

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département d'Architecture

Spécialité : Architecture

Option : Architecture Ecologique

Présenté par : DJAHMI HIBA

Thème : REVALORISATION DE L'ARCHITECTURE EN PISE

Le cas d'étude: Kabyle Ait Itchir ; TiziGenif

Sous la direction de : M HAFSI FZ

Jun 2017

Remerciement

Au terme de ce travail qui est le fruit des cinq ans d'études, je tiens à exprimer ma profonde gratitude avant tout au bon dieu ALLAH tout puissant.

Mes remerciements et ma profonde reconnaissance vont particulièrement à ma directrice de mémoire Hafsi F.Z pour sa modestie, sa disponibilité, et surtout ses précieuses orientations, ses critiques constructives et son suivi continu et rigoureux durant cette recherche.

Mes remerciements vont également à mes collègues à l'institut d'architecture de Guelma

Plus intiment, je remercie mes parents et mon mari, qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de ma démarche aussi pour leur confiance et leur support inestimable

Je ne saurais terminer sans exprimer mes remerciements les plus sincères à tous mes professeurs de Guelma durant les cinq ans.

Mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'accomplissement de ce travail.

Hiba

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

❖ Ma Mère,

“Tu m’as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir. Tout ce que je peux t’offrir ne pourra exprimer l’amour et la reconnaissance que je te porte. En témoignage, je t’offre ce modeste travail pour te remercier pour tes sacrifices et pour l’affection dont tu m’as toujours entourée, que Dieu te préserve et te procure santé et longue vie.”

❖ Mon Père,

“L’épaule solide, l’œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect. Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que Dieu te Préserve et te procure santé et longue vie. ”

❖ Mes sœurs Rawia , Meriem et Dalel

❖ Mon grand frère Sofiane et sa femme Mouna

❖ Mon mari et mes filles Alaa et Sérine

❖ Mes chères amies Amira , Zineb, Amina, Sana, Rabia, Nassima, Khawla et Bouchra

❖ Tous mes amis de l’université et du Facebook

❖ Et à tous ceux qui me sont chers.

Hiba

Tables des matières

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des cartes	
Résumé	
Partie I : Introductive	
Introduction générale	
Problématique	
Hypothèse de recherche	
Objectifs de recherche	
Méthodologie	
Structure de mémoire	
Partie II : Théorique	
Chapitre01 : définition des concepts	
Introduction	01
1. Définition des concepts	01
1.1. Architecture vernaculaire	01
1.2. Terre crue	02
1.3. Le Pisé	03
1.4. Le torchis	03
1.5. L'Adobe ou Thob	04
1.6. La terre compactée (B.T.C.)	05
1.7. La terre-paille	05
2. Le pisé	05
2.1. L'évolution du pisé	05
2.1.1. Le pisé traditionnel	05
2.1.2. Le pisé moderne	06
2.2. Aperçu historique sur la construction en pisé dans le monde	06
2.2.1 L'antiquité	07
2.2.2. Le moyen âge	09
2.2.3. Le pisé moderne	11

2.3. Avantages et Inconvénients	13
2.3.1 Avantages	13
2.3.2. Inconvénients	14
2.4. Caractéristiques du pisé	15
2.4.1. Masse volumique.....	15
2.4.2. Résistance à la compression sèche.....	15
2.4.3. Valeurs de contraintes admissibles en compression	16
2.4.4. La conductivité thermique.....	16
2.4.5. Coefficient de résistance à la vapeur d'eau μ	17
2.4.6. Résistance au feu	17
2.4.7. Isolation phonique	17
2.5. Technique de construction de pisé	17
2.5.1. Préparation de la terre	18
2.5.2. La fondation et les murs	19
Chapitre 02 : Etat d' Art	
Introduction	21
1. L'opération du "Domaine de la terre" à l'Isled' Abeau en France.....	22
2. Le projet TERRA	25
3. Le programme Africa 2009	26
4. Le contrat global de développement « Isère, porte des Alpes »	26
5. Le projet pilote Mustafab en Brahim à Sidi-Bel-Abbès en Algérie	28
Partie III : Approche conceptuelle	
Chapitre 3 : Cas d'étude : Ville de Tizi Genif village Ait Itchir	
Introduction	32
1. Cas d'étude Présentation du village Ait Itchir	32
2. Le principe de conception des maisons kabyles traditionnelles	34
3. Les procédés constructif	35
3.1. Fondations	35
3.2. Murs.....	36
3.3. Couverture	37
Chapitre 04 : Analyse et programmation	
1. Etude des exemples	38
1.1. Eco-quartier Fréquel- Fontarabie	38

1.1.1. Fiche technique	38
1.1.2. Programme	39
1.1.3. Analyse selon les paramètres d'un éco-quartier	40
1.1.3.1 L' économie de l' espace	40
1.1.3.2. Mixité et diversité	40
1.1.3.3. Ressources et déchets	41
1.1.3.4 Construction	41
1.1.3.5. Biodiversité	41
1.1.4 Synthèse	42
1.2. Eco-quartier Baudens	42
1.2.1. Justification de choix	42
1.2.2. Fiche technique	42
1.2.2. Programme	43
1.2.3. Analyse selon les paramètres de l'éco-quartier	43
1.2.3.1. Économie de l' espace	43
1.2.3.2. Mixité et diversité	44
1.2.3.3. Ressources et déchets	45
1.2.3.4. Construction	45
1.2.3.5. Mobilité durable	46
1.2.3.6. Biodiversité	48
1.2.4. Synthèse	48
2. Programme	49
3. Le contexte géophysique du terrain	50
3.1. Présentation de la ville de Guelma	50
3.1.1. Situation géographique	50
3.1.2. Organisation administrative	50
3.1.3. Population	51
3.1.4. Relief	51
3.1.5. Etude climatique	52
Conclusion	52
3.2. Analyse du terrain	53
3.2.1. Situation du pos 31	53
3.2.2. Présentation de l' aire d' étude	53
3.2.3. Situation du terrain d' intervention	53

3.2.4. Limites et accessibilité	54
3.2.5. Environnement immédiat	54
3.2.6. Forme et surface	54
3.2.4. Ensoleillement et vents dominants	54
3.3. Atouts et spécificité du terrain d'intervention	55
4. Schéma de principe	57
5. Composition d'habitat individuel	58
6. Recommandation	59
Conclusion générale	63

Tableau de figures

Figure 1 : Architecture vernaculaire

Figure 2: Architecture vernaculaire au Mali, source Google image

Figure3: Mosquée de Djenné Mali en terre crue

Figure 4: Terre crue

Figure 3: Une maison traditionnelle en pisé en région Rhône-Alpes (Bui.Q.B, 2008)

Figure 4: Mur en torchis

Figure 5: Mur en adobe sur bassement en pierre dans une maison antique de Burgos, Espagne

Figure 6: Habitat Tierra – Espagne

Figure 7: La dame en bois utilisé en pisé

Figure 8: Mis en œuvre d'un pisé traditionnel à l'aide d'un coffrage en bois

Figure 9: Coffrage métallique du pisé moderne Photo: N.Munier

Figure 10: Les dames pneumatique en métal Photo: N.Munier

Figure 11: Préfabrication des pisés dans une usine en Autriche Photo: M.Rauche ,

Figure 12: L'enceinte nasride de Grenade

Figure 13: Les remparts de Marrakech

Figure 14: Les vestiges des murailles d'El Mansourah

Figure 15: Le rempart almohade de Séville

Figure 16: Les murailles de Fès El Bali

Figure 17: Château de Vaugirard (Loire, France)

Figure 18: Eglise Holy Cross en Caroline du Sud (Etats Unis)

- Figure 19: Les différentes couches d'un profil de dol*
- Figure 20: Compactage de la terre à l'aide d'un pilon (ou épissoir)*
- Figure 21: Exemple d'un coffrage en métal*
- Figure 24: technique moderne de construction de pisé*
- Figure 25 un des projets du domaine de la terre de l'Isle d'Abeau, quartier des fougères*
- Figure 26 : Prototypes réalisés par les participants au festival Grains d'Isère*
- l'igure 27: Plan de masse des maisons en pisé de Mostafa Ben Brahim*
- Figure 28: Plan et façade d'une habitation type au village*
- Figure 22: Situation de la zone d'étude. Région centre de l'Atlas Tellien*
- Figure 23: Vue aérienne du village Ait Itchir (google earth, 2009)*
- Figure 24: Levé photogramétrique du village Ait Itchir (Carthographie, 1987)*
- Figure 25: Vue sur une partie du village (S.Salmi.Ait Itchir, nov 2010)*
- Figure 26: Plan et coupe d'une maison type (S. Salmi)*
- Figure 27: Mur en pisé sans enduit (S.Salmi.Ait Itchir, nov2010)*
- Figure 28: Composition de la toiture (S.Salmi.Ait Itchir, nov 2010)*
- Figure 29 : Les différents projets programmés dans l'éco-quartier*
- Figure 30 : Localisation de projet Eco-quartier Fréquel- Fontarabie*
- Figure 31 : Etat projeté de l'ilot*
- Figure 32: Localisation du quartier Baudens*
- Figure 33: Programme liée au quartier Baudens*
- Figure 34: Les espaces publics qualitatifs du quartier Baudens*
- Figure 35: Parking partagé*

Figure 36: une perspective de la voie piétonne France Loire

Figure 37: Logement à basse consommation énergétique

Figure 38: Trame viaire du quartier Baudens

Figure 39: : Jardin sous le vent

Figure 40: Espace de jeux (jardin sous le vent)

Figure 41: forme du terrain

Figure 42: schéma qui illustre la direction des vents dominants

Figure 43: schéma qui illustre la trajectoire solaire

Figure 44: usine de Brique de Ben djerrah

Figure 45: les carrières à proximité du POS 31

Figure 46: terrain d'intervention

Figure 47: principe d'insertion

Figure 48: l'insertion finale

Figure 56 : deux variantes de composition

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristique mécanique de pisé

Tableau 2: Valeurs de calcul recommandées pour le pisé.

