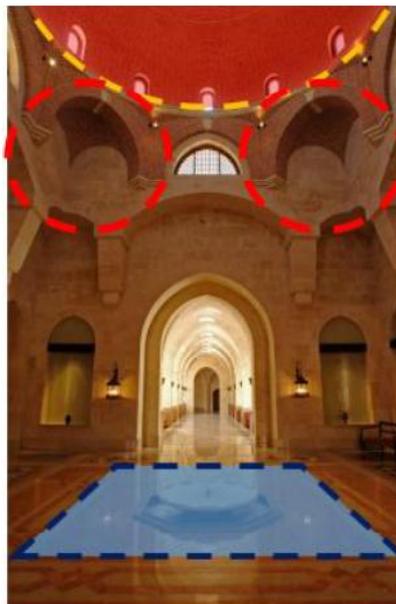
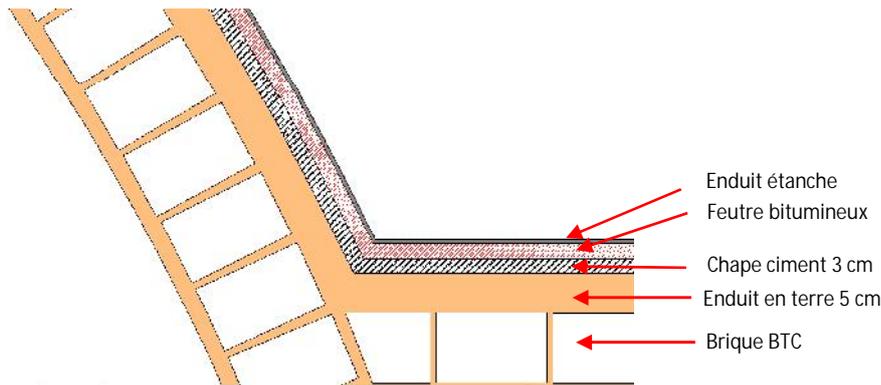


Figure 160 Transition plan carré- Couverture circulaire via 4 Trompes
Source : Ismaili Center Dubai- Traité par l'auteur

c. Détail constructif : le revêtement

Les finitions extérieures de la coupole consistent (comme la voute) en la réalisation des enduits de finition et d'étanchéité. Il sera appliqué systématiquement une couche initiale de terre (environ 5 cm) qui recevra ensuite le crépissage d'étanchéité. Le plus courant c'est de rajouter un feutre bitumineux et une chape en ciment traitée.



1.3.3. Coupole centrale

Cette coupole représente le cœur de notre projet, on lui accordé un traitement particulier. Elle recouvre le hall d'exposition temporaire et reste un élément monumental de notre conception. D'un rayon de 9m, elle recouvre 260 m² et s'élance à 18m au-dessus du sol.

a. Problématique du dimensionnement

La coupole à base circulaire travaille en compression et répartit les charges au sol. Plus le rayon est grand, plus la charge est importante. Le modèle le plus grand connu à ce jour de coupole en BTC est celui de Dhyanalinga temple 22.16 m de diamètre et 7.90m de haut (inde 1999).

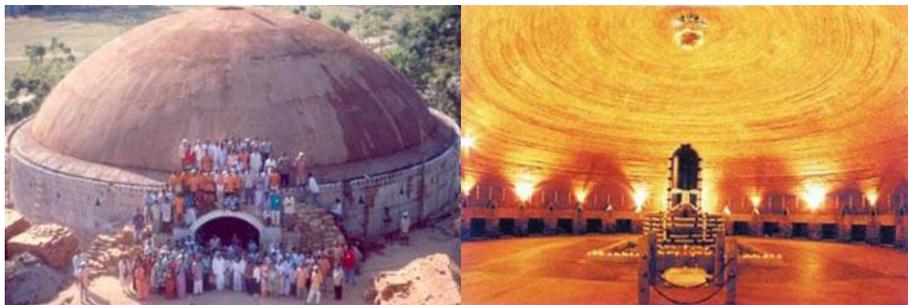


Figure 161 Dôme Dhyanalinga temple
Source : Earth-Auroville.com

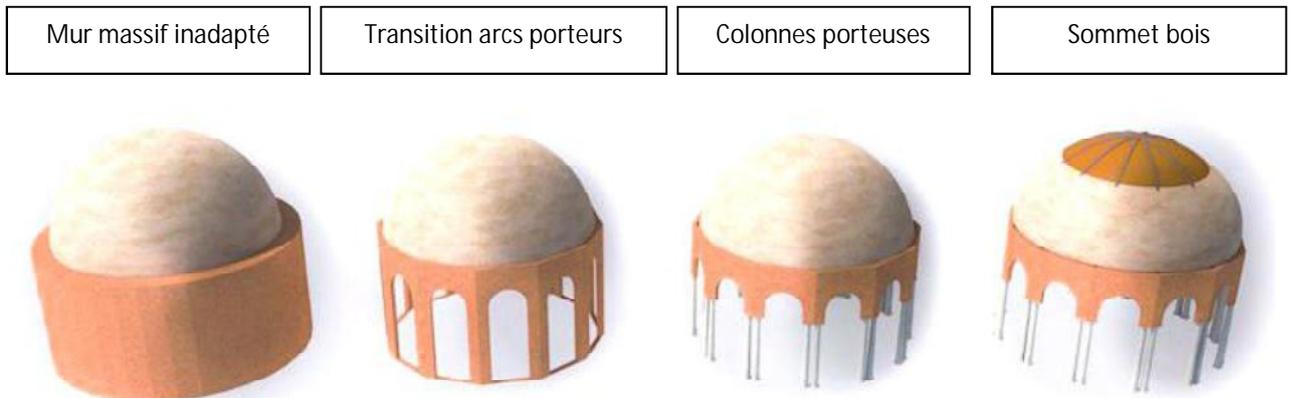
L'enjeu est que la coupole assure son rôle de couverture et ne s'effondre pas sous son propre poids. Pour ce type de coupole il est impératif d'avoir un mur porteur massif périphérique avec très peu d'ouvertures. Dans le but de libérer le maximum d'espace au sol on a utilisé les arcs comme éléments de transition (charge répartie en charge ponctuelle).

Les appuis ponctuels en terre ne résistent pas à un tel poids (estimé à 440 tonnes). On les a donc remplacés par des éléments monolithiques en marbre. Enfin la dernière étape fut de remplacer la partie supérieure de la coupole par du bois lamellé collé, allégeant ainsi son poids propre (méthode inspirée des coupoles de l'école nationale d'art de cuba 1967).



Figure 162 Alternatives systèmes structurels
Source : Archdaily.com

Récapitulatif



b. Détail constructif : sommet de la coupole

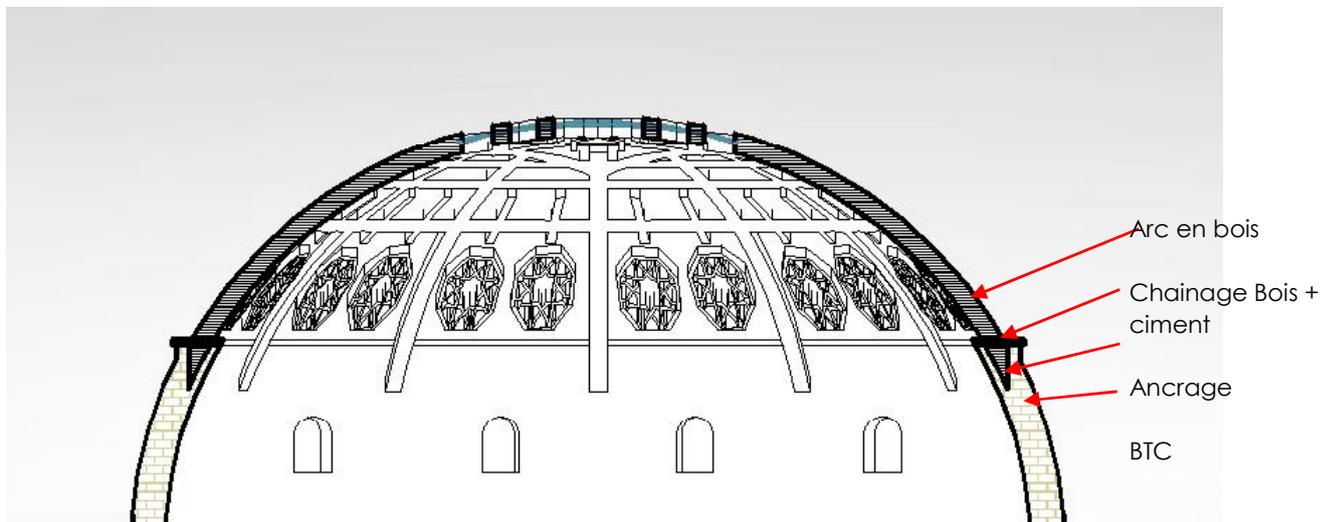


Figure 163 Détail constructif coupole centrale



Figure 164 Vue perspective sur la coupole
Source : Etabli par l'auteur

1.5. Le Bois lamellé collé BLC

Le BLC est un matériau écologique (chapitre 01), il offre des structures de grandes portées avec une légèreté de ses éléments incomparable face à la massivité du béton. La préfabrication des poutres en BLC assure considérablement la rapidité de la construction ainsi que le gain de temps dans l'exécution. Enfin le BLC permet l'association aux différents systèmes porteurs tels que le Pisé.

1.5.1. Justification du choix

L'étude comparative entre le lamellé collé et la charpente métallique basée sur les atouts que présente chacun des procédés pour notre projet a montré que le lamellé collé serait le mieux adapté car il est idéal pour les grandes portées et répond aux objectifs durables (chapitre 01). Ce dernier sera combiné avec des murs porteurs en terre pisé et BTC.

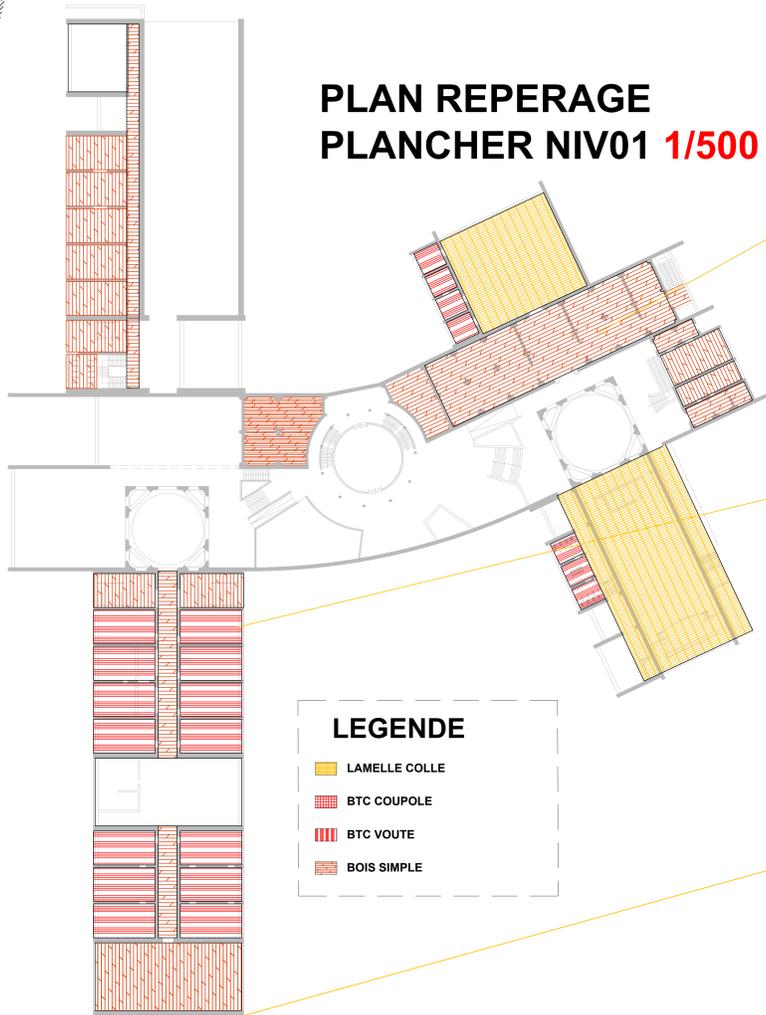
Bois lamellé collé	Structure métallique
<ul style="list-style-type: none"> - Finition esthétique - Résistance au feu, corrosion et à l'humidité - Légèreté de la structure : lamellé collé=1x, la structure métallique=2x béton armé = 5x - Excellent isolant thermique 700x plus que l'acier 	<ul style="list-style-type: none"> - Grande résistance aux maladies, insectes, champignons et intempéries. - La charpente métallique est 10-30% moins chère que le bois (dépend de la région)

a. Repérage dans le plan

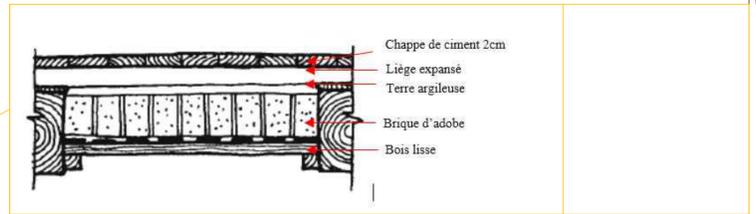
Les couvertures en BLC représentent 65% de la couverture totale dans notre projet. Posées sur du pisé, les murs porteurs suivent les normes du bâtiment, la loi porteur-portée est facilement applicable dans notre cas bien sûr après un pré dimensionnement plausible.

CENTRE D'INTERPRETATION ET DE FORMATION EN ARCHITECTURE DE TERRE

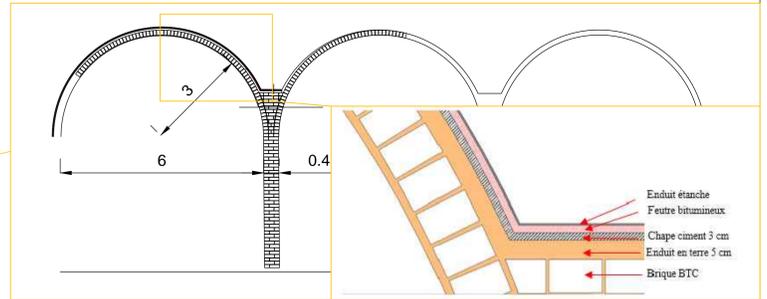
PLANCHERS ET COUVERTURES



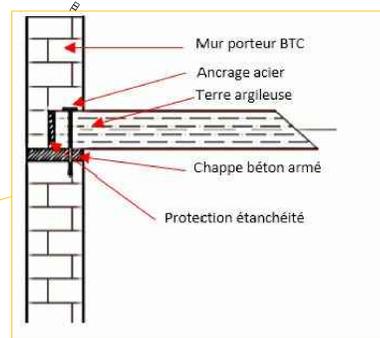
DETAIL CONSTRUCTIF PLANCHER



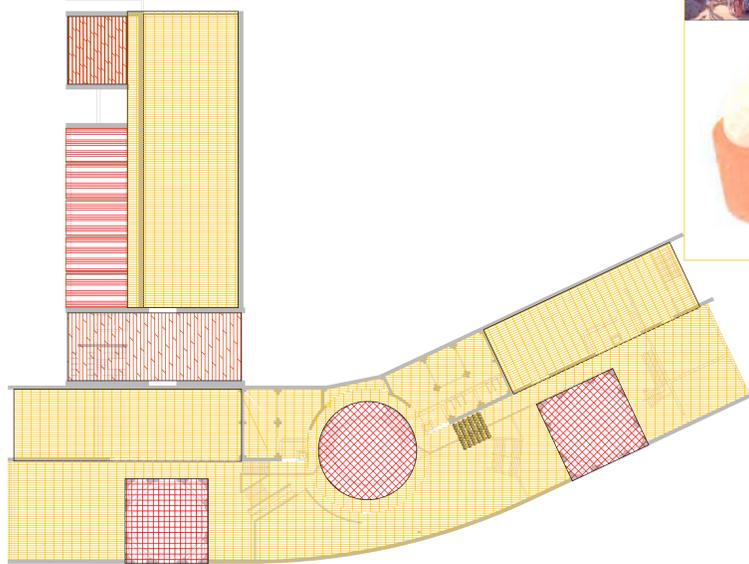
DETAIL CONSTRUCTIF VOUTE



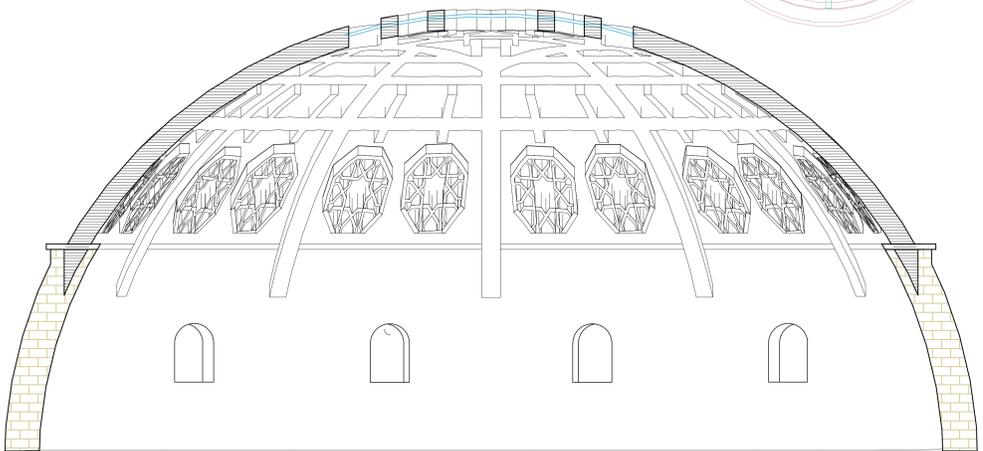
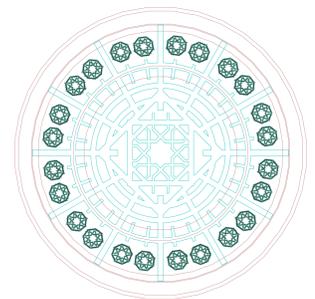
DETAIL CONSTRUCTIF
LIAISON MUR-BOIS



PLAN REPERAGE COUVERTURE
1/500



COUPOLE
CENTRALE



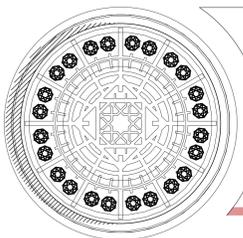
Présenté par : **BELARBI HICHEM**

Encadré par : **Mr BABA AHMED HADJ AHMED
Mr MAHMOUDI .I**

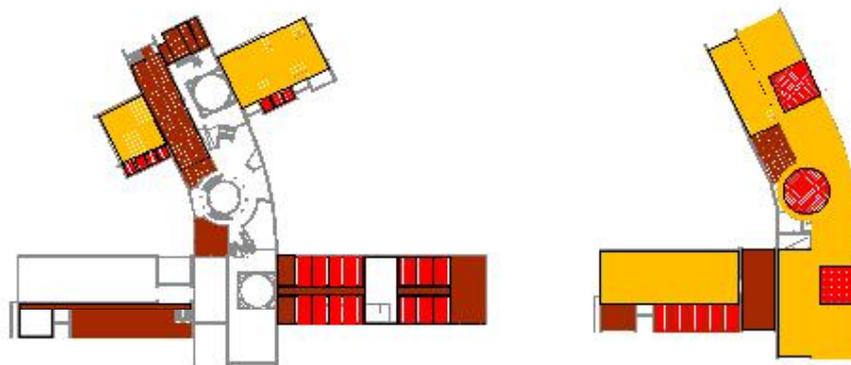
Date de la soutenance : **12/06/2016**

**Master en
Architecture**

Echelle :



P
L
A
N
S



Légende :

couverture BLC

b. Dimensionnement :

La conception et le dimensionnement des structures en lamellés collés sont régis par des codes de calculs généraux de charpente bois en vigueur. Donc il est utile de connaître les ordres de grandeurs des dimensions des poutres ou portique en lamellé collé.

Forme	Système statique	Portée en m	Hauteur statique	Forme	Système statique	Portée en m	Hauteur statique
Carson		5 - 20	l/35	Arc à trois articulations avec ou sans tirant		10 - 100	l/40
Plancher massif		5 - 20	l/40	Cadre à trois articulations		5 - 20	l/35
Poutre d'inertie constante, horizontale ou inclinée		5 - 35	l/16	Poutre continue d'inertie constante		5 - 35	l/20
Poutre en forme de toit avec intrados rectiligne		5 - 35	l/14	Poutre à membrures parallèles		5 - 35	l/12
Poutre en forme de toit avec intrados courbe		5 - 30	l/12	Poutre en forme de trapèze		5 - 30	l/15
Ferme à trois articulations avec ou sans tirant		10 - 50	l/28	Poutre pour toit à deux pans		10 - 50	l/8

Figure 165 Typologie des poutres en BLC
Source : MM Masterline, Bois lamellé collé

On opte pour une poutre d'inertie constante, horizontale. $H = i/16$ à $i/20$

Après la définition de la hauteur on a besoin de définir la largeur de la poutre ainsi que son espacement par rapport aux autres. Un second tableau est nécessaire :

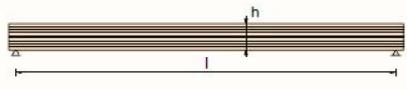
	Portées [m]	Largeur [cm]	Hauteur [cm]	Espacement [m]
Poutre parallèle / une seule travée 	3 - 35	6 - 28	12 - 230 $h = l/16$ jusqu'à $l/20$	1 - 8

Figure 166 Propriétés Poutre Horizontale à inertie constante
Source : MM Masterline, Bois lamellé collé

c. Application de calcul :

Dans cet essai on prendra en compte la portée la plus défavorable qui est de 20m.

On a comme donnée :

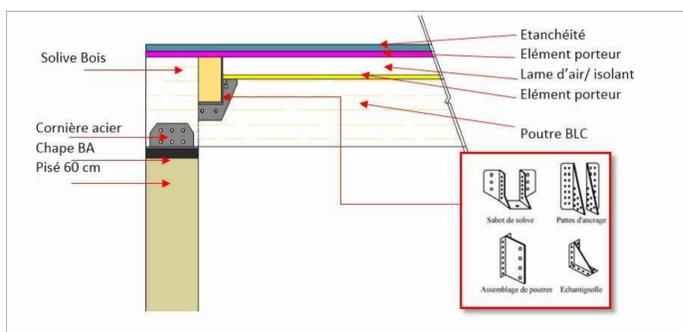
- Hauteur de la poutre $H = l/20$
- Largeur : $e = 25$ cm
- Espacement entre poutres principales : $D = 6$ m (module déjà utilisé pour les voutes)
- Espacement entre poutres secondaire : $d = 2$ à 3m

CENTRE D'INTERPRETATION ET DE FORMATION EN ARCHITECTURE DE TERRE

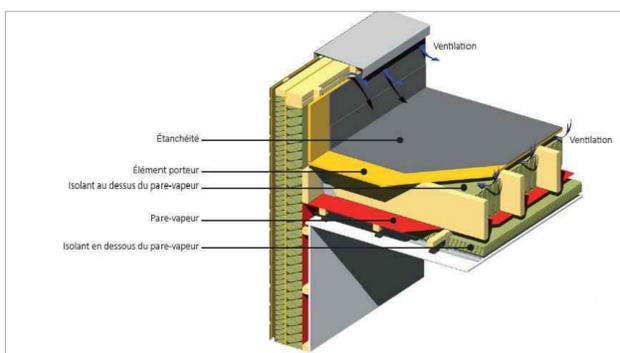
COUVERTURE BOIS LAMELLE COLLE

Identification	Calcul	Proposition structure
Bloc Grand atelier	H= l/20 = 17/20 = 0.85m (1m) e= 25 cm D= 6 à 7.20m d= 2m	
Bloc Salle de Conférence	H= l/20 = 17/20 = 0.85m (1m) e= 25 cm D= 6 à 6.35m d= 2.85m à 3.35m	
Bloc Salle exposition	H= l/20 = 20/20 = 1m e= 25 cm D= 6 m d= 2m	
Bloc hall central	Poutre sur deux appuis I1 I2 H1= l/20 = 12/20 = 0.6m (1m) H2= l/20 = 18/20 = 0.9m (1m) e= 25 cm D= 6 à 7.20m d= 2m	