Listes des cartes :

Carte 01 : situation géographique de la wilaya de Guelma

Carte02 : situation géographique de la commune de Guelma

Carte03 : situation géographique du POS 31

Carte 04 : situation du terrain d'intervention

Carte 05 : environnement immédiat du terrain d'intervention

Carte 06: situation du pos 31 et sa couverture forestière

Carte07 : carte des équipements du POS 31

Résumé :

Terre crue, banco ou adobe sont les termes utilisés pour désigner la terre, utilisée avec le moins de transformations possible en tant que matériau de construction.

Le terme terre crue permet surtout de marquer la différence avec la terre cuite : en effet, dans la construction occidentale contemporaine, le matériau terre se trouve le plus couramment sous la construction occidentale contemporaine, le matériau terre se trouve le plus couramment sous sa forme cuite (briques de terre cuite, tuiles). Plusieurs techniques de construction utilisant la terre crue comme matériau structurel existent : le pisé, la bauge, l'adobe, la brique de terre compressée.

Le pisé est un procédé de construction de murs en terre crue qui a été utilisé depuis très longtemps. Il nous revient aujourd'hui grâce à ses avantages environnementaux, sociaux et économiques.

Mots clés : architecture, technique vernaculaire, terre crue, la valorisation, le pisé, environnement.

Abstract.

Raw earth, banco or adobe are the terms used to designate the earth, used With the least possible transformations as a building material.

In contrast to terracotta, the term "raw earth" is used to describe the difference between clay and terracotta: in fact, in contemporary western construction, earth material is most commonly found in contemporary Western construction, where the earth material is most commonly found in its baked form (Terracotta bricks, tiles). Several construction techniques using raw earth as a structural material exist: the adobe, the gauge, the adobe, the compressed earth brick.

Rammed earth is a process for the construction of raw clay walls that has been used for a very long time. It is back to us today with its environmental, social and economic benefits.

Key words: architecture, vernacular technique, raw earth, valorisation, adobe, environment.

Partie I :
Introductive

Introduction générale:

L'architecture vernaculaire se caractérise par une adaptation au contexte dans laquelle elle s'inscrit. Les techniques de cette architecture se basent sur des matériaux naturels tels que le bois, la terre la pierre...etc.)Trouvés le plus souvent sur site de construction de l'édifice.

Le pisé est un procédé vernaculaire de construction en terre crue qui a été utilisé très longtemps. Il nous revient aujourd'hui grâce à ses avantages environnementaux, sociaux et économiques.la présente recherche s'intéresse aux performances hygrothermiques de cette technique qui assuré santé, confort thermique ainsi qu'un respect de l'environnement durant tout son cycle de vie.

Le pisé a probablement été utilisé dans la construction depuis l'ère néolithique jusqu'à nos jours. Ce procédé constructif simple et élaboré à la fois, simple par la nature même de sa matière, la terre, mais élaboré par sa mise en œuvre, l'homme a cependant compris depuis longtemps que le principe de compactage de la terre fournirait des constructions et des édifices très résistants et solides capables de traverser les temps. Ainsi le pisé a pu servir à édifier tous types de constructions, des plus élémentaires au plus sophistiquées; de l'abri familial à la muraille défensive des grandes villes, temples, palais, forteresses, citadelles, casbahs, ksour, mosquées églises. Ces bâtiments révèlent l'intelligence des traditions de la construction qui ont traversé des millénaires.

La technique du pisé a été utilisée depuis plusieurs siècles en Algérie, aussi bien dans les centres urbains que dans les villages, que ce soit sur le littoral, en plaine, en montagne ou dans le sud du pays. Aujourd'hui, l'existence de certains villages reculés dont la construction des maisons est en pisé témoigne de l'usage ancestral de la technique, même si celle-ci a de nos jours a pratiquement disparu de l'art de bâtir algérien, il subsiste tout de même quelques rares maçons maîtrisant plus ou moins la technique, qu'ils utilisent à défaut de matériaux plus couteux.

Problématique :

En Algérie, l'architecture de terre est de plus en plus menacée par des impacts naturels et humains, des pratiques inappropriées de conservation et d'entretien. Nous assistons par conséquent, à la perte des savoir-faire traditionnels, et d'une production architecturale originelle.

Le pisé, l'une des techniques ancestrales de construction en terre crue, connaît un nouvel essor aujourd'hui dans le monde grâce à sa performance énergétique dans tout le cycle de vie d'un bâtiment. Ce point fort permet de considérer le pisé comme un matériau prometteur du secteur du bâtiment dans le contexte du développement durable.

Cependant ce matériau qui constitue une grande partie du patrimoine bâti en terre crue en Algérie est presque disparu de notre environnement, et ses atouts techniques et formels restent méconnus, au fil des décennies, on s'est ingénié à masquer ce matériau considéré comme le matériau du pauvre, Il est aujourd'hui menacé par les destructions et une banalisation architecturale qui nie l'héritage de l'histoire local, et par des pratiques inappropriées d'entretien, de restauration ou de réhabilitation d'une part ,et d'une dépréciation générale d'une autre part.

Dans ce contexte, une question principale mérite d'être posée : Le pisé, est-il adapté aux nouvelles fonctions de la construction et aux nouvelles exigences du moment ?

Malgré que la technique du pisé a beaucoup évolué à travers le monde et plusieurs équipements ont pu voir le jour, son utilisation en Algérie s'est limitée pour la construction des habitations. Nous avons entrepris nos investigations sur les milieux ruraux qui se trouvent à Guelma, Pos 31

Hypothèse de recherche :

Afin de répondre à la question principale, nous émettons l'hypothèse suivante :
Le pisé, un matériau naturel et écologique, se prêterait à être réutilisé à l'heure actuelle ; aussi, il pourrait répondre aux exigences des nouvelles constructions.

Objectifs de recherche :

Favoriser l'utilisation de la terre comme matériau propre disponible et recyclable

L'adaptation de l'utilisation du pisé dans les nouvelles constructions

Méthodologie :

Mon thème de recherche sera étudié en trois étapes :

Étape théorique

Qui est une recherche bibliographique et documentaire pour la compréhension des différentes notions théoriques liées à l'architecture en terre crue précisément au matériau pisé

Étape expérimentale

Elle se base sur les expériences menées à travers le monde pour mieux comprendre les performances du matériau pisé.

Étape architecturale

C'est l'application des résultats obtenus au cours de ma recherche sur un projet architectural.

Structuration de mémoire :

Le présent mémoire est structuré de la manière suivante :

Chapitre 01 : Vise à comprendre et mettre en valeur les différentes notions théoriques liées à l'architecture en terre crue, avec un choix précis d'un type particulier qui est le pisé dont on présente sa technique entre un savoir-faire vernaculaire et une modernisation.

Chapitre 02 : Met en évidence la valeur de l'architecture de terre à la lumière des expériences menées à travers le monde pour sa revalorisation. Il est donc indispensable de citer quelques travaux, d'architectes ou organismes, portés sur la terre, pour tirer des enseignements importants dans le but de comprendre la matière, le matériau et les modes constructifs..

Chapitre 03 : Met en évidence la valeur de l'architecture de terre à la lumière des expériences menées en Algérie et sa revalorisation. Donc on a cité un projet porté sur la terre et en particulier le pisé pour tirer des enseignements importants dans le but de comprendre la matière, le matériau et les modes constructifs.

Chapitre 04 : dans ce chapitre on a analysé les exemples et on a fait ressortir le programme, et étudier notre site d'étude commençant par la ville de Guelma passant par le POS 31 jusqu'à l'arrivée au terrain qui va accueillir notre projet.

Introduction :

De nos jours, les pratiques constructives traditionnelles ont presque totalement disparues. De manière générale, si elles ne survivent ce n'est qu'à cause de la pauvreté et la précarité des populations les utilisant, ne trouvant de solutions plus économiques que dans les matériaux locaux faisant appel à une mise en œuvre traditionnelle peu complexe. Pourtant, il est primordial de redécouvrir ces savoir-faire de l'art de bâtir, au même titre que les valeurs significatives du patrimoine culturel dépositaire de l'identité et l'histoire de notre pays. Ceci est d'autant plus important que la reconnaissance des techniques constructives traditionnelles s'impose comme indispensable à la maîtrise et la réussite d'un projet de restauration. Dans l'optique de réhabilitation des matériaux et techniques traditionnelles, quelques expériences heureuses ont déjà eu lieu en Algérie et particulièrement à la citadelle d'Alger, où l'usage de la chaux dans les mortiers a été réhabilité suite à des analyses sur les mortiers traditionnels, et des essais pratiqués sur les murs de la poudrière, le mortier de chaux a pu ainsi être réintroduit dans les chantiers de la Casbah d'Alger¹.

1. Définition des concepts :

1.1. Architecture vernaculaire :

D'après Larousse: Vernaculaire: adjectif (latin *varnaculus*) indigène

1-langue:vernaculaire, nom masculin, langue parlé seulement, à l'intérieur d'une communauté, (par opposition à la langue véhiculaire).

2-nom vernaculaire: nom usuel d'une espèce animale ou végétale dans son pays d'origine.

Technique : Le terme vernaculaire désigne la construction qui utilise les ressources disponibles localement pour répondre aux besoins locaux avec une méthode locale.

¹ Ibid. Supra note.



Figure 1 : Architecture vernaculaire
source Google image



Figure 2: Architecture vernaculaire
au Mali, source Google image

Le terme Architecture Vernaculaire est l'expression qui caractérise ces constructions traditionnelles, intrinsèques à une aire géographique, à un relief, à une époque, à une société et à un climat donnés.²

Les bâtiments vernaculaires présentent les caractéristiques suivantes :

- un mode de construction partagé par la communauté.
- un caractère local ou régional en réponse à son environnement (intégration).
- Une cohérence de style, de forme et d'aspect, ou un recours à des types de construction traditionnels.
- Une expertise traditionnelle en composition et en construction transmise de façon informelle.
- Une réponse efficace aux contraintes, sociales et environnementales.
- Une application efficace de systèmes et du savoir-faire propres à la construction traditionnelle

1.2. Terre crue : Terre crue, banco ou adobe sont les termes utilisés pour désigner la terre, utilisée avec le moins de transformations possible en tant que matériau de construction. Le terme terre crue permet surtout de marquer la différence avec la terre cuite : en effet, dans la construction occidentale contemporaine, le matériau terre se trouve le plus couramment sous sa forme cuite (briques de terre cuite, tuiles).