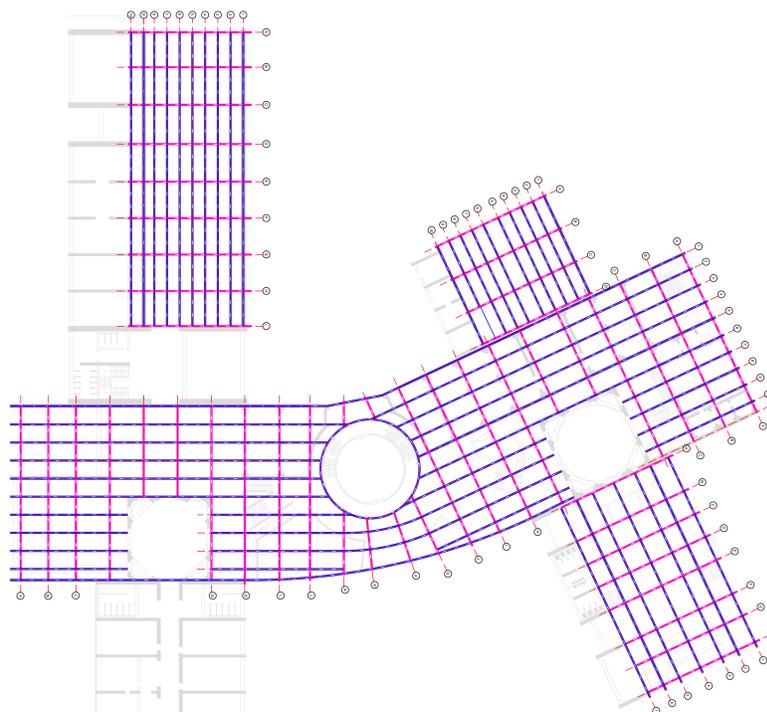
TABLEAU DE CALCUL



DETAIL CONSTRUCTIF LIAISON PISE- BOIS



DETAIL CONSTRUCTIF PLANCHER

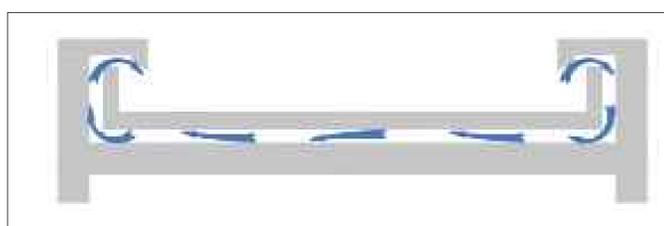


LEGENDE

- POUTRE SECONDAIRE BLC
- POUTRE PRINCIPALE BLC

	Géotextile et structure tendue	Tôle acier ondulé ou nervurée	Plancher mixte bois béton	Caissons de toitures en bois
Typologie des couvertures				
Éléments principaux de la couverture	Membrane en polyester simple ou double peut être translucide. Assemblage tirants et cornières métallique	Bac en acier fixé aux pannes en bois et un complexe d'étanchéité, isolant et par vapeur.	Panneau dérivé du Bois fixé par des connecteurs aux solives en BLC. Recouvert d'une Chape en béton armé préfabriqué.	Panneaux à base de bois BLC fixé aux solives avec un complexe d'étanchéité, isolant et par vapeur
dimensionnement caractéristiques techniques	Dimensionnement selon la hauteur de la poutre et l'espacement des poutrelles.	Hauteur minimale des nervures est de 35mm et la dimension du bac varie selon les modèles : largeur 1.5m courante.	12 cm pour la dalle de compression en béton, 20 à 22mm pour le panneau en bois porteur.	section des caissons sont relative aux pannes système d'aération naturelle intégré.
Avantages	Légère Translucide Confort thermique Confort acoustique (pas d'écho)	Economique Portées importantes Rapidité de mise en œuvre	Préfabrication Confort acoustique Rapidité de mise en œuvre	Préfabrication Rapidité mise en œuvre, efficacité thermique.
Critères développement durable	Ecologiquement respectable Textile matériaux 100% écologique	Socialement équitable Promotion des produits locaux «Tôle acier»	Economiquement rentable Main d'œuvre présente et gain de temps.	Ecologiquement respectable Approche climatique Rentabilité économique long terme

TABLEAU COMPARATIF PLANCHER



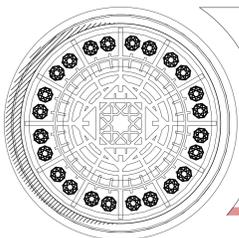
Présenté par : **BELARBI HICHEM**

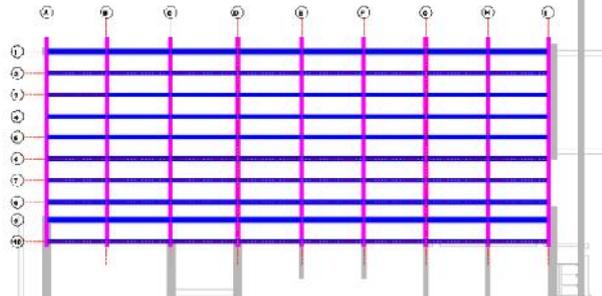
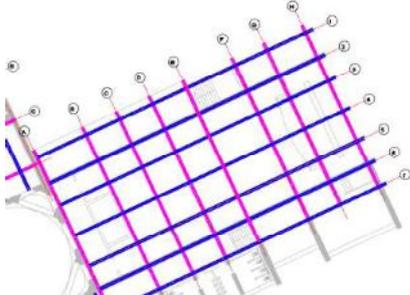
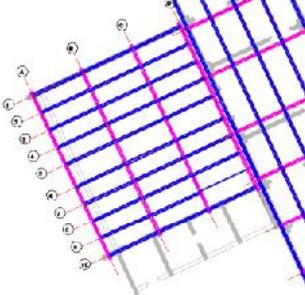
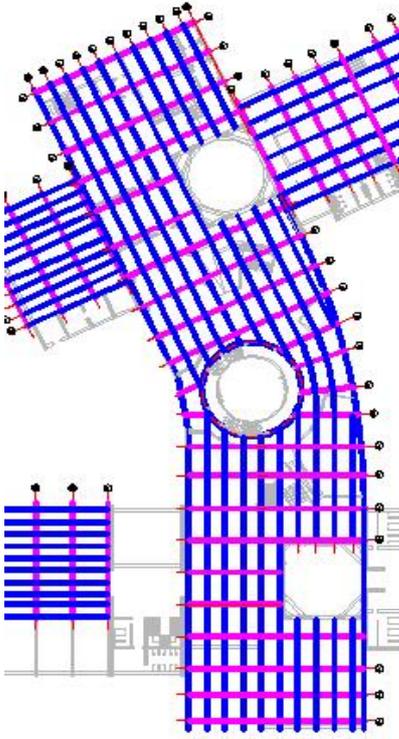
Encadré par : **Mr BABA AHMED HADJ AHMED**
Mr MAHMOUDI .I

Date de la soutenance : **12/06/2016**

Master en
Architecture

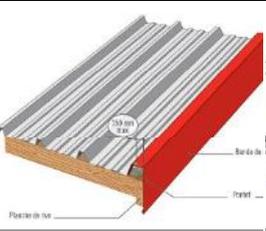
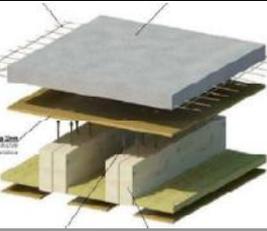
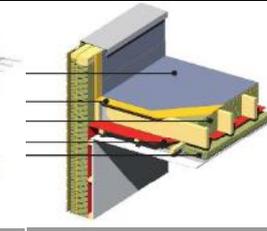
Echelle :



Identification	Calcul	Proposition structure
Bloc Grand atelier	$H = i/20 = 17/20 = 0.85\text{m (1m)}$ $e = 25\text{ cm}$ $D = 6 \text{ à } 7.20\text{m}$ $d = 2\text{m}$	
Bloc Salle de Conférence	$H = i/20 = 17/20 = 0.85\text{m (1m)}$ $e = 25\text{ cm}$ $D = 6 \text{ à } 6.35\text{m}$ $d = 2.85\text{m à } 3.35\text{m}$	
Bloc Salle exposition	$H = i/20 = 20/20 = 1\text{m}$ $e = 25\text{ cm}$ $D = 6\text{ m}$ $d = 2\text{m}$	
Bloc hall central	<p>Poutre sur deux appuis</p>  $H1 = i/20 = 12/20 = 0.6\text{m (1m)}$ $H2 = i/20 = 18/20 = 0.9\text{m (1m)}$ $e = 25\text{ cm}$ $D = 6 \text{ à } 7.20\text{m}$ $d = 2\text{m}$	

d. Choix type revêtement toiture

Pour définir notre choix ; nous avons élaboré une recherche sur la typologie des revêtements des couvertures à ossature BLC. On a synthétisé les résultats dans le tableau suivant :

	Géotextile et structure tendue	Tôle acier ondulé ou nervurée	Plancher mixte bois béton	Caissons de toitures en bois
Typologie des couvertures				
Éléments principaux de la couverture	Membrane en polyester simple ou double peut être translucide. Assemblage tirants et cornières métallique	Bac en acier fixé aux pannes en bois et un complexe d'étanchéité, isolant et par vapeur.	Panneau dérivé du Bois fixé par des connecteurs aux solives en BLC. Recouvert d'une Chappe en béton armé préfabriqué.	Panneaux à base de bois BLC fixé aux solives avec un complexe d'étanchéité, isolant et par vapeur
dimensionnement/ caractéristiques techniques	Dimensionnement selon la hauteur de la poutre et l'espacement des poutrelles.	Hauteur minimale des nervures est de 35mm et la dimension du bac varie selon les modèles : largeur 1.5m courante.	12 cm pour la dalle de compression en béton, 20 à 22mm pour le panneau en bois porteur.	section des caissons sont relative aux pannes system d'aération naturelle intégré.
Avantages	Légère Translucide Confort thermique Confort acoustique (pas d'écho)	Economique Portées importantes Rapidité de mise en œuvre	Préfabrication Confort acoustique Rapidité de mise en œuvre	Préfabrication Rapidité mise en œuvre, efficacité thermique,
Critères développement durable	Ecologiquement respectable Textile matériaux 100% écologique	Socialement équitable Promotion des produits locaux « Tôle acier »	Economiquement rentable Main d'œuvre présente et gain de temps.	Ecologiquement respectable Approche climatique Rentabilité économique long terme

De ce tableau comparatif, notre choix s'est porté sur : **Caissons de toitures en bois**

e. Caissons de toiture en bois :

Le complexe d'étanchéité est mis en œuvre sur un panneau à base de bois* fixé aux solives et pouvant jouer le rôle de diaphragme (vent ou sollicitations sismiques par exemple). Ce type de structure est particulièrement adapté aux caissons en ossature bois isolés entre les solives et fermés en atelier.

Les Matériaux utilisables pour la structure : Pannes et chevrons comme le Bois Massif, Bois Massif Abouté, Bois Massif Reconstitué, Bois Lamellé, Poutres en I. et pour les Panneaux on utilise du Contreplaqué, OSB, Panneaux de Particules.