Figure 3: Mosquée de Djenné Mali en terre crue,
Source Google image



Figure 4: Terre crue, Source : Google
image

² <http://www.quimperpekina.ve.lo.com/larchitecture-vernaculaire>

Plusieurs techniques de construction utilisant la terre crue comme matériau structurel existent : le pisé, la bauge, l'adobe, la brique de terre compressée. La terre crue est un matériau économique : l'extraction ne nécessite pas de moyens technologiques importants ; l'utilisation est réalisée sans transformation, elle est aussi un matériau isolant.



Figure 5: Une maison traditionnelle en pisé en région Rhône-Alpes (Bui.Q.B, 2008)

1.3. Le Pisé : Le pisé est un procédé de construction en terre crue, sans mélange de paille, 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 8cm (ce qui donne l'aspect lamellé des façades en pisé) (Pignal, 2005). Une fois le remplissage terminé, le coffrage est démonté pour être remonté à côté. Le compactage se fait au moyen d'un épissoir en bois.

1.4. 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 (Pignal, 2005). 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

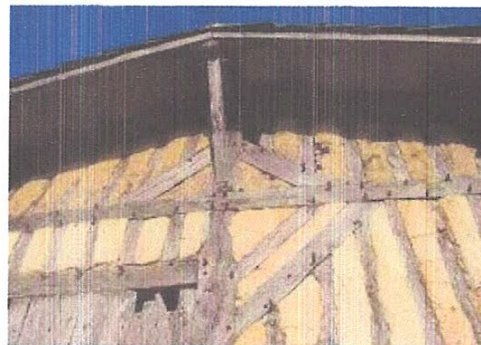


Figure 6: Mur en torchis

avec les pieds pour former des murs monolithiques. La terre est renforcée en rajoutant des fibres, normalement de 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. Il existe différentes sortes de torchis suivant les qualités de paille et de terre qui sont associées. Ces torchis peuvent prendre la forme d'une pâte molle ou de tresse. Dans le premier cas, la terre prend l'aspect de galettes qui sont empilées. Dans le second cas, le torchis est essentiellement composé de paille qui est trempée dans un mélange appelé "barbotine" (terre saturée d'eau). Le torchis joue beaucoup plus le rôle d'un isolant thermique et acoustique.

1.5. l'Adobe ou Thob : Selon la définition scientifique contemporaine, l'adobe (dénomination espagnole dérivée de l'arabe al thob, (la terre) est un bloc de terre crue moulée et séchée (Bui.Q.B, 2008). On trouvera des multitudes d'adobes de tailles et de formes différentes, évoluant successivement selon l'archéologue José Imbeloni de la forme conique puis cylindro-conique, en demi-sphère, dentiforme et enfin en parallélépipède. Ce qui différencie les constructions de type appareillé avec la technique du pisé, c'est la possibilité de fabriquer et de stocker l'ensemble des matériaux nécessaires à la construction avant d'engager les travaux (Doat, P et al, 1983)

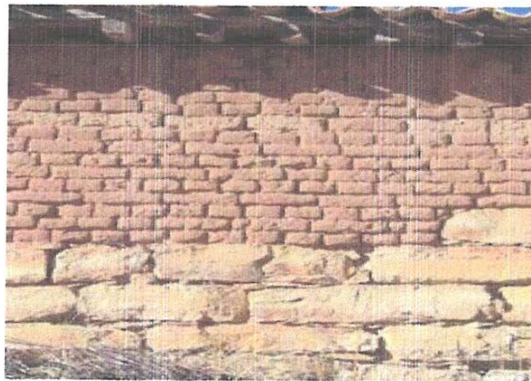


Figure 7: Mur en adobe sur bassement en pierre dans une maison antique de Burgos, Espagne

1.6. La terre compactée (B.T.C.) : La B.T.C. est d'une certaine manière, une version plus moderne de l'adobe. Les constructions en B.T.C. se développent aujourd'hui et constituent la forme la plus répandue de construction en terre crue. Ces briques présentent l'avantage d'être très résistantes et très souples quant à leur utilisation. Les briques de terre compactée sont stabilisées le plus souvent à la chaux ou au ciment. Le mélange de terre (avec stabilisant) est moulé puis compacté à l'aide d'une presse mécanique ou manuelle.



Figure 8: Habitat Tierra – Espagne

1.7. La terre-paille : Pour cette technique, la terre utilisée doit avoir une bonne cohésion. Elle est diluée dans de l'eau jusqu'à l'obtention d'une barbotine homogène, que l'on verse sur de la paille, jusqu'à enrober chaque brin. Au séchage, on obtient un matériau dont la texture est essentiellement celle de la paille (Bui.Q.B, 2008).

2. Le pisé :

Un matériau utilisé en construction depuis des siècles et fait partie de notre patrimoine riche en habitats en terre. Il constitue l'une des quatre techniques d'utilisation de la terre crue les plus utilisées dans le monde.

2.1. L'évolution du pisé :

2.1.1. Le pisé traditionnel :

Aujourd'hui, on distingue principalement deux types de pisé : les pisés traditionnels et les pisés modernes qui sont fabriqués à partir des années 1980.

Le pisé traditionnel est fabriqué par des coffrages en bois et une dame manuelle. Il est monté sur un soubassement en maçonnerie (pierre, brique, galets) appareillée, hourdée au mortier de chaux. Cette maçonnerie a environ 50 cm de haut (Pignal)



Figure 10: Mis en œuvre d'un pisé traditionnel à l'aide d'un coffrage en bois, Source : technique de pisé 1997

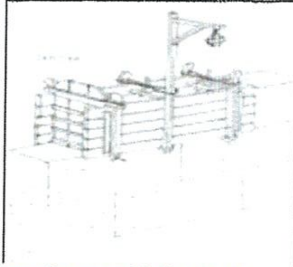


Figure 9: La dame en bois utilisé en pisé, Source : Google image

2.1.2. Le pisé moderne :

La technique du pisé actuel est une "technique ancienne modernisée.

Les coffrages actuels sont plus larges que les coffrages traditionnels pour la rapidité de la fabrication sur chantier. Ils sont en général en métal.

La dame manuelle en bois dans le cas du pisé traditionnel est remplacée par une dame pneumatique plus puissante.



Figure 11: Coffrage métallique du pisé moderne Photo: N.Munier



Figure 12: Les dames pneumatique en métal Photo: N.Munier



Figure 13: Préfabrication des pisés dans une usine en Autriche Photo: M.Rauche

2.2 Aperçu historique sur la construction en pisé dans le monde :

Le pisé a probablement été utilisé dans la construction depuis l'ère néolithique jusqu'à nos jours. Ce procédé constructif simple et élaboré à la fois, simple par la nature même de sa matière; la terre, mais élaboré par sa mise en œuvre, l'homme a cependant compris depuis longtemps que le principe de compactage de la terre fournirait des constructions et des édifices très résistants et solides capables de traverser les temps. Ainsi le pisé a pu servir à édifier tous types de constructions, des plus élémentaires au plus sophistiquées; de l'abri familial à la muraille défensive des grandes villes, temples, palais, forteresses, citadelles, casbahs, ksours, mosquées, églises. Ces

bâtiments révèlent l'intelligence des traditions de la construction qui ont traversé des millénaires. Loin de dresser un historique exhaustif du pisé dans le monde, allons tenter à travers quelques exemples de constructions en pisé de suggérer un aperçu de son utilisation à travers l'histoire dans certaines régions du monde.

2.2.1 L'antiquité :

Il semblerait que l'exemple attesté comme le plus ancien dans construction en pisé soit la grande muraille de Chine, ou plus exactement certains tronçons. La construction de la muraille avait été entamée durant la période des Royaumes Combattants (Ve-IIIe s. av. J-C); mais les archéologues ont mis au jour des vestiges de murs construits en pisé qui semblent avoir été bâtis par la culture Longshan (2600-1900 av. J-C) vers la fin du néolithique, "une période qui marque aussi la création de villes en Chine"³. D'autres fouilles dans les contrées de Zhengzhan et de Anyang en Chine ont révélé des fortifications en terre damée dans les villes Shang (XVIIIe- XIIe s. av. J-C)⁴. Les vestiges de la ville de Jiaohe (Chine) témoignent de l'existence d'une ville prospère, centre de commerce relié à la route de la soie, édifiée en pisé et en adobe datant de IIIe sav. J-C⁵. En Chine, la construction d'habitat en pisé a été développée depuis la période des Trois Royaumes (à partir du IIIe s) et par les Hakka du plateau central qui maintiendront la technique jusqu'à 1950.

Mais c'est probablement en basse Mésopotamie et en Iran durant le néolithique que l'on pourrait faire remonter les premiers formes de pisé, les fouilles des sites de Oueili et Djaffarabad ont restitué des briques de grande taille allant jusqu'à 1m de long mais d'épaisseur faible de 15 à 20cm, "les fouilleurs pensent que ces briques auraient pu avoir été non pas modelées à la main mais pressées entre deux planches"⁶. Le site de Choga Sefid en Iran (VIIe-Vie millénaire) aurait livré les premiers exemples de terre massive moulée, la longueur des banchées pouvaient atteindre 1.60 à 2.60m de longueur, ici leurs largeur est celle du mur⁷.

³ R.Real, *Earth architecture*, Ed Princeton Architectural Press, 2008, p17

⁴ G.Houben, H.Guillaud, *Traité de la construction en terre*, Ed Parenthèses, 1995, p23

⁵ S.Zerhouni, H.Guillaud, E.Mouyal, *L'architecture de terre au Maroc*, Ed ACR Edition, p36

⁶ M.Sauvage, « Les débuts de l'architecture de terre au Proche Orient », in *MEDITERRA 2009, Proceedings*, Edicom Edizione, Monfalcone, Italie. pp189-198.