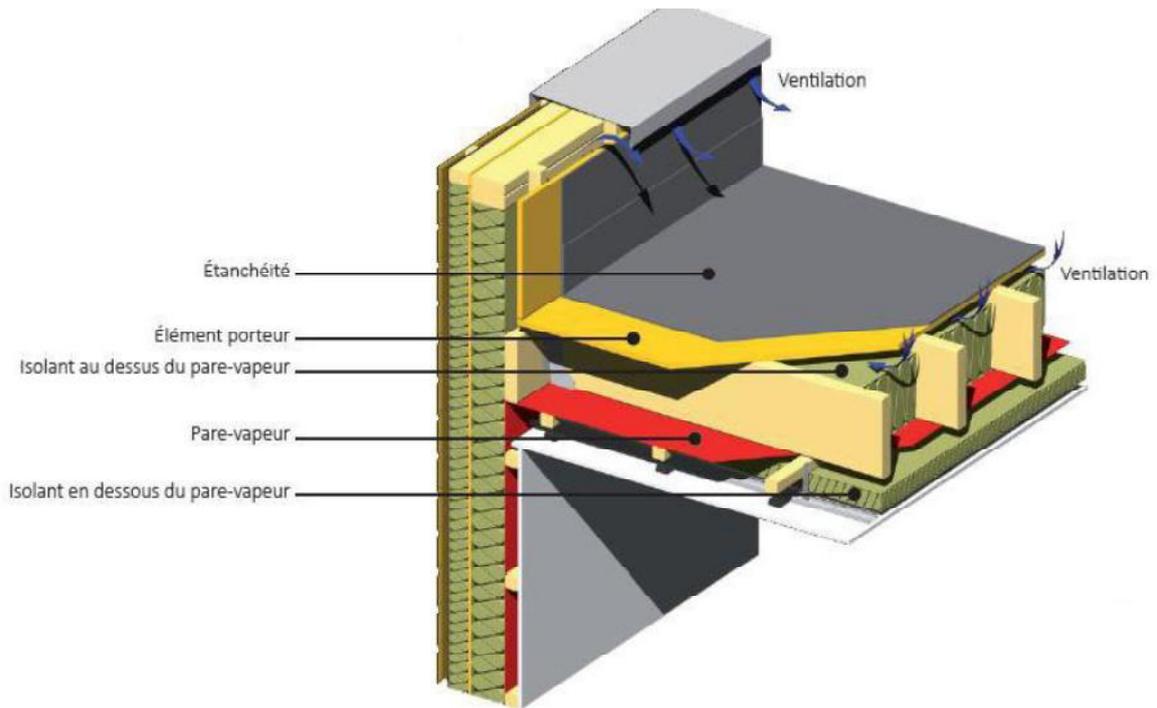


Figure 167 Détail Caissons de toitures en bois
Source : Metsawood

On a opté pour ce system caractérisé par le fait que la sous-face de l'élément porteur comprend un espace ventilé communiquant avec l'air extérieur. Lorsqu'une isolation thermique est recherchée, elle est placée sous la lame d'air ventilée.



Figure 168 System de lame d'air dans le plancher
Source : Metsawood

f. Détail constructif : liaison Pisé- Bois

La liaison entre pisé et BLC suit le même principe évoqué pour le BTC et le bois, une

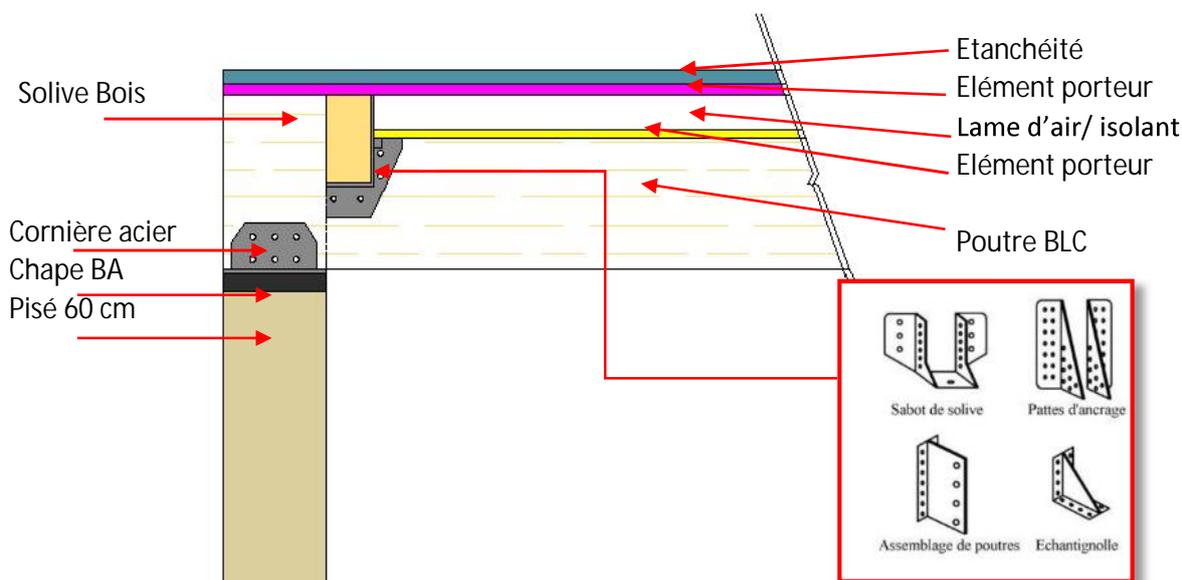


Figure 169 Détail constructif Pisé- Bois
Source : Etabli par l'auteur

1.6. Enveloppe extérieur

1.6.1. Des murs rideaux bois à haute résistance thermique

Ces modules de vitre haute performance permettent à la fois d'exploiter un maximum de lumière naturelle et d'optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments. D'ailleurs, la technologie Therm + intégrant un vitrage triple porte le label Passivhaus. Pour contrer les ponts thermiques des joints de caoutchouc robustes sont utilisés. Ceux-ci forment une chambre au centre de l'assemblage.⁵⁸



⁵⁸ <http://www.uqac.ca/>

- **Application dans notre projet**



Mur Rideau en bois avec technologie Therm+

1.6.2. Moucharabieh et filtre solaire :

A son origine le Moucharabieh est dispositif de ventilation naturelle forcée fréquemment utilisé dans l'architecture traditionnelle des pays arabes. La réduction de la surface produite par le maillage du moucharabieh accélère le passage du vent.

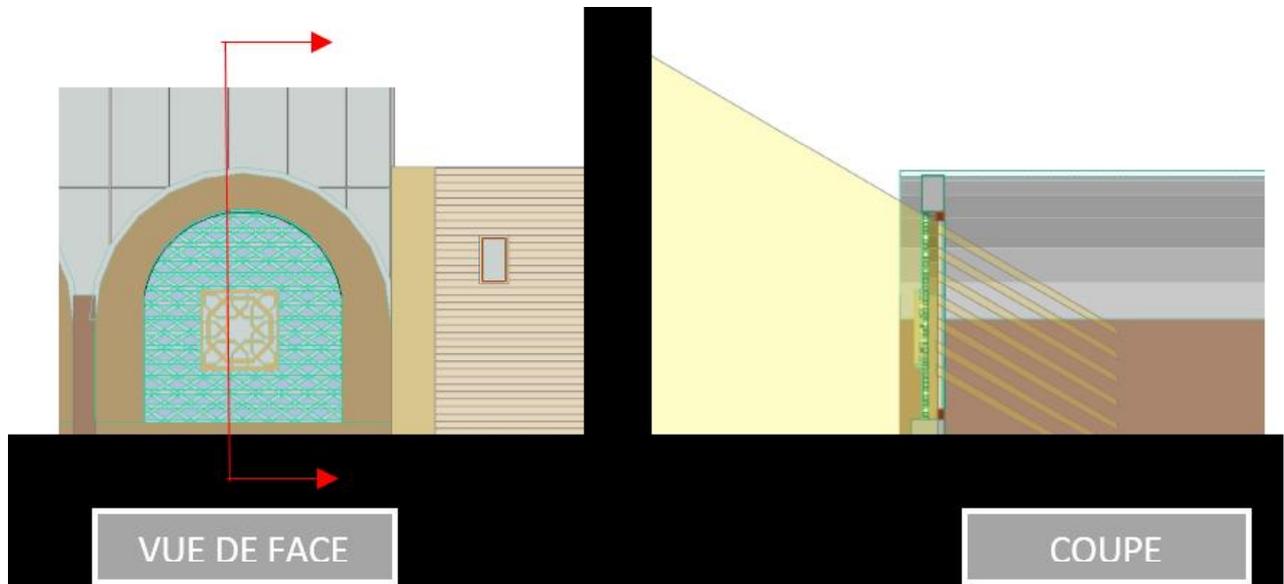


Figure 170 Détail constructif moucharabieh

Source : Établi par l'auteur

1.6.3. Traitement de surface :

Les enduits de terre peuvent être appliqués sur tous types de supports : terre crue, brique en terre cuite, plâtre...L'application de la terre se fait de manière similaire à celle des enduits conventionnels.

Les surfaces recevant les enduits (murs, plafonds) sont d'abord nettoyées. Puis, suivant la qualité du support et l'effet esthétique recherché, les enduits sont appliqués en une ou plusieurs couches.

L'aspect des surfaces en terre change suivant l'angle d'incidence de la lumière qui leur donne une apparence vibrante et chaleureuse. Très douces et lisses ou au contraire découpées de formes géométriques, enrichis en fibres de paille ou en poudre de nacre, les enduits de terre permettent de créer des atmosphères très diversifiées.



Figure 171 Exemples traitent en terre

Source : Construire en terre aujourd'hui, les enduits en terre

2. Impacts de notre technologie

L'utilisation de la terre comme matériau de construction possède de nombreux avantages. D'un point de vue thermique, les murs en terre comme le pisé et le BTC possède une excellente inertie thermique. L'acoustique des salles à couverture en voute et coupole souffre d'un problème d'écho. D'autres éléments de conception proposent une utilisation minimum de l'éclairage artificiel et de systèmes de renouvellement d'air. Nous allons vérifier ces données dans cette partie dans l'ombre d'une démarche durable ou environnementale.

2.1. impacte thermique :

La thermique du bâtiment est une discipline de la thermique visant à étudier les besoins énergétiques des bâtiments. Elle aborde principalement les notions d'isolation thermique et de ventilation afin d'offrir le meilleur confort thermique aux occupants.

L'ensemble des parties d'un bâtiment est soumis aux transferts thermiques, qui sont des échanges de chaleur entre le milieu chaud et le milieu froid (généralement de l'intérieur vers l'extérieur). La connaissance et la maîtrise de ces transferts thermiques permet une gestion de la facture énergétique d'un bâtiment.

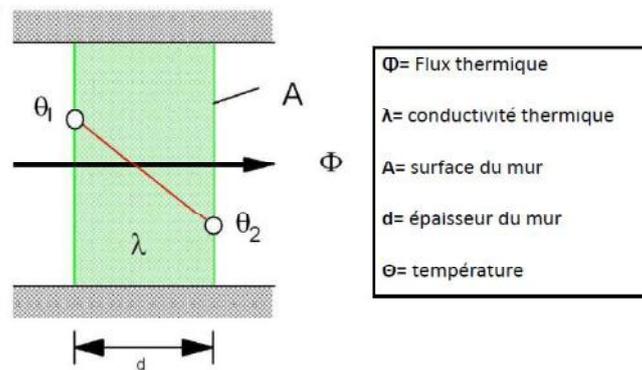


Figure 172 flux thermique stationnaire à travers un mur simple couche plat.

Le mur transmet la chaleur par conduction dans son épaisseur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Calculer la déperdition thermique d'une paroi revient à calculer le flux thermique qui la traverse.

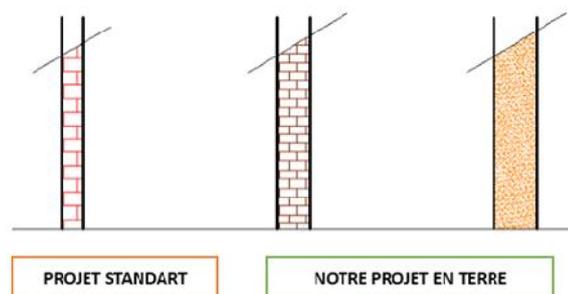
2.1.1. Rappel des grandeurs thermo physiques :

2.1.2.