⁷ Ibid

D'autres fouilles, mais cette fois-ci en Espagne dans une ancienne ville phénicienne La Fonteta dont la période d'existence est située entre le VIII^e et le VI^e s. av. J-C, ont mis au jour des vestiges de maisons du VI^e s. av. J-C, dont les murs seraient en terre massive de largeur variant en 30 et 45cm. "Le matériau consiste en un mélange de terre de nature limono-sableuse pauvre en graviers et cailloutis et qui présente un fort degré de compactage"⁸, la présence d'un joint horizontal de deux pellicules de chaux laisse supposer une véritable existence de la technique du coffrage à cette époque⁹.

Ces découvertes archéologiques semblent conforter les premières sources littéraires attestant l'existence du pisé dans la construction des villes puniques lorsque les phéniciens durent transférer leurs civilisations sur les rives occidentales de la méditerranée (création de Carthage au milieu du IX^e s av. J-C). Pline rapporte dans son ouvrage Histoire du Monde ce qui suit : « Que dirons-nous des murailles de pisé qu'on voit en Barbarie (Carthage) et en Espagne, où elles sont appelées murailles de forme puisque on en forme la terre entre deux ais, cette terre ainsi pressée, résiste à la pluie, aux vents, et au feu, il n'y a ni ciment ni mortier qui soit plus dur que cette terre, ce qui est si vrai, que les guettes et lanternes qu'Hannibal fit construire en Espagne, et les tours qu'il fit bâtir sur les cimes des montagnes sont encore existantes, néanmoins elles sont en pisé »¹⁰. Les fouilles affirmant l'existence d'habitations en pisé à Carthage, sur la colline de Byrsa viennent appuyer le témoignage de Pline. Il semblerait que des immeubles de six étages en terre damée et briques crues étaient courants au II^e s av. J-C¹¹. Le terme pisé est dérivé du latin populaire *pinsare* qui désigne l'acte de piser ou broyer, ce qui laisse supposer que cette technique était bien connue des romains, mais les arguments archéologiques en font peu de cas, les romains en auraient fait usage que dans certaines de leurs colonies, à l'exemple des villes de Thysdrus et Acholla en Tunisie¹², ou à Ampurias (Catalogne) en Espagne où les fouilles ont restitué une centaine de murs en pisé et/ou de leurs soubassements, de

⁸ P.Rouillard, E.Gailledrat, F.Sala Sellés, P.Barrier., *L'établissement protohistorique de La Fonteta (fin VIII^e-fin VI^e siècle av.J.-C.)*, Vol2, Ed Casa de Velázquez, 2007, p143, 144

⁹ Ibid.

¹⁰ F. Cointreaux, *L'école d'architecture rurale, ou Leçons*, second cahier, Paris, 1791, p15

¹¹ G.Houben, H.Guillaud, *op.cit*, p20

¹² C.A.De Chazelles, « Stabilité, disparition et fluctuation des traditions constructives en terre dans les pays méditerranéens », in *MEDITERRA 2009*, Proceedings, Edicom Edizione, Monfalcone, Italie, pp139-150.

50cm d'épaisseur en moyenne, ces murs appartiennent à des maisons ou des *tabernae*, ils sont conservés à une hauteur pouvant atteindre 1.50m, édifiés sur des soubassements en pierre et revêtus d'une enduit peint, ils datent de la période d'évolution de la ville (Ier s av. J-C, Ier s ap. J-C)¹³. On pourrait donc penser que les techniques relatives au pisé sont restées pérennes là où elles existaient déjà depuis la période punique. Par ailleurs, il semblerait que la construction en terre compactée était réservée au monde rural, Varron rapporte que la technique était utilisée aux alentours de Rome pour construire des murs de protection des fermes agricoles¹⁴.

2.2.2. Le moyen âge :

Il faudra attendre l'avènement de l'islam pour assister à la généralisation de la construction en pisé, du moins au Maghreb et en Espagne. Depuis le moyen âge,

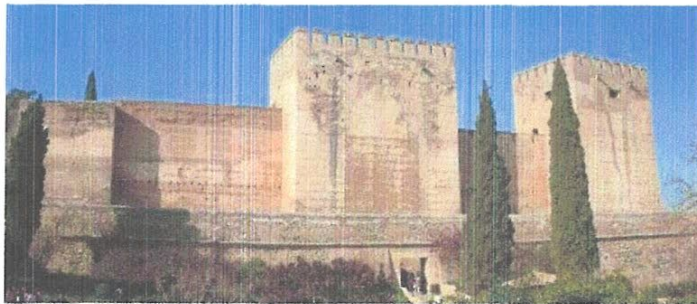


Figure 14: L'enceinte nasride de Grenade, Source : Google image

le pisé a connu une amplification d'usage, d'abord dans les ouvrages défensifs (enceintes, forteresses) comme en témoignent : l'enceinte d'Agadir (Tlemcen VIIIe s), le rempart aglabide de Sfax (IXe s)¹⁵, la forteresse de Banos de la Encina de l'époque califale en Andalousie (Xe s)¹⁶, l'enceinte ziride à Grenade (XIe s) ainsi que celles de Niebla, Jativa et Almería de la période des Taifas, les remparts almoravides de Marrakech et de Tashgimout (XIIe s)¹⁷ et les murailles almohades de Tinmal, Tarifa, Séville, Fès, Rabat, Silves, Badajoz, ainsi que l'enceinte de l'Alcazar de Jerez

¹³ C.A.De Chazelles, « Les constructions en terre crue d'Empuries à l'époque romaine », in *Cypsela* n°8, 1990

¹⁴ H.Guillaud.H, A.Alva, «Historical earth architecture and construction in the Mediterranean region. What future for such an exceptional cultural legacy ?», in *Proceedings of the First International Congress on Construction History*,2003

¹⁵ G.Marçais, *L'architecture musulmane d'occident*, ed Arts et métiers graphiques, 1954, p36

¹⁶ M.Barrucand, *Architecture maure en Andalousie*, ed TASCHEN, 2002, p115

¹⁷ *Ibid*, p141

de la Frontera et les célèbres remparts nasrides de l'Alhambra de Grenade, le rempart hafside de Tunis, et les enceintes mérinides d'El Mansourah, de Taza, et de Chella¹⁸



Figure 15: Les remparts de Marrakech



Figure 16: Les vestiges des murailles d'El Mansourah

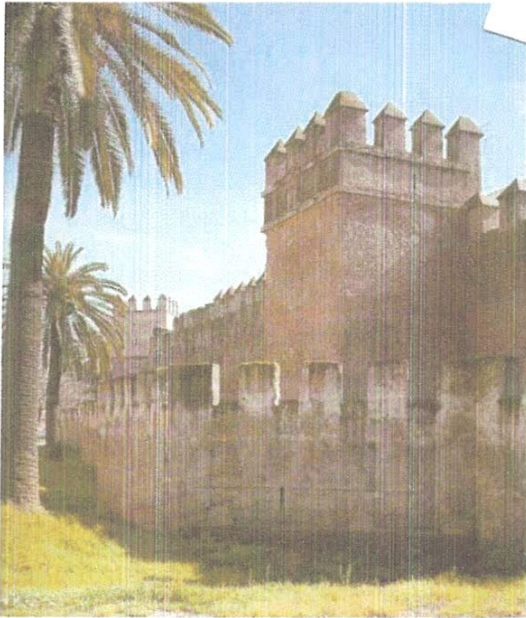


Figure 17: Le rempart almohade de Séville

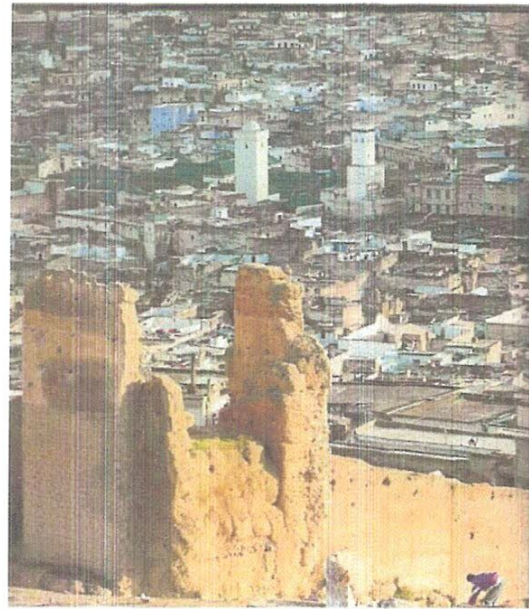


Figure 18: Les murailles de Fès El Bali

Les bâtisseurs musulmans eurent aussi recours à la technique du pisé pour la construction des édifices religieux, une partie des murs de la première mosquée Qarawiyyin à Fès (IXe s) est en pisé, de même pour la mosquée ziride de Grenade (XIes) et la mosquée Hassan à Rabat (XIIe s)¹⁹.

¹⁸ G.Marçais, *op.cit*, p571

¹⁹ G.Marçais, *op.cit*, p571

En Amérique, bien que les civilisations précolombiennes aient déjà fait usage du pisé et de l'adobe comme l'attestent les sites incas dans la vallée du Rimac non loin de Lima (Rio Pisco, Tambo Colorado, Pachacam, Puruchuco)²⁰, l'usage du pisé ne connaît un véritable essor qu'avec l'arrivée des européens sur le nouveau continent. Les premières traditions européennes liées au pisé furent introduites par les espagnols, comme en témoignent les ruines de La Isabela, le premier établissement fondé par Christophe Colomb en 1493²¹. Les espagnols et les portugais apportèrent avec eux leurs traditions constructives en terre dès la colonisation des Amériques à partir du XVI^e siècle, la première ville de fondation espagnole en Amérique du Nord St Augustine (Floride) était bâtie avec un pisé mélangeant la terre aux coquillages²². Le pisé nommé *taipa* dans ces régions, a été largement utilisé en Amérique du Sud depuis la colonisation jusqu'à nos jours dans plusieurs contrées du Brésil, du Pérou et Chili²³. Le Brésil compte plusieurs constructions en pisé introduit par les Portugais et connu comme *taipa de pilao*, il a été recensé dans plusieurs états du pays dans Sao Paulo, Minas Gerais, Goiás, Maranhão, Tocantins, Mato Grosso, Paraná²⁴

2.2.3. Le pisé moderne

Le pisé réapparaît au XVIII^e siècle en France, dans les paysages ruraux de la région de la Provence, le village de Charleval est un cas pertinent de la construction en pisé durant cette période. Les exploitations agricoles et résidences de maîtres aux allures bourgeoises caractérisent la campagne provençale dès la fin du XVIII^e et jusqu'au XIX^e siècle, elles se retrouvent près de la rivière de Villelaure, à Châteauneuf-de-Gadagne, entre les villages de Lourmarin et Cucuron, et entre les villes de Cavillon et Carpentras, ainsi qu'à Montoux, le pisé présente souvent dans ces constructions des cordons de chaux entre chaque banchée²⁵. Les pensées physiocrates du Siècle des Lumières (XVIII^e) s'intéressant à l'amélioration des conditions de vie des populations rurales et de leur habitat vont contribuer à ce renouveau du pisé. C'est

²⁰ Ibid, p33

²¹ R.Real, *op.cit.*, p17

²² D.Easton, C.Wright, *The rammed earth house*, Ed Chelsea Green Publishing, 2007, p9

²³ Ibid.

²⁴ M.I.Kanan, «The mediterranean portuguese influence in the brazilian earth-building tradition: a valuable heritage to research», in *MEDITERRA 2009, Proceedings*, Edicom Edizione, Monfalcone, Italie, pp109-120.

²⁵ Ibid. *supra* note 30

ainsi qu'un certain François Cointeraux, un jeune architecte et entrepreneur lyonnais, va promouvoir la construction en pisé à travers de nombreuses publications, on en compte pas moins de 72 fascicules, dans lesquels il documente et valorise le pisé traditionnel, et lance le procédé du « nouveau pisé » ; de gros blocs de terre compactée, avec lesquels il étudie différents systèmes constructifs, voûtes, colonnes, piliers, il sera d'ailleurs le premier inventeur de la presse à blocs de terre comprimée la « Crécise »²⁶. L'objectif de Cointeraux était de fournir un habitat économique, sain et incombustible pour les habitants des campagnes. Il a été à l'origine de diverses constructions, aussi bien des maisons urbaines et rurales adaptées aux diverses classes sociales, que des bâtiments propres au développement économique du pays : des exploitations agricoles aux manufactures de l'ère industrielle, la région Rhône-Alpes renferme un important patrimoine en pisé de la période Cointeraux. Son influence dépassera les frontières Françaises et trouvera écho dans plusieurs pays d'Europe, grâce aux traductions de ses écrits dans plusieurs langues. En Allemagne, la traduction faite par l'ingénieur David Gilly aura un impact sur les constructeurs de certaines régions au sud du Danemark et sur les industriels-constructeurs comme Jacob Wimpf auteur du plus haut bâtiment en pisé en Allemagne à Weillburg. En Angleterre, grâce la traduction de l'architecte Henry Holland, l'architecture de pisé rayonnera jusqu'aux Etats Unis et en Australie²⁷. Sur les pas de Cointeraux, un avocat et constructeur américain Stephen.W Jonshon a publié un ouvrage sur la construction en pisé, lequel influencera à son tour d'autres constructeurs qui ont tenté plusieurs expériences, des quartiers d'esclaves en Virginie et en Géorgie, et des édifices en Caroline du Sud à l'exemple de l'église de Holy Cross²⁸. Le pisé a été introduit en Australie avec les colons britanniques vers la fin du XVIIIe et XIXe siècle, sous l'impact des ouvrages de Cointeraux, la technique a été répandue dans plusieurs régions du pays notamment à Victoria, New South Wales, et Adélaïde²⁹. Le pisé parvenu en Australie depuis l'Europe s'est étendu jusqu'en Nouvelle Zélande, comme en témoigne la Pompallier House à Russel, construite sous la supervision de l'architecte lyonnais Louis Perret.

²⁶ Craterre, *Tout autour de la terre*, plaquette de l'exposition, 2004, www.craterre.com

²⁷ Ibid. supra note 41

²⁸ D.Easton, C.Wright, *op.cit*, p14

²⁹ S.Zerhouni, H.Guillaud, E.Mouyal, *op.cit*, p37

Le pisé a ainsi traversé les temps et les continents, de l'antiquité à nos jours, de l'Asie jusqu'aux Amériques, cette technique constructive a produit un patrimoine aussi varié qu'innombrable, qu'il est aujourd'hui nécessaire de redécouvrir et de préserver pour le transmettre aux générations futures.



Figure 19:Château de Vaugirard (Loire, France)



Figure 20: Eglise Holy Cross en Caroline du Sud (Etats Unis)

2.3. Avantages et Inconvénients :

2.3.1 Avantages :

Le pisé redevient une alternative prometteuse dans le cadre de développement durable par ses performances énergétiques, qui permettent une nette réduction de l'énergie consommée durant tout le cycle de vie d'un bâtiment en pisé et la réduction à néant des déchets lors de la phase de démolition, ce qui permet un recyclage aisé. Au niveau de confort, le pisé est prédisposé à être utilisé dans l'architecture bioclimatique comme matériau très performant.

Confort d'habitation en pisé³⁰ :

L'HIVER

- Matériau à forte inertie, capable de stocker de la chaleur et de la restituer par rayonnement. L'inertie permet des variations très lentes de température.
- La terre maintient l'humidité de l'air à un taux faible, ce qui permet d'abaisser la température de confort, et donc d'économiser de l'énergie. Cette capacité évite

³⁰ Bibliothèque municipale de Lyon guichet de savoir

également les problèmes de condensation. Cela ne fonctionne que si les murs restent apparents, ou qu'ils sont doublés avec des matériaux perspirants.

L'ÉTÉ

- Matériau déphasant qui ralentit le transfert de chaleur et permet un réel confort d'été. Un mur de 40 cm procure un déphasage de 10 à 12 heures, ce qui signifie que la fraîcheur nocturne est restituée le jour.
- L'humidité accumulée dans les premiers centimètres des murs en pisé avec la fraîcheur de la nuit s'évapore durant la journée en créant un refroidissement du mur en surface et une climatisation naturelle de la pièce.

Diminution des déchets : Un pisé traditionnel non-stabilisé est un matériau recyclable. Le recyclage est assez aisé grâce à l'action de l'eau. La terre recyclée peut être réutilisée pour la construction du nouveau bâtiment ou tout simplement rendue à la nature sans besoin de traiter ou stocker avec aucun impact environnemental. Donc, le problème de déchets lié à la destruction ou à la démolition s'en trouve beaucoup limité.

2.3.2. Inconvénients :

La plupart des constructions neuves en pisé aujourd'hui sont stabilisés (au ciment ou à la chaux). Pourtant, la compréhension de l'inconvénient et l'intérêt de la stabilisation du pisé sont indispensables pour déterminer la stratégie convenable. La stabilisation du pisé augmente considérablement le coût de la construction. Ensuite, le recyclage devient difficile, voire impossible. Donc, l'avantage de la non-production de déchets du matériau terre est supprimé. (Bui.Q.B, 2008). A cet effet, Il n'est pas toujours nécessaire de stabiliser le matériau terre. Les deux raisons principales de la stabilisation sont de limiter la sensibilité de ce matériau à l'action de l'eau et d'augmenter sa résistance à la compression. Concernant la première raison, la durabilité du pisé dépend fortement du climat, des précipitations de chaque région, donc, le besoin de stabilisation change d'un pays à l'autre ainsi que d'une région à l'autre. Ensuite, pour la deuxième raison, la résistance à la compression du pisé dépend de la descente de charge sur le mur. En fonction de cette descente de charge, il est nécessaire de stabiliser ou pas. En général, le pisé non-stabilisé convient tout à fait pour construire des maisons de 1 à 3 niveaux.

"Si des matériaux stabilisateurs doivent être utilisés il serait plus économique de les utiliser pour le revêtement étanche, plutôt que pour toute l'épaisseur du mur. "
(Hassan Fathy)

2.4. Caractéristiques du pisé:

2.4.1. Masse volumique

La masse volumique influence de nombreuses caractéristiques du matériau. Pour le pisé et les matériaux en terre en général, lorsque la masse volumique augmente : l'isolation phonique augmente, l'inertie thermique augmente, la conductivité thermique augmente, la résistance mécanique augmente et la capacité de rétention d'eau diminue.

Les valeurs moyennes pour le pisé oscillent entre 1700 et 2200 kg/m³. Les valeurs sur les échantillons testés au CSTB donnent une moyenne à environ 1900 kg/m³, ce qui correspond à la moyenne de la fourchette.

La teneur en eau, des éprouvettes stabilisées à 23°C et 50%HR, se situe à environ 1,5% en masse.

2.4.2. Résistance à la compression sèche

En se référant aux principales sources de l'état de l'art, les valeurs de résistance en compression sèche du pisé vont de 0,75 MPa à 2,4 MPa.

Les valeurs obtenues lors des essais complémentaires sont comprises entre 0,9 et 1,7 MPa avec une moyenne à 1,3 MPa.

Tableau 1: Caractéristique mécanique de pisé

Dimensions (cm) des éprouvettes (largeur × épaisseur × hauteur)	Résistance à la compression (MPa)	Résistance à la traction (MPa)	Module de Young (MPa)	Référence
20 × 20 × 40	1	0.17	500	[BUI 14]
Diamètre 10 × h = 20	2,46	-	160	[MAN 08]

10 × 10 × 10	0,5 à 1,3	-	-	[HAL 04]
50 × 11 × 50	3,73	-	4143	[MIC 14a]

Tableau 2: Valeurs de calcul recommandées pour le pisé.

Référence	Résistance à la compression (MPa)	Résistance en cisaillement (MPa)	Module de Young (MPa)
New Zélande code [NZS98]	0,5	0,035	150
Australien Handbook [WAL 02]	0,4 à 0,6	0	500
New Mexico code [TIB 01]	2.07	-	-

2.4.3. Valeurs de contraintes admissibles en compression

Les valeurs oscillent entre 0,2 et 0,5 MPa, avec des adaptations selon que l'on ait ou non des valeurs d'essais utilisant des facteurs ou des valeurs de réduction allant de 1/10 à 4/10.