Conductivité thermique	
C'est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction. Elle est exprimée en watt par mètre-kelvin, (W · m ⁻¹ · K ⁻¹). Plus elle est faible plus le matériau sera isolant.	
Résistance thermique	
Le flux de chaleur traversant un matériau paroi dépend de son épaisseur et de sa conductivité thermique λ. La résistance thermique met en relation l'épaisseur et la conductivité thermique et elle s'exprime en (m ² · K · W ⁻¹)	$R_T = \frac{e}{\lambda}$
Diffusivité thermique :	
Exprime la capacité d'un matériau à transmettre (rapidement) une variation en température, son unité est (m ² / heure).	$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot C_p}$
Chaleur spécifique :	
La chaleur massique d'un corps correspond à la quantité de chaleur dont il a besoin pour que la température d'une unité de masse s'élève d'un degré.	$C_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$
Effusivité thermique :	
Représente la rapidité avec laquelle la température superficielle d'un matériau se réchauffe. Plus le coefficient est bas, plus le matériau se réchauffe vite.	$E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot C_p}$
L'inertie thermique	
L'inertie thermique, est quantifiée par deux grandeurs physiques essentielles, la diffusivité thermique et l'effusivité thermique. Celles-ci sont fonction de la conductivité thermique du matériau (λ), la capacité thermique massique du matériau (c), la masse volumique (ρ).	

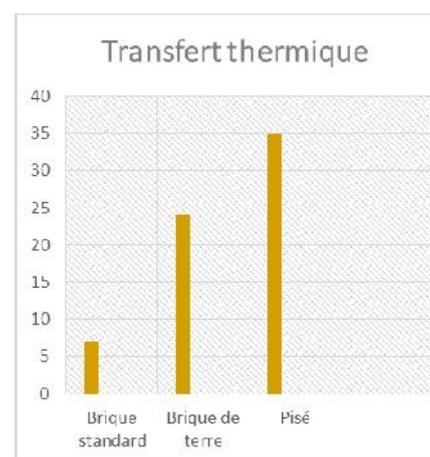
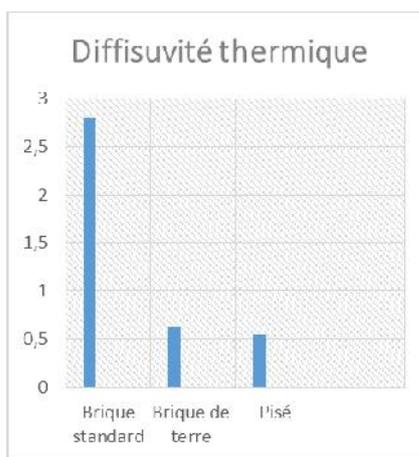
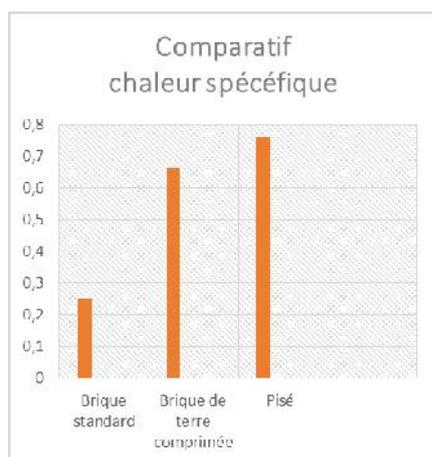
2.1.3. Application de calcul dans notre cas :

Après avoir survolé quelques grandeurs de la thermo physique nécessaire pour tout calcul sur la conductivité de la paroi, nous allons appliquer ces calculs dans notre cas dans une démarche comparative. On a pris comme échantillonnage des murs en BTC, pisé, et briques creuses.



MATERIAUX	conductivité	épaisseur	Résistance thermique	Masse volumique	Chaleur spécifique	Diffusivité thermique	Temps de transfert
Symbole	λ	e	R	ρ	C_p	α	Π
Unité	(W·m-1·K-1)	m	(m2.K.W-1)	(kg/m3)	(Wh/Kg K)	(m²/h)	h
Brique creuse (standard)	0.45	0.30	0.6	650	0.25	2.8 E-3	7
Brique de terre	0.76	0.45	0.59	1800	0.66	0.63 E-3	24
Pisé	1.05	0.6	0.57	2500	0.76	0.55 E-3	35

2.1.4. Interprétation des données :



- En ce qui concerne la chaleur spécifique : le mur en BTC et le mur en pisé ont besoin de **3 fois** plus de quantité de chaleur que le mur en brique standard pour monter de 1 degré de température. Ce qui leur confère des qualités de **régulateur thermique**.
- En ce qui concerne la diffusivité thermique : la vitesse à laquelle la chaleur se propage dans le mur est **5 fois** plus lente dans le pisé et le BTC que dans un mur de brique standard.
- En ce qui concerne le temps de transfert : **24h** pour le BTC et **35h** pour le pisé, ce qui est largement satisfaisant et permet d'alterner la différence de température entre le jour et la nuit. (la moyenne avec isolant est de 12h).

L'inertie des murs en terre est suffisante pour garantir un confort thermique sans avoir recourt à des isolants ou des systèmes de climatisation.

2.2. impacte acoustique :

L'acoustique architecturale s'intéresse à la bonne propagation du son dans un espace, créant ainsi un confort acoustique adéquat à l'utilisation du lieu. Il existe deux axes d'intervention : l'isolation et la correction. Tout matériau, system constructif ou disposition architecturale possède sa propre caractéristique acoustique.

2.2.1. L'acoustique des structures en terre :

Dans notre cas les structures en terre sont des couvertures curvilignes ; les voutes et les coupoles. Les structures voûtées sont caractérisées par deux phénomènes acoustiques : l'écho et la réverbération. Echo est un phénomène d'inconfort qui ne se produit que dans des dômes qui sont générés par la partie d'une sphère.

Les voutes et les dômes manifestent toujours une forte réverbération, ce qui représente le temps nécessaire pour que le son disparaît. Cette réverbération est due à 2 facteurs : la taille du volume créé par la structure en voûte ou la coupole et la forme de la structure, ce qui tend à maintenir le son en lui – même.

2.2.2. La correction par absorbeur résonateur simple :

L'écho et la réverbération peut se limiter par des correcteurs acoustiques, qui sont appelés absorbeurs résonateurs simples. Un ingénieur allemand, Helmholtz, a élaboré des formules pour les calculer. La voix humaine est comprise entre 100 Hz et 2 kHz, avec une fréquence moyenne à 400 Hz. Correcteurs de différentes tailles peuvent être installés pour absorber les fréquences souhaitées.

a. Principe de fonctionnement :

Une cavité ouverte dans une pièce et fermée de l'autre côté résonnera à une certaine fréquence. Lorsqu'un son frappe le résonateur, l'air dans le col vibre fortement absorbant ainsi le bruit par perte visqueuse. Ces types d'absorbants ont été utilisés depuis longtemps dans les monastères européens, de manière à corriger l'acoustique des voûtes et dômes. Aujourd'hui, les formules élaborées par Helmholtz permettent le calcul de ces absorbeurs de résonateur unique. La fréquence absorbée est liée au volume de la cavité et dont le diamètre et la longueur du col qui le relie à la pièce.

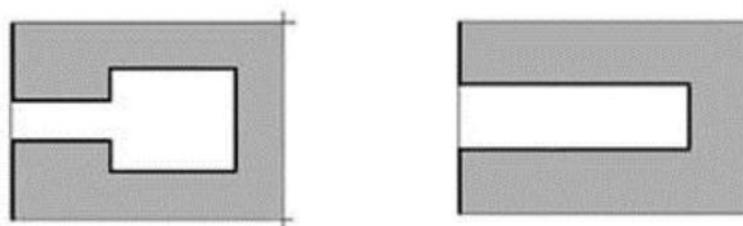


Figure 173 Résonateur à cavité et un col (à gauche), résonateur à tube (à droite)

Source: Environmental and architectural acoustics – Z. Maekawa

b. Exemples d'utilisation :

La correction par absorbeur résonateur simple fut utilisée par les bâtisseurs d'Auroville, d'abord dans la construction de l'institut de l'architecture de terre à Auroville puis dans le projet de dôme du Dhyanalina en Inde.



Figure 174 Exemple utilisation résonateurs absorbants
Source : Earth-Auroville.com

c. Application dans notre projet :

On a proposé cette technique pour les voutes qui couvre les salles de classes et les laboratoires. Le dessin suivant montre la disposition des absorbeurs résonateurs simples d'une manière schématique.

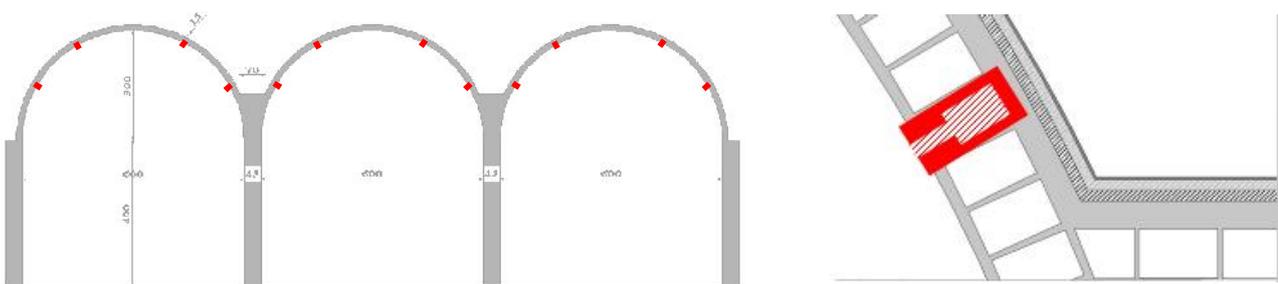
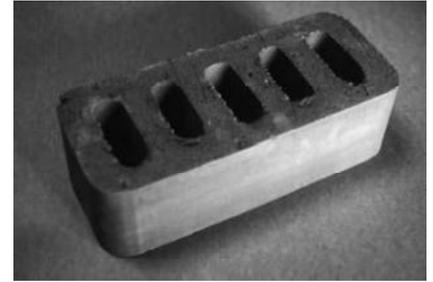


Figure 175 Application Résonateurs absorbants dans notre projet
Source : Etabli par l'auteur

2.2.3. Correction par les briques aux coins arrondies :

L'écho est un phénomène d'inconfort ressenti sous les dômes, qu'ils soient à base circulaire ou bas carré. L'auteur du livre « **Building with earth, design and technology of a sustainable architecture** », Gernot Minke, a développé des briques spéciales à coins arrondies afin d'optimiser l'acoustique des espaces couverts par dôme.



a. Principe de fonctionnement :

La bonne distribution du son est assurée par le creux des joints entre les briques. La fréquence absorbée est liée à la cavité résultante de l'espacement entre les coins arrondis.

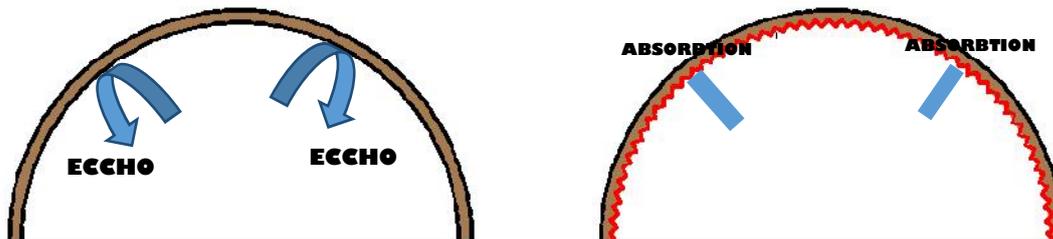


Figure 176 Schéma fonctionnement brique acoustique
Source : Etabli par l'auteur

b. Exemples d'utilisation :

La correction par briques à coins arrondis fut développée pour les dômes mais aussi les murs. Les exemples de cette technique figure dans le livre « **Building with earth, design and technology of a sustainable architecture** ».