Ce type d'approche est très dépendante des procédures d'essais utilisées, selon que les essais sur éprouvettes soient proches ou non de valeurs obtenues sur murs, ceci dépendant entre autre de la présence ou non de frettage, de la vitesse d'écrasement, de la surface d'application de la charge, etc.

2.4.4. La conductivité thermique

Les valeurs de la littérature oscillent de 0,3 à 1,4 W/m°K, pour la plus grande amplitude avec une moyenne entre 0,5 et 1,0 W/m°K, ces variations étant tributaires des variations de masse volumique, des indications plus précises donnent une conductivité thermique comprise entre 0,46 et 0,81 W/m°K pour des masses volumique de 1700 à 2200 kg/m³.

Les essais réalisés sur les échantillons donnent plutôt une valeur moyenne de 0,4 - 0,5 W/m°K pour une masse volumique de 1900 kg/m³ pour les éprouvettes à l'état sec. Pour les mesures après stabilisation dans une ambiance 23°C et 50%HR, les résultats aboutissent à une conductivité thermique comprise entre 0,45 et 0,6 W/(m.K). Ces dernières valeurs sont plus représentatives de l'utilisation en œuvre du produit.

2.4.5. Coefficient de résistance à la vapeur d'eau μ

Les valeurs moyennes pour des masses volumiques de 1900- 2000 kg/m³ sont de l'ordre de 9 à 11.

Les éprouvettes réalisées au CSTB n'ont pas permis de mesurer correctement la perméabilité à la vapeur d'eau. En effet les corps d'épreuve devant avoir un diamètre de l'ordre de 105 +ou - 2 mm, celles-ci n'ont pas pu être réalisées. Le produit fini (pisé) est trop friable dans ces petites dimensions et la grosseur des cailloux inclus dans le pisé est trop importante.

2.4.6. Résistance au feu

Le pisé étant un constituant minéral, il est ininflammable (M0).

Les valeurs de la littérature donnent pour le pisé une tenue au feu de 2 heures avec une contrainte mécanique.

2.4.7. Isolation phonique

Peu de valeurs existent, généralement le pisé est considéré par analogie à d'autres matériaux, ayant des propriétés d'isolation phonique au moins équivalentes à celles du béton cellulaire ou béton léger dans leurs classes respectives de masse volumique sèche.

D'autres études considèrent une diminution de 50 dB des bruits aériens avec des masses volumiques de 2000 kg/m³ et des épaisseurs de murs de 20 à 40 cm.

2.5. Technique de construction de pisé :

Les matériaux utilisés dans la fondation en pisé se composent principalement de la terre, des pierres, des poutres, des poutrelles, des roseaux, des branches ou du plastique, la gouttière.

”Le pisé est un procédé d’après lequel on construit les maisons avec de la terre, sans la soutenir par aucune pièce de bois, et sans la mélanger ni de paille ni de bierre. Il consiste à battre, lit par lit, entre des planches, à l’épaisseur ordinaire des murs de moellons, de la terre préparée à cet effet” (Cointeraux, 2002).

2.5.1. Préparation de la terre

Terre à pisé : les caractéristiques d’une terre à pisé sont particulières (Association villes et pays d’arts et d’histoire, 2008) Les meilleurs terre sont composées de

- Gravier 0 à 20%
- Sable 40 à 50 %
- Limon 35 à 20%
- Argile 15 à 25%

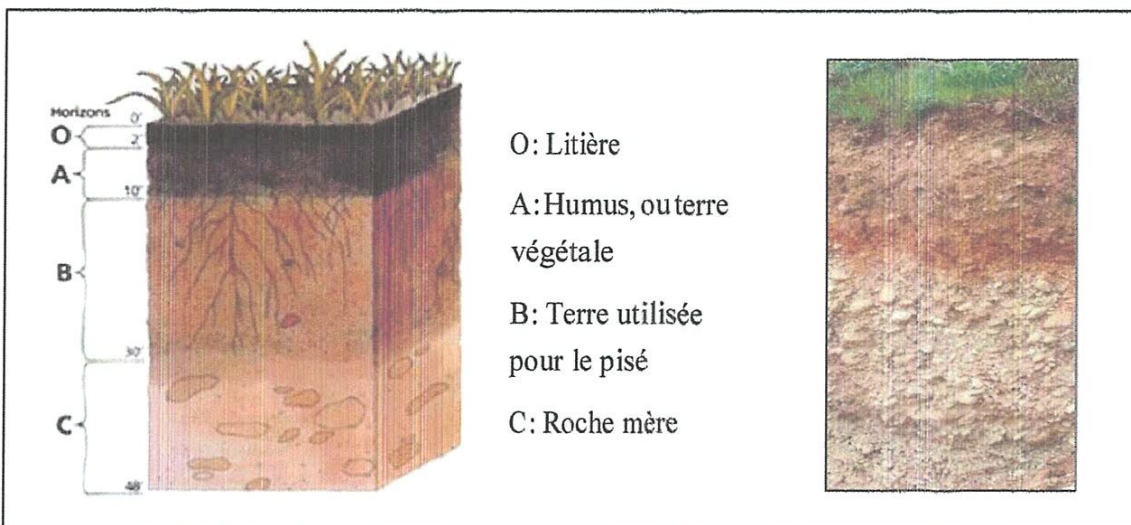


Figure 21: Les différentes couches d'un profil de sol

L'eau est versée sur de petites surfaces. Elles sont d'une dimension de de 2 à 3m² entourées de levées de terre. La procédure doit normalement se répéter 2 ou 3 fois au minimum et s'étaler sur 5 à 8 jours. Dès que la terre est bien humidifiée, le propriétaire fait venir l'équipe de constructeurs.

2.5.2. La fondation et les murs

Les constructeurs posent tout d'abord les pierres dans la partie inférieure de l'édifice, environ 20 à 40 cm, permettant aux murs de résister aux eaux de pluie et à l'humidité en général.



Figure 22: Compactage de la terre à l'aide d'un pilon (ou épissoir), Source : Google image

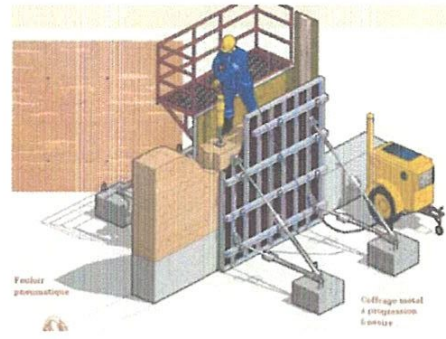


Figure 23: Exemple d'un coffrage en métal

Puis, les ouvriers commencent à verser la terre soigneusement humidifiée. Ensuite ils dament la terre jusqu'à ce que le moule soit bien rempli et bien damé.

Dès que le coffrage est rempli, le constructeur détache les cordes, bouge un peu les tiges verticales et retire la tige transversale. Ensuite, il reconstitue le moule à nouveau et répète la même procédure signalée ci-dessus, puis commence à mettre des pierres ; ensuite, verse de la terre et la dame jusqu'à ce que le moule soit rempli. Ainsi, jusqu'à ce qu'on arrive à la hauteur voulue. Généralement, la mise en place de la toiture de maison commence à partir 3.5 mètres d'hauteur. Juste après le détachement des planches, le « batteur » s'occupe de combler les trous de l'échafaudage et revêtement de la façade avec une couche de terre très fine, pour rendre le mur plus dur et étanché. Les niveaux supérieurs (1er, 2ème et 3ème étages) s'effectuent de la même procédure.

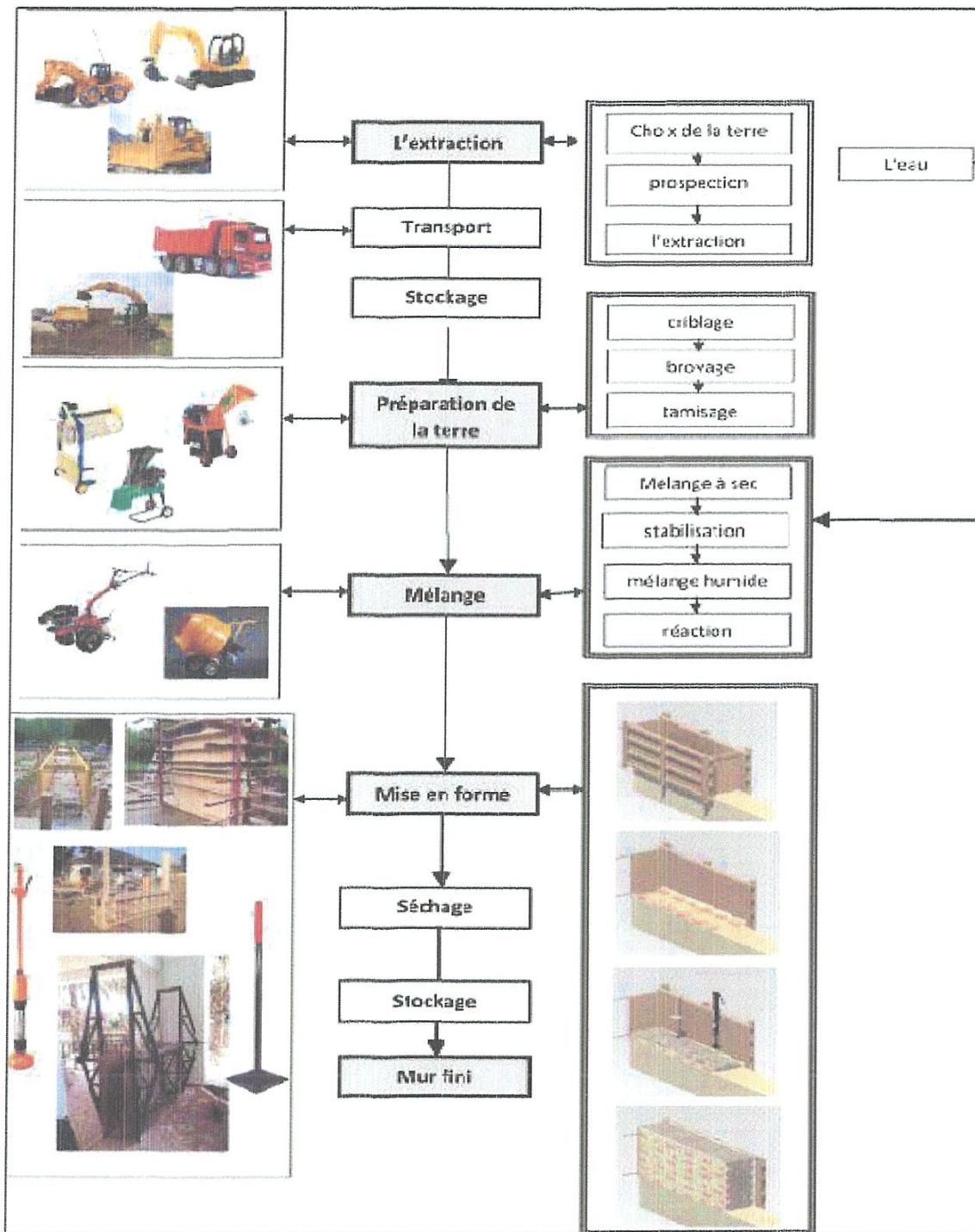


Figure 24: technique moderne de construction de pisé Source : Mémoire < STABILITE DES STRUCTURES EN PISE : DURABILITE, CARACTERISTIQUES MECANQUES

Chapitre 02

Etat d'Art

Introduction :

Le patrimoine bâti en pisé depuis le néolithique est très important, des édifices majeurs et mineurs, militaires, religieux ou civils sont présents aux quatre coins du monde, en Chine, au Pérou, en Espagne, en Australie, en France, au Brésil, au Maroc, en Algérie et dans bien d'autres pays. 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 savoirs 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.

Il n'est point possible de considérer l'architecture de pisé sans la placer dans un contexte général qui est l'architecture de terre, ou en tous cas pour ce qui est de sa conservation et valorisation, le pisé étant l'une des techniques de construction en terre, il ne peut s'en dissocier lorsqu'on aborde les mesures de protection de préservation du bâti en terre.

En 2008, il a été recensé 106 sites bâtis en terre classés sur la liste du patrimoine mondial, soit 16% de la totalité biens inscrits¹, ces sites sont soit entièrement ou partiellement bâtis en terre, parmi ces biens un bon nombre est édifié en pisé, tels l'ensemble historique du palais du Potala en Chine, l'Alhambra de Grenade, la ville historique de Lyon, ainsi que le Ksar Ait Ben Haddou, et les médinas de Fès, Meknès et Marrakech. L'architecture de terre se voit aujourd'hui menacée par plusieurs facteurs, d'une part par les catastrophes naturelles et l'influence de l'industrialisation, d'autre part avec l'usage inapproprié de technologies modernes, ainsi que par la disparition des pratiques traditionnelles de conservation.

Depuis les années 1970, le besoin de conservation de ce type d'architecture s'est manifesté, comme une nécessité de préserver les architectures de terre à caractère historique de manière ciblée au-delà des règles de protection du patrimoine en général, du moment que la préservation des sites et monuments en terre crue pose des

¹ A.P. Amendoeira, M. Fernandes, « Le patrimoine mondial en terre dans la méditerranée », in MEDITERRA 2009, Proceedings, Edicom Edizione, Monfalcone, Italie. pp203-215.

problèmes directement liés au matériau, qui exige des traitements particuliers pouvant exclure des techniques de restauration adaptées à d'autres matériaux (enduits imperméables, savoir faire...). Depuis la « Première Conférence sur la conservation des monuments construits en brique de terre tenue en 1972 à Yazd en Iran, la préservation des architectures de terre a fait du chemin, plusieurs conférences et colloques internationaux ont eu lieu, à l'instar de la « 5ème réunion internationale d'experts sur la conservation de l'architecture de terre » qui a eu lieu en 1987 à Rome organisée conjointement par l'ICCROM et CRATerre, et qui a mis l'accent sur l'enseignement spécialisé en la matière vu le manque de compétences professionnelles nécessaires à la conservation du patrimoine en terre, les recommandations de cette conférence ont permis d'inaugurer le projet GAIA, qui a eu pour objectifs le développement des formations professionnelles, les enquêtes scientifiques, et la diffusion des connaissances. Depuis ce temps, le réseau international a donné lieu à plusieurs cours internationaux et des colloques successifs sur l'architecture de terre, les dernières en date sont TERRA 2008 et MEDITERRA 2009, ainsi que le colloque RESTAPIA prévu pour Juin 2012 et qui concerne directement la technique pisé et sa conservation. Des programmes et projets nationaux et internationaux ont été mis en place dans le but d'installer de véritables politiques de conservation, préservation et mise en valeur des architectures de terre, d'une part la gestion et conservation des patrimoines architecturaux en terre et la constitution de bases scientifiques pour la nouvelle construction en terre ainsi que l'amélioration des conditions d'habitat des sociétés en difficulté d'autre part. C'est autour de ces objectifs que s'est constitué le Centre international de recherches et d'applications pour la construction en terre, le CRATerre, qui œuvre depuis 1979 en faveur l'architecture de terre et continue encore ses multiples actions à travers le monde. Parmi les différents programmes œuvrant à la préservation et la promotion de l'architecture de terre, nous pouvons citer :

1. 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.

Le projet comprend soixante-cinq logements sociaux réalisés au quartier des Fougères dans la ville nouvelle de l'Isle d'Abeau, près de Lyon en France (Dethier, 1986) et présente des typologies variées, avec des techniques constructives aussi diversifiées : 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.

L'opération avait pour but, entre autres, de :

- réaliser un quartier expérimental avec le matériau terre et de là, prouver sa fiabilité économique et technique,
- 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.

Ce quartier devait être une démonstration destinée surtout aux pays du Tiers Monde où subsiste souvent une image défavorable à l'égard de l'architecture de terre, jugée comme primitive et incompatible avec la modernité et le progrès (Dethier, 1986).

Les logements réalisés étaient répartis sur 12 îlots de cinq à dix logements mitoyens avec des surfaces habitables qui vont de 65 à 110m². L'habitation principale était dotée de plusieurs annexes telles que cave, buanderie, serre, loggia ou balcon et garage. Un jardin privatif complétait l'aménagement de chaque parcelle²

Cette opération de construction en terre crue est considérée jusqu'à aujourd'hui comme un réel succès vu l'intérêt qu'elle a suscité chez plusieurs organismes, français et étrangers dont notamment l'Organisation des Nations Unies chargée du logement « Habitat » basé à Nairobi (Dethier, 1986). Cependant, les impératifs auxquels tout projet de ce genre reste lié sont la maîtrise des connaissances par l'enseignement et la formation ainsi que l'encadrement juridiques.

² Encyclopédie du bâtiment, p 15-2135-3



Figure 25 un des projets du domaine de la terre de l'Isle d'Abeau, quartier des fougères, Source : La revue durable 2006

Sur le plan psychologique, le projet a orienté, de façon concrète et décisive, le débat national, social et culturel, vers une acceptation du matériau terre crue.

Cette opération montre le rôle positif que peut jouer les traditions constructives pour la réussite des projets de revalorisation de l'architecture de terre et affirme la thèse qui dit « qu'il existe de multiples traditions populaires et savantes de la construction en terre, dignes d'un nouvel intérêt en Occident comme dans le Tiers Monde, qu'il faut réhabiliter, revivifier et réactualiser en y associant des connaissances et des technologies nouvelles. » (Dethier, 1986)

Dans cette expérience, nous pouvons observer aussi le respect des besoins de la population en espaces. Des logements variés et dotés d'espaces annexes ont permis une meilleure appréciation des réalisations en terre crue. Les choix techniques étaient orientés par les traditions. Ils étaient améliorés et adaptés pour répondre aux besoins de la vie moderne.

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 coûts³ 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. Comme le soulignait déjà M.Biau en 1982 : « Ce qui conditionne l'avenir du matériau terre c'est l'organisation de la production, de toute la filière, qui seule pourra éviter des projets sans lendemain » (Plan Construction et Habitat/ENTPE/EPIDA, 1982)

2. Le projet TERRA :

Créé en 1997, suite à la collaboration de plusieurs institutions (CRATerre, ICCROM et le Getty Conservation Institute), le projet TERRA 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. Parmi les objectifs du projet :

³ Encyclopédie du bâtiment, p 15-2135-3

- Établir l'état actuel des connaissances sur la conservation du patrimoine en terre.
- Caractériser les propriétés du matériau et déterminer les causes de sa dégradation.
- Développer et évaluer les procédures d'intervention à travers des essais de laboratoire et de terrain.

Le projet TERRA a porté ses fruits dès les années suivant sa création, des cours régionaux et internationaux sur la gestion et la conservation des patrimoines en terre ont été organisés au Pérou dans l'objectif de former des formateurs, le lancement d'une recherche fondamentale sur la cohésion et la perte de cohésion du matériau terre et de son comportement, ainsi que l'élaboration d'un plan de gestion de référence appliqué au site de Chan Chan au Pérou et au site de Joya de Céren au El Salvador⁴.

3. Le programme Africa 2009 :

Le projet né de la coordination de trois organisations (CRATerre, ICCROM, le centre du patrimoine mondial de l'UNESCO), visait d'abord l'élaboration d'une stratégie de formation des personnes concernées par l'entretien et l'utilisation du patrimoine africain subsaharien. Au final l'objectif principal du programme est devenue l'amélioration à long terme de ses conditions pour la conservation du patrimoine culturel immobilier, grâce à sa meilleure intégration au sein d'un processus de développement durable. Le programme s'est soldé par la formation de 158 professionnels africains, la production de plans de gestions provisoires pour 12 sites (Kenya et Benin), des inventaires de typologies constructives de plusieurs sites, des cours régionaux et l'organisation de plusieurs séminaires.