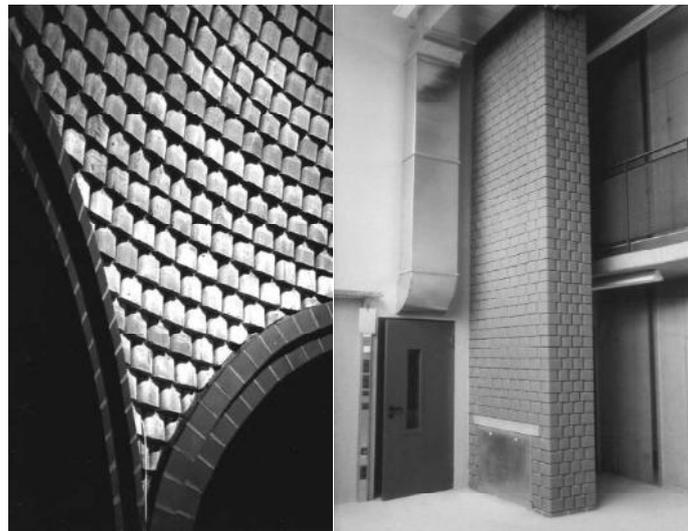
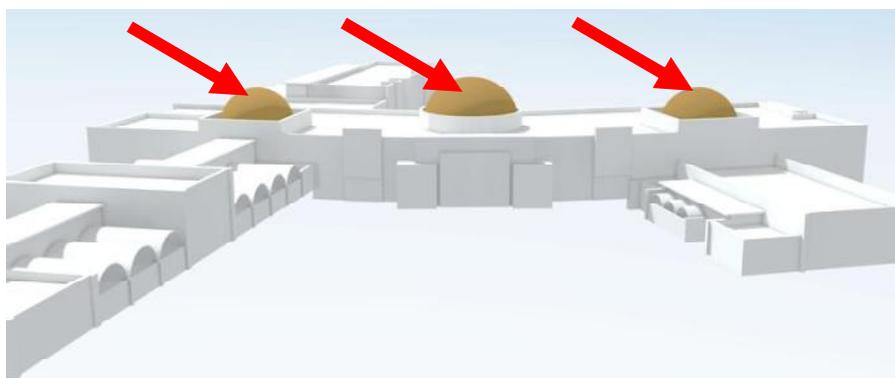


Figure 177 Exemples d'utilisation brique à coins arrondies
Source: Building with earth – GERNOT Minke

c. Application dans notre projet :

On a proposé cette technique pour la couverture intérieure des 3 coupoles de notre projet.



2.3. Impact environnemental :

Afin d'évaluer le degré d'impact environnemental de notre proposition architecturale, on a élaboré une évaluation suivant les différentes cibles HQE (chapitre 01). Cette évaluation nous permettra de questionner notre projet vis-à-vis son environnement, tout cela dans l'ombre d'une conception durable.

2.3.1. Rappel HQE :

La qualité environnementale est le grand apport de l'association "HQE". Elle constitue une utile clarification et une mise en ordre opérationnelle des exigences intitulées "cibles". Les 14 cibles retenues sont classées selon 2 "domaines" et 4 "familles" :

	Domaine I : maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur	Domaine II : création d'un environnement intérieur satisfaisant
Pris en compte dans notre évaluation	Première famille : les cibles de l'écoconstruction Les cibles de cette famille correspondent à la volonté de maîtriser les effets dus à l'existence même du bâtiment, depuis sa programmation jusqu'à la fin de sa vie.	Troisième famille : les cibles du confort
	1° — relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat	8° — confort hygrothermique
	2° — choix intégré des procédés et produits de construction	9° — confort acoustique
Non pris en compte dans notre évaluation	3° — chantier à faibles nuisances	10° — confort visuel
	Deuxième famille : les cibles de l'éco-gestion Les cibles de cette famille correspondent à la Volonté de maîtriser les effets dus à l'exploitation du bâtiment.	Quatrième famille : les cibles de santé
	4° — gestion de l'énergie	12° — conditions sanitaires des espaces
	5° — gestion de l'eau	13° — qualité de l'air
	6° — gestion des déchets d'activités	14° — qualité de l'eau
	7° — gestion de l'entretien et de la maintenance	

2.3.2. Evaluation de notre projet :

On a établi un tableau résumant les caractéristiques du projet par rapport au référentiel HQE, il est impossible d'atteindre les 1 cibles réunies, une moyenne de 7 cibles est courante. On prendra en compte que l'écoconstruction et les cibles du confort dans notre évaluation, cette décision se justifie par l'objectif établi (chapitre01) et l'échelle du projet (esquisse) :

	La cible	Dispositions prises	Etat
Ecoconstruction	Relation du bâtiment avec son environnement immédiat	<ul style="list-style-type: none"> - Intégration des caractéristiques du site archéologique de Mansourah. - Respect de la visibilité vers le monument historique - Respect des abords du monument 200m - Conception de plateformes selon les courbes de niveaux 	Atteinte
	Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de la terre comme matériaux principal - Utilisation du bois matériau durable et écologique - L'utilisation de la charpente en lamellé collé et la toiture en bois assure une fin de vie à faible impact environnemental. - Réduction des énergies liée aux transports et engins lourds. - Réversibilités des matériaux et procédés utilisés. 	Atteinte
	Chantier à faible impact environnemental	<ul style="list-style-type: none"> - Travail majoritairement manuelle, 2 maçons pour une voute, 8 maçons pour la coupole. - Pas d'émission de poussière ou produit polluant 	Atteinte

	La cible	Dispositions prises	Etat
Confort	Confort hygrothermique	<ul style="list-style-type: none"> - Inertie thermique des murs offre un confort interne. - Orientation des baies vitrés Sud et Est. - Intégration de systèmes de ventilation naturelle via les ouvertures de coupoles. 	Atteinte
	Confort acoustique	<ul style="list-style-type: none"> - Les murs massifs en terre protègent les locaux de bruits externes. - Protection des locaux des bruits extérieurs via le recule projeté. - Utilisation de correcteur thermique afin d'atténuer les effets d'écho et de réverbération des espaces voutés et coupoles. 	Atteinte
	Confort visuel	<ul style="list-style-type: none"> - Priorité à l'éclairage naturel - Utilisation de moucharabieh et claustra afin d'éviter les phénomènes d'éblouissement - Profiter de l'éclairage hivernal - Offrir des vues extérieures agréables (espaces verts, promenade et perspective vers le monument. 	Atteinte

3. Approche sismique :

L'approche sismique est indispensable dans la construction, elle permet de prévenir les dégâts collatéraux et réduire d'une manière considérable les pertes humaines et matérielles. Tlemcen, ne présente pas de risque sismique, néanmoins dans le but de prouver la flexibilité de la terre comme matériau et pour répondre à certains préjugés liés à sa construction, nous allons présenter quelques recommandations de préventions et des techniques de renforcement « sismique ».

3.1. Principes des séismes dans la construction

3.1.1. Effets du séisme

Les tremblements de terre ne tuent pas directement les gens. Secousses détruit les infrastructures et les bâtiments et, par conséquent, il est de nature matérielle. La mort de personnes est produite par l'effondrement de bâtiments dans lesquels ils vivent. Par conséquent, la véritable cause de la perte de la vie est mal construit ou constructions un-approprié, qui effondrent instantanément sans avertissement. Mouvement au sol lors d'un séisme L'hypocentre d'un tremblement de terre génère différents types d'ondes. Quand ils atteignent la surface, le sol tremble partout horizontalement et verticalement en particulier près de l'épicentre. Les mouvements sont toujours réversibles, ce qui implique que les bâtiments vibrent dans toutes les directions et d'une manière très irrégulière en raison de l'inertie de leurs masses.

3.1.2. Effets du séisme sur la construction :

Les éléments structurels, tels que les murs, les colonnes et les poutres, ne portent le poids de l'édifice et la charge utile dans des conditions normales : la plupart des forces de compression pour les murs et les colonnes, et flexion verticale pour les poutres. Sous la charge dynamique, ils doivent aussi résister à la flexion horizontale et les forces de cisaillement, et les forces supplémentaires de compression verticale. Il est une erreur de croire que les bâtiments de terre sont plus sensibles aux tremblements de terre que les autres ceux qui sont construits avec des pierres, des briques ou des blocs de béton. La question est toujours la façon dont les bâtiments sont conçus et construits.⁵⁹

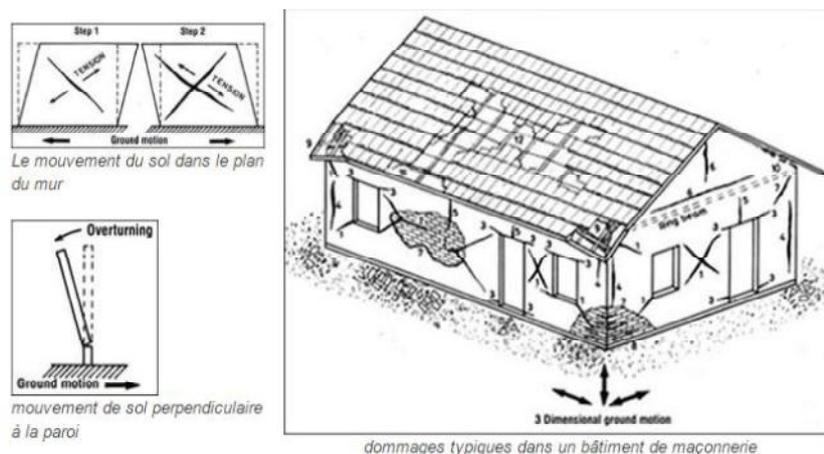


Figure 178 Effets du séisme sur des constructions en maçonnerie
Source : Earth-Auroville.com

⁵⁹ Les tremblements de terre et les structures, Source : <http://www.earth-auroville.com/>

3.2. Génie parasismique pour l'architecture de terre ⁶⁰:

La résistance aux séismes des constructions en terre peut être améliorée par des pratiques de constructions adoptées. Ces pratiques qui relèvent, pour l'essentiel, de la maçonnerie doivent également prendre en compte la spécificité du matériau terre. Le poids spécifique de la terre, sa faible résistance mécanique et sa rupture fragile en font un matériau très sensible aux actions des séismes.

Divers organismes ont mis au point des recommandations destinées à améliorer la qualité de la maçonnerie, son appareil et son homogénéité et la qualité de sa résistance aux sollicitations sismiques. Concernant la maçonnerie de terre, des recommandations ont également été proposées, dont seul un petit nombre a fait l'objet d'une mise en application systématique.

3.2.1. Forme et nature des briques :

Il a été proposé d'utiliser des briques carrées de 40x38x10 cm. Ces dimensions offrent de bonnes possibilités d'appareils sous réserve d'établir des plans parfaitement calepinés. Par ailleurs, il est envisageable, par ajout d'une certaine quantité de paille, d'obtenir une amélioration du comportement des maçonneries réalisées avec ce type de brique. Pour cela, il suffit que l'amélioration due à la réduction de masse ne soit pas totalement compensée par la réduction de résistance qui intervient simultanément.

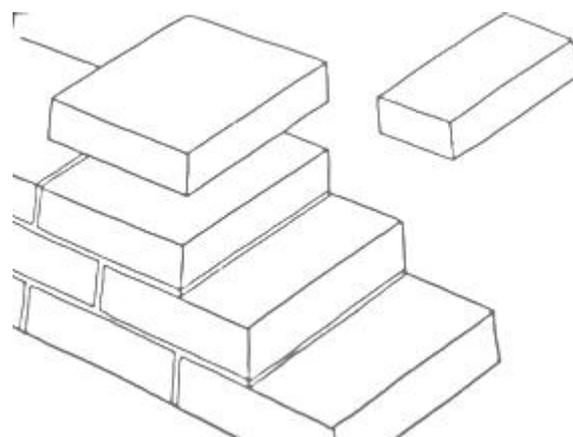


Figure 179 : Exemple forme et nature des briques

Source : Traité de construction en terre -CRATerre

3.2.2. Briques autobloquantes :

Au Mexique, des essais ont été fait avec des briques autobloquantes appareillées sans mortier. Des bâtiments ont été construits selon ce principe qui est susceptible d'apporter des améliorations.

Les briques de ce genre, stabilisées, peuvent être fabriquées à l'aide des presses les plus simples.

Toutefois, la finition doit en être parfaite et elles posent de réels problèmes de stockage et de manutention.

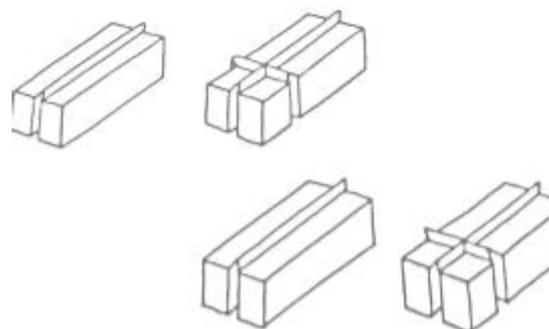


Figure 180 : Exemple de brique autobloquantes.

Source : Traité de construction en terre -CRATerre

⁶⁰ HAUBEN, GUILLAUD, Traité de construction en terre -CRATerre, ED Parenthèses, 1995.

3.2.3. Briques pour maçonnerie armée :

Dans la maçonnerie armée, on peut employer des briques ordinaires mais cela crée des problèmes de mise en œuvre. C'est pourquoi il a été proposé des briques avec réservations permettant la pose des armatures horizontales et verticales.

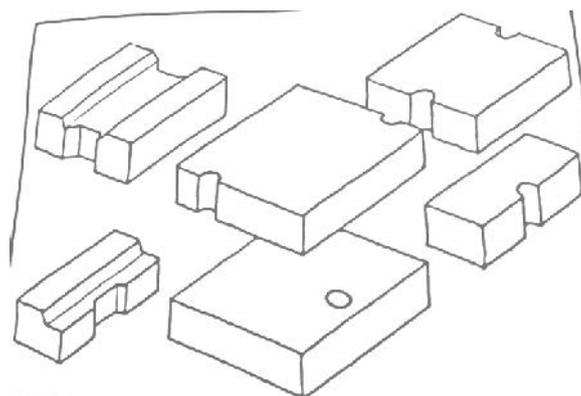


Figure 181 : Exemple de briques pour maçonnerie armée

Source : Traité de construction en terre
-CRATerre

3.2.4. Mortier de pose et appareil :

La qualité du mortier et de la pose accroît la résistance aux séismes. Tel est l'emploi d'un mortier de terre stabilisée, en lieu et place d'un simple mortier de terre. La stabilisation du mortier augmente le frottement aux interfaces et son adhérence, est à proscrire. L'absence ou la mauvaise réalisation des joints verticaux réduit nettement la résistance à la compression du mur et, plus encore, les résistances à la flexion et au cisaillement. L'appareil doit être conçu de manière à ce que la disposition des joints préfigure le moins possible les fractures diagonales caractéristiques des ruptures d'origine.

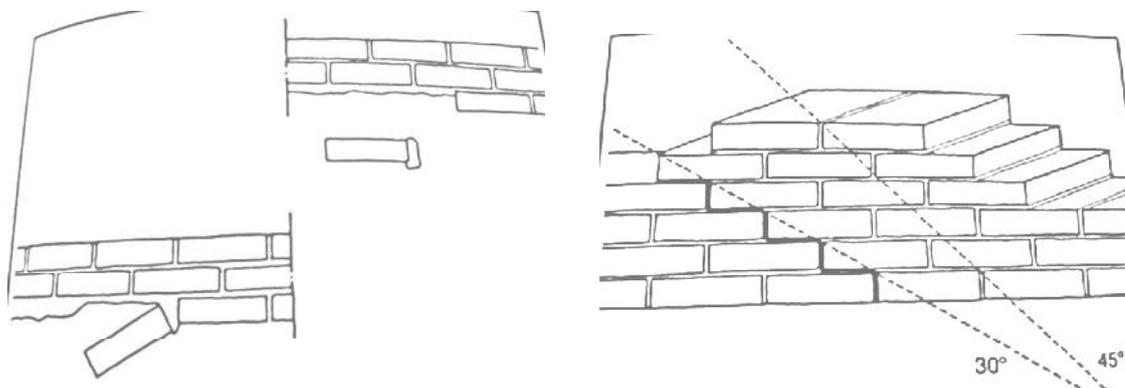


Figure 182 : Exemple de mortier de pose et appareil.

Source : Traité de construction en terre
-CRATerre

3.2.5. Maçonnerie armée :

Les armatures horizontales et verticales sont réalisées en bambou, en eucalyptus, en fer à béton, en fil de fer barbelé.... La présence d'armatures augmente fortement la résistance à la traction et à la flexion. Il est possible d'armer des murs en briques ordinaires mais il est préférable d'employer des briques spéciales.

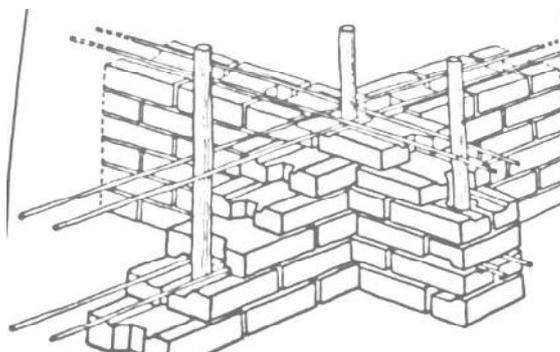


Figure 183 : Exemple de Maçonnerie armée
Source : Traité de construction en terre -CRATerre

3.2.6. Chainages :

Il s'agit de l'un des éléments constructifs les plus parasismiques. Ils assurent une bonne transmission des efforts, de façon à ce que la structure constitue un ensemble fortement organisé. Les chainages bas et haut seront reliés par des éléments verticaux aux angles et à la liaison des murs continus. L'absence de chaînage rend pratiquement inefficace toute autre mesure parasismique, particulièrement lorsque l'on réalise des murs peu épais ou élancés.

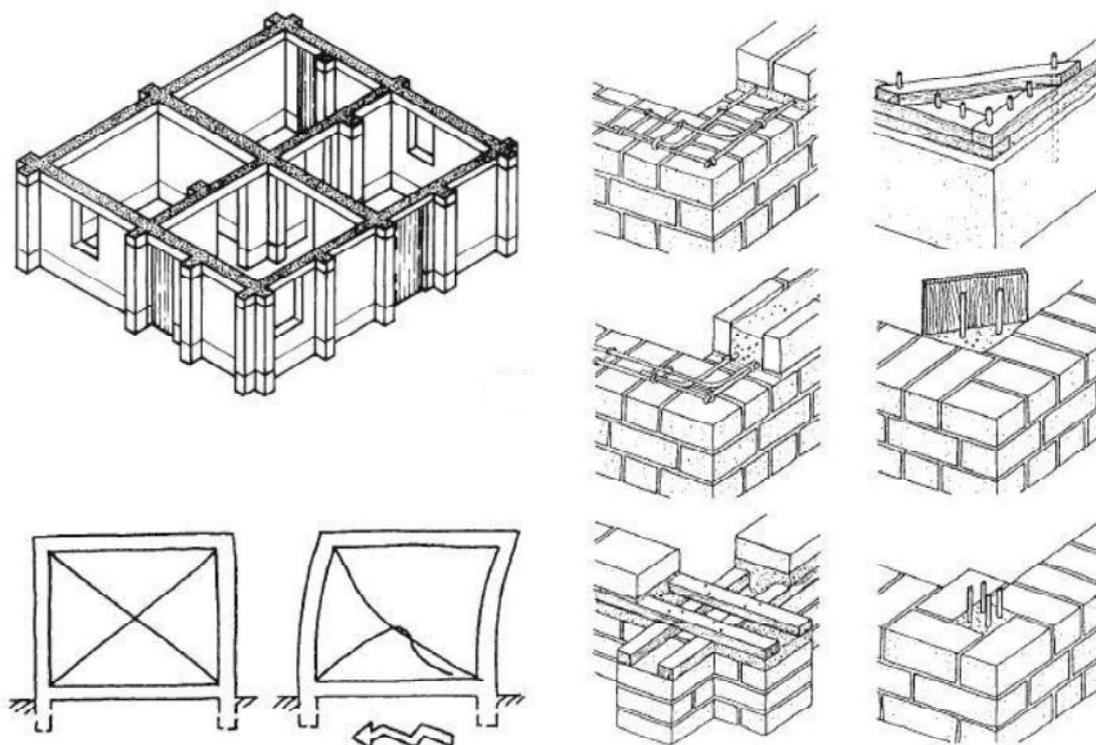


Figure 184 : Exemple de Chainages
Source : Traité de construction en terre -CRATerre

Conclusion

Ce chapitre avait pour objectif principal : faire tenir le projet structurellement, nous a prouvé que la terre n'est pas qu'un simple matériau parmi tant d'autre mais plutôt une culture constructive d'une haute technicité. Une démarche entre l'ancien et le nouveau a donné à notre approche les moyens de répondre aux critères de durabilité cités dans le chapitre 1. La terre est un matériau structurel, écologique et a des hautes performances énergétiques.

CONCLUSION GENERALE

L'architecture de terre est une culture constructive ancestrale qui a déjà fait ses preuves. Délaissée depuis la révolution industrielle elle refait surface et se propose comme une réponse aux carences du modernisme. L'objectif de ce travail fut une mission de redécouverte de ses cultures d'autrefois et les réinterpréter dans notre société contemporaine. Une fois le voile levé sur le matériau terre, on y retrouve des enseignements, que dans leur processus d'intégration au contexte donné, ils intéressent l'architecture contemporaine.

Le premier chapitre nous a permis de faire une analogie entre le patrimoine et le développement durable, cette analogie nous propose la terre comme alternative durable passive face aux solutions hi-Tech.

Le second nous a offert un éventail de techniques ancienne et leur modernisation prouvant que la terre est l'égale des matériaux modernes (ou les surpasse).

Les deux chapitres qui suivent ont porté une réponse a notre problématique ou la promotion de l'architecture de terre se fait par le billet de la formation et de l'interprétation et intiment lié à son site.

La projection d'un centre de formation et d'interprétation en architecture de terre au sein du site de Mansourah nous a permis de toucher plusieurs enjeux :

- Enjeu patrimonial : valorisation du site de Mansourah
- Enjeu urbain : proposition d'une réponse aux servitudes liées au site et monument historiques qui freine la croissance de la ville.
- Enjeu technologique : lié à notre option ou il est question de moderniser la terre en s'épaulant des nouvelles technologies en la matière.
- Enjeu écologique : dans la projection d'un centre a énergie passive.

Un dernier enjeu fut l'architectural ou il fut difficile de répondre aux exigences du site de la culture locale tout en utilisant des éléments universelle de l'architecture de terre.

Enfin, la terre comme matériau de construction se propose comme une solution de haute technicité, durable, écologique et reflète la culture locale.

Figure 1 Exemples de l'architecture contemporaine	18
Figure 2 Multiplex Kristallpalast - Dresde (Allemagne).....	19
Figure 3 Belvédère en bois, centre-ville de Séville (Espagne).....	19
Figure 4 Cathédrale de la Résurrection - Evry (Essonne)	19
Figure 5 Mur végétal des Halles d'Avignon (Vaucluse)	20
Figure 6 Principaux repères chronologique du DD	21
Figure 7 Les trois piliers du développement durable	22
Figure 8: <i>L'éco-quartier Eva Lanxmeer (Pays-Bas</i>	23
Figure 9: <i>Schéma explicatif du fonctionnement d'une maison bioclimatique</i>	24
Figure 10: <i>Borne d'aspiration des déchets pour recyclage</i>	24
Figure 11 <i>le cycle de vie des matériaux</i>	25
Figure 12 Les énergies induites des différents matériaux de construction Kwh/t	25
Figure 13 Quelques exemples des ECO-matériaux.....	26
Figure 14 <i>Principe du cycle des matériaux de constructions</i>	26
Figure 15 Les cibles de la HQE.....	27
Figure 16 Analyse comparative des labels.....	29
Figure 17 Schéma expliquant l'analogie entre bâti ancien et DD	30
Figure 18 <i>Quelques aspects d'architecture vernaculaire sud algérien M'ZAB</i>	31
Figure 19 <i>Les troglodytes de Matmata en Tunisie</i>	32
Figure 20 <i>inerte thermique d'une paroi en pierre</i>	33
Figure 21 <i>Procédés constructifs traditionnels</i>	33
Figure 22: <i>Le cycle écologique des architectures de terre</i>	30
Figure 23 Comparaison des coûts énergétiques de la brique	31
Figure 24 Zones de répartition des architectures de terre inscrites sur	32
Figure 25 Tchoga Zanbil en Iran. 1250 av JC	33
Figure 29 Village fortifié de Bololahn en Afghanistan. d	33
Figure 31 Village de Gourn, Egypte	34
Figure 32 Domaine de la terre d'Isle d'abeau	34
Figure 33 Documents graphiques du projet pilote Mustafa ben Brahim.....	35
Figure 34 Comparatif des exemples de valorisation de l'architecture de terre	36
Figure 35 Biens inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO	37
Figure 36 Quelques exemples en terre du patrimoine mondial UNESCO	37
Figure 39 Ain Salah, Tamanrasset	41
Figure 37 Minaret Mansourah Tlemcen	41
Figure 38 Ksar Taghit, Bechar.....	41
Figure 40 Exemples de réalisations du CNERIB	42
Figure 41 Exposition de l'architecture de terre à Tlemcen	43
Figure 42 Schématisation de construction en terre et inertie thermique.....	47

Figure 43 Processus de la construction en terre	49
Figure 44 Image microscopique de la cohésion des grains et des argiles	50
Figure 45 La roue des techniques. FONTAINE Laetitia, ANGER Romain	51
Figure 46 Les différentes techniques de construction en terre	52
Figure 47 System constructif des principales techniques en terre	52
Figure 48 Les terres à pisé	53
Figure 49 Cycle de production du technique pisé	53
Figure 50 Terre à adobe.....	55
Figure 51 Cycle de production de la technique de l'adobe.....	55
Figure 52 Pondeuse à adobe.....	55
Figure 53 Terre à torchis.....	57
Figure 54 Cycle de production de la technique du torchis	57
Figure 55 Torchis préfabriqué	58
Figure 56 Terre à bauge	59
Figure 57 Cycle de production de la technique de bauge	59
Figure 58 Terres à BTC	60
Figure 59 Cycle de production du BTC	61
Figure 60 Terre à pisé H2O.....	61
Figure 61 Mise en œuvre du pisé H2O	62
Figure 62 Exemple de réalisation en Pisé H2O- Prototypes.....	62
Figure 63 Pâte argileuse devient liquide avec une pincée de dispersant.....	63
Figure 64 Terre coulée, remplis dans un coffrage	63
Figure 65 Toiture plate dans les constructions en terre du sud marocain	65
Figure 66 Principales configurations toitures plates.....	65
Figure 67 Types de liaisons Planchers- murs en terre.....	66
Figure 68 Maison en terre à toiture incliné.....	66
Figure 69 Types d'ancrage des toitures inclinés dans le mur en terre.....	66
Figure 70 Les différentes formes de voutes.....	67
Figure 71 Voute de 10.35m construite sans coffrage en 3 semaines.....	67
Figure 72 Schéma explicatif sur la flèche et la poussé des voutes.....	67
Figure 73 Solutions pour la bonne stabilité des voutes.....	68
Figure 74 Les différentes formes de coupoles.....	68
Figure 75 Temple Dhyanalinga 22.16 m, Inde.....	68
Figure 76 Différents types de fondations	69
Figure 77 Les différents modes de percement mur en terre	70
Figure 78 Mesures préventives des constructions en terre	73
Figure 79 Le schéma de bonne conception architecturale d'un bâtiment en terre.....	74
Figure 80 Schéma explicatif de la genèse du type de notre projet	79

Figure 81 Schéma de l'organisation des rôles dans un CIFAT	79
Figure 82 Position stratégique de Tlemcen dans le NORD OUEST	86
Figure 83 Tableau récapitulatif : Enseignement supérieur et formation professionnelle	88
Figure 84 Quelques chiffres sur les sites et monuments historiques de Tlemcen	89
Figure 85 Exemples de Monuments historiques de Tlemcen	90
Figure 86 restitution du palais du Mechouar avant et après les travaux	90
Figure 87 Restauration de Bâb El Kermadine 2003.....	91
Figure 88 Minaret de Mansourah, avant et après les travaux 2011	91
Figure 89 Exemples d'équipements culturels récents de Tlemcen	92
Figure 90: Tableau comparatif choix du site.....	93
Figure 91 : Diagramme comparatif des sites.	94
Figure 92 : Schéma récapitulatif de la capacité d'accueil.....	97
Figure 93 : Tableau des types d'utilisateur.	98
Figure 94 : Organigramme fonctionnelles	99
Figure 95 : Tableau du programme de base.....	100
Figure 96 Modèles d'espaces d'accueil.....	101
Figure 97 Modèles d'espaces d'exposition	102
Figure 98 Schéma de circulation possible dans l'exposition.....	102
Figure 99 exemples d'éclairage dans une exposition.	103
Figure 100 Espaces de formation en architecture de terre	103
Figure 101 Champ d'expérimentation GDB à gauche et Auroville à droite.	104
Figure 102 Chambre double, centre de la terre Marrakech	104
Figure 103 Méthode de calcul des surfaces.....	106
Figure 104 : Tableau programme surfacique.	107
Figure 105 Carte de délimitation du PPMVSA Mansourah.....	108
Figure 106 Rampart de Mansourah.....	109
Figure 107 Minaret de la mosquée de Mansourah.....	109
Figure 108 Plan Initial de la Mosquée de Mansourah	109
Figure 109 Extrait lois 98-04 article 17.....	112
Figure 110: Carte des contraintes et servitudes du site Mansourah.....	112
Figure 111 : Délimitation du terrain d'intervention.	113
Figure 112: Carte d'accessibilité au terrain.	113
Figure 113 : Carte de morphologie et dimension du terrain.	114
Figure 114 : Carte de synthèse des problématiques du site.....	114
Figure 115 : Schéma de la visibilité du monument.....	115
Figure 116 : Perspective de la visibilité du monument.	115
Figure 117 : Schéma de l'accessibilité et parcours principal.	116
Figure 118 : Perspectives de l'accessibilité et parcours principal.	116

Figure 119 : Axes structurants.....	117
Figure 120 : zoning des entêtées de base.....	117
Figure 121 : Organigramme fonctionnelle et parcours principaux	118
Figure 122 : Schéma des différents parcours du projet.	119
Figure 123 : Schéma implantation des masses.	120
Figure 124 : Perspective implantation des masses.....	120
Figure 125 : Schéma de l'ouverture vers le site	121
Figure 126 : Perspective de l'ouverture vers le site.	121
Figure 127 : Schéma des articulations	122
Figure 128 : Perspective des articulations	122
Figure 130 : Schéma de la disposition des modules.	123
Figure 129 : 'interprétation des modules en voutes.....	123
Figure 131 Volume final du CIFAT	123
Figure 132 Exemples travaux HASSAN Fathy	125
Figure 133 Fragment Façade Sud du CIFAT	126
Figure 134 Modèles moucharabieh	126
Figure 135 Fragment Façade Sud du CIFAT	127
Figure 136 Eléments minaret Mansourah	127
Figure 137 Traitement façade Principale CIFAT	128
Figure 138 Inspiration Remparts Mansourah	128
Figure 139 : Détail constructif des fondations.....	131
Figure 140 : Détail constructif des fondations.....	131
Figure 141 : Tableau comparatif des superstructures.....	132
Figure 142 : Détail constructif du soubassement.	133
Figure 143 : tableau de repérage dans le plan.....	133
Figure 144 : Schéma de dimensionnement et vérification des arcs.	134
Figure 145 : Schéma de l'application des arcs dans le plan.....	134
Figure 146 : Détail constructif de le calepinage.....	135
Figure 147 : Détail constructif liaison des murs identique.....	135
Figure 148 : disposition dans le plan	136
Figure 149 : Détail constructif des joints de dilatation	136
Figure 150 : Détails constructif de la liaison de 2 murs différents	136
Figure 151 : Détails constructif plancher terre – ciment.....	137
Figure 152 : Détails constructif plancher terre-ciment.....	138
Figure 153 : Détail constructif plancher Terre-bois.....	138
Figure 154 Détail constructif liaison bois – BTC.....	139
Figure 155 Hallawa House à gauche Rowland KEABLE House à droite	139
Figure 156 : Schéma de dimensionnement des voutes.....	140

Figure 157 : Détail constructif liaison aux appuis.....	141
Figure 158 Détail constructif revêtement voute.....	141
Figure 159 Analogie de la coupole du Ismaili Center Dubaï	142
Figure 160 Transition plan carré- Couverture circulaire via 4 Trompes	142
Figure 161 Dôme Dhyanalinga temple	143
Figure 162 Alternatives systèmes structurels	144
Figure 163 Détail constructif coupole centrale.....	144
Figure 164 Vue perspective sur la coupole	145
Figure 165 Typologie des poutres en BLC	146
Figure 166 Propriétés Poutre Horizontale à inertie constante.....	147
Figure 167 Détail Caissons de toitures en bois	150
Figure 168 System de lame d'air dans le plancher.....	150
Figure 169 Détail constructif Pisé- Bois.....	151
Figure 170 Détail constructif moucharabieh.....	152
Figure 171 Exemples traitent en terre	153
Figure 172 flux thermique stationnaire à travers un mur simple couche plat.	154
Figure 173 Résonateur à cavité et un col (à gauche), résonateur à tube (à droite)	156
Figure 174 Exemple utilisation résonateurs absorbants	157
Figure 175 Application Résonateurs absorbeurs dans notre projet.....	157
Figure 176 Schéma fonctionnement brique acoustique	158
Figure 177 Exemples d'utilisation brique à coins arrondies.....	159
Figure 178 Effets du séisme sur des constructions en maçonnerie	162
Figure 179 : Exemple forme et nature des briques	162
Figure 180 : Exemple de brique autobloquantes.	163
Figure 181 : Exemple de briques pour maçonnerie armée.....	163
Figure 182 : Exemple de mortier de pose et appareil.	164
Figure 183 : Exemple de Maçonnerie armée	164
Figure 184 : Exemple de Chainages.....	165

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES

- FATHY Hassan, Construire avec le peuple, Éditions Sindbad, Paris, 1970.
- FREY Pierre, Learning from Vernacular, Pour une nouvelle architecture vernaculaire, Actes Sud, 2010.
- LIEBARD.A et DE HERDE A. Traité d'architecture et d'urbanisme climatiques, Edition Le Moniteur, 2004.
- MINISTERE FRANÇAIS DE LA CULTURE ET DE LA COMMUNICATION, Centre d'interprétation de l'architecture et du patrimoine : un mode d'emploi, 2007.
- RAVEREAU.A, Le Mzab,
- HUBERT GUILLAUD . Architecture de terre : L'héritage en « re-création » durable
- Jean Paul LOUBES, *Traité de l'architecture sauvage : manifeste pour une architecture située*, Paris, Éd. Le Sextant, 2010,
- H. Houben et H. Guillaut, traité de construction en terre, Ed. Parenthèse, Marseille, 1989
- Fontaine et Anger, Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture
-

ARTICLES

- MORISET Sébastien, MISSE Arnaud, rénover et construire en pisé, Parc naturel régional L Forez, 2010,
- CNERIB, Conception de logements économiques à base de produits localement disponibles, Ed CNERIB, 2000,
- EL-WAKIL Leila, Hassan Fathy dans son temps, publication dans Hassan Fathy, une ambition égyptienne, 2012
- ODUL Pascal, Des architectures de terre en Algérie, projet earth construction technologies appropriate to developing countries, Belgique, 1983.
- CRATerre-EAG, Enseigner l'architecture de terre dans le monde, Ed CRATerre-EAG, Grenoble, 2001
- Jeannet et al . (1997). Le pisé, Patrimoine, restauration, techniques d'avenir, les cahiers de construction traditionnelle
- GHOMARI Fouad, La ville de Mansourah, un site archéologique classé.

Résumé

Ce travail porte sur la thématique de l'architecture de terre, il présente un éventail des différentes techniques anciennes et nouvelles de la construction en terre et cherche à appréhender à travers elles la meilleure démarche de conception dans l'ombre de l'architecture durable. Une analogie entre patrimoine et modernité, cette approche vise à mettre l'accent sur les techniques anciennes, faire leur promotion et humaniser leur utilisation : « Dépoussiérer la terre ». Pour enfin aboutir à un centre de formation en architecture de terre à Tlemcen, dans le site de Mansourah : une base aces riche avec laquelle on a essayé de composer avec.

Mots clés : Architecture et nouvelle technologie, Traditionnel, architecture de terre, développement durable, Mansourah

ي هذا الم
الجديد
يسعى
النهاية
الطينية
ويسعى لفهم
التأكيد
لتدريب
فنه يقدم
نهج لتصميم
وتشجيع لهم
استخدامها:
غنية
التقنيات القديمة
تشابه بين
".
ها.

المفاتيح: الهندسة المعمارية والتكنولوجيا الجديدة، التقليدية والعمارة الطينية، والتنمية المستدامة، المنصورة