4. Le contrat global de développement « Isère, porte des Alpes » :

Dans le cadre de ce programme, l'association « Isère, porte des Alpes » a choisi parmi les grands axes de ce contrat, une action de valorisation du patrimoine en pisé, elle s'inscrit dans un projet de valorisation économique des ressources culturelles du nord de l'Isère. L'Isère compte 75% d'habitat traditionnel en pisé⁵, 48 communes du Nord de l'Isère sont concernés par ce projet, cette partie recèle un patrimoine très varié

⁴ H.Guillaud, Bilan scientifique du programme pluriannuel 2002-2005, CRATerre-ENSAG, www.craterre.com

⁵ H.Guillaud, *ibid.* supra note 77

(maisons, granges, écoles, mairies, manoirs et châteaux bourgeois, églises, bâtiments industriels). 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. Le projet a abouti à la mise en place de plusieurs manifestations culturelles autour du pisé, « Tout autour de la terre », « Grains d'Isère », la sensibilisation des politiques et du public comprenant écoliers, lycéens et universitaires à travers des ateliers pédagogiques et de découverte à l'exemple de « Grains de bâtisseurs », ainsi qu'à des études de conservation et de mise en valeur de plusieurs bâtiments comme le Moulin de Saint Savin et la Grange Chevrotière en Isère⁸⁰, mais aussi au développement de la recherche fondamentale et expérimentale sur le matériau terre et sa restauration.



Figure 26 : Prototypes réalisés par les participants au festival Grains d'Isère

5. Le projet pilote Mustafa Ben Brahim à Sidi-Bel-Abbès en Algérie :

Lors du premier congrès sur l'habitat rural en Algérie en 1973 (Odul, 1983), l'accent était mis sur l'utilisation des matériaux locaux, de là est venue l'idée de l'utilisation de la terre stabilisée.

Dans le cadre de réalisation des 1000 villages agricoles, l'état algérien a lancé le projet en 1970 visant à encourager l'utilisation de matériaux locaux dans la construction de logements sociaux. Le village de Mustapha Ben Brahim situé à 30 km de Sidi Bel Abbès était la première opération pilote de construction en terre, le projet a été confié à l'entreprise nationale « les chantiers populaires de la révolution agraire » rattachée au Ministère de l'Agriculture avec la collaboration d'une équipe française. Le projet a livré 192 logements en blocs creux de ciment, et 30 maisons en pisé stabilisé ou BTS, c'est à cette catégorie que nous allons nous intéresser.

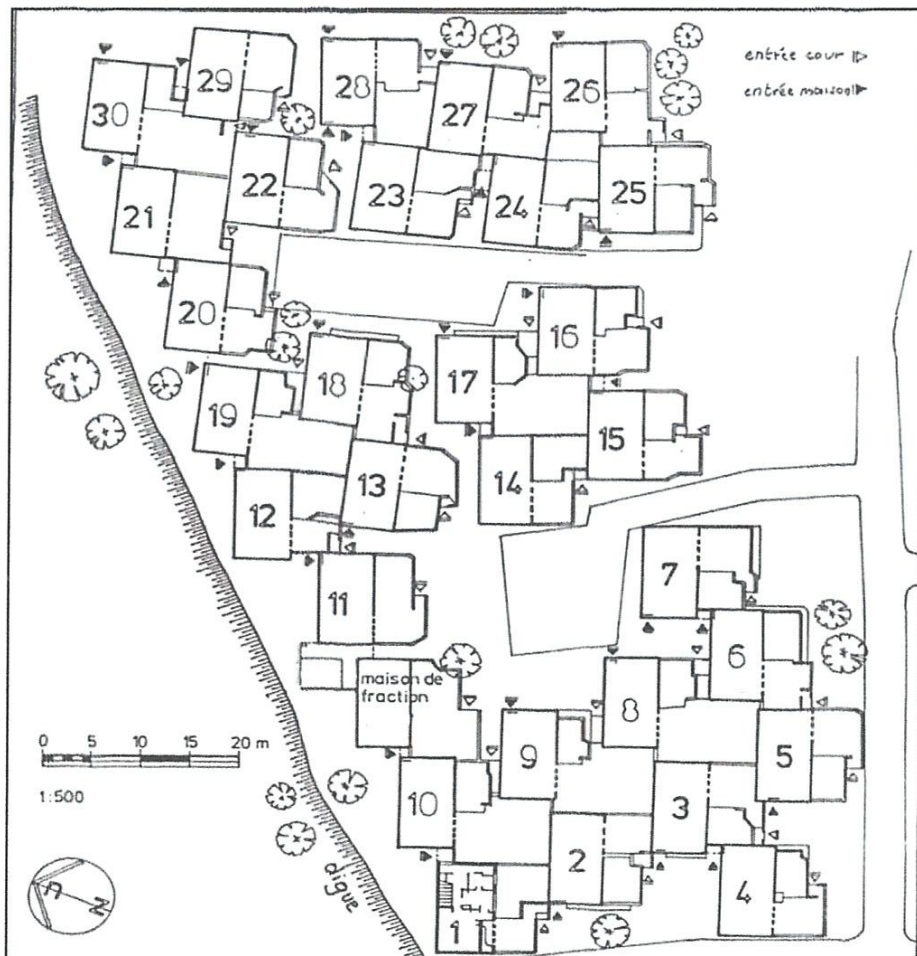


Figure 27: Plan de masse des maisons en pisé de Mostafa Ben Brahim,

Source : Odul 1983

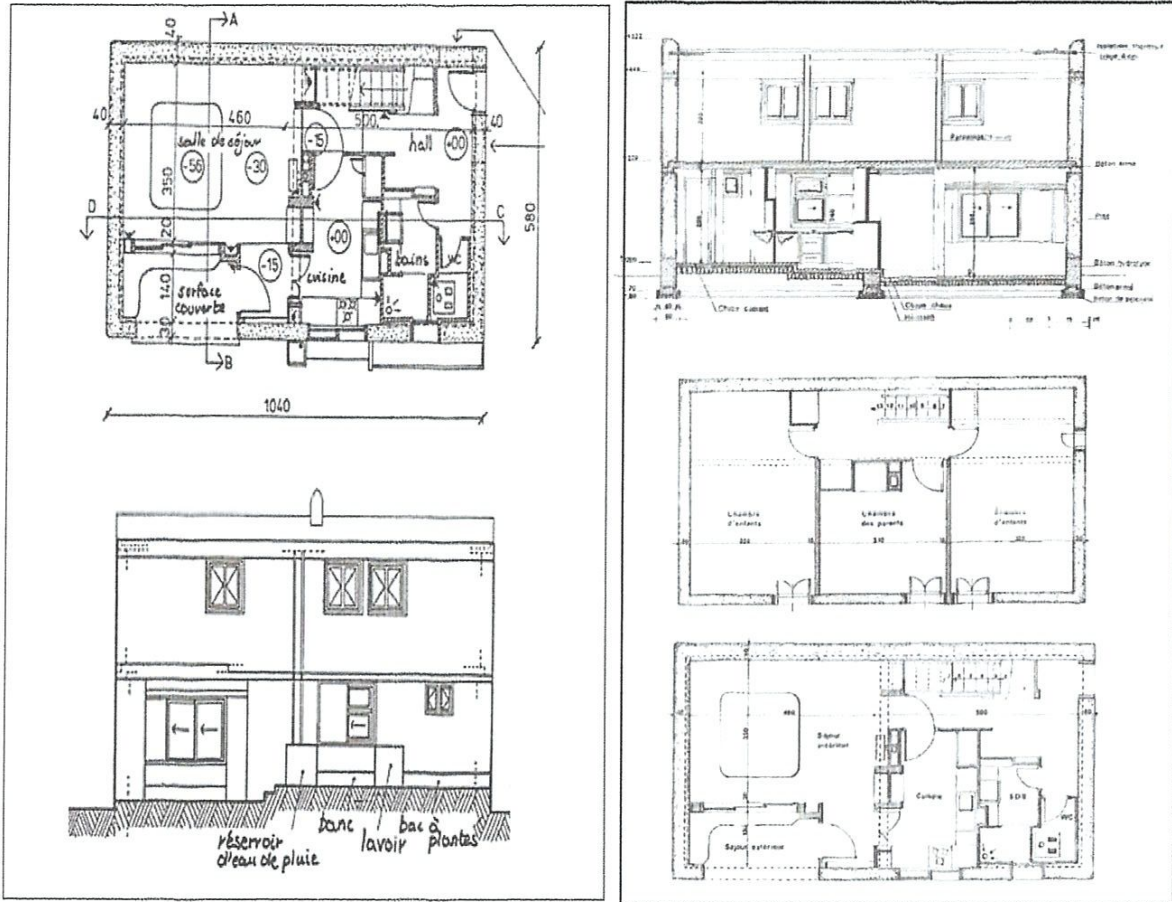


Figure 28: Plan et façade d'une habitation type au village, Source : Odule 1983

Ce village fait partie des premières expériences de l'état algérien pour la production architecturale en terre. Il a une réputation internationale puisqu'il a été présenté dans un rapport de l'"Economic Commission of Africa" des Nations Unies en 1976 (Odul, 1983). La coopération française dans ce projet rentrait dans le cadre d'une politique de soutien au développement indépendant des anciennes colonies. Elle contribuait au développement de la recherche et des applications architecturales pilotes dont l'utilisation de la terre crue⁶.

L'Algérie connaissait une expansion industrielle et l'exode rural était devenu un problème social. Des projets construits en terre allaient constituer une main d'œuvre qui ne pouvait exercer en ville et de là, freiner l'exode. Les buts de cette opération étaient (Odul, 1983):

- Vaincre le blocage psychologique et faire accepter le matériau afin de

⁶ Encyclopédie du bâtiment

généraliser son utilisation,

- freiner l'exode rural par l'ouverture de chantier à la main d'œuvre non qualifiées,
- Réduire au minimum l'utilisation du ciment.

Et toujours, selon P. Odul, cette expérience fut un échec pour deux raisons essentielles(Odul, 1983) :

- **D'ordre politique** : Les priorités politiques ayant changé lors de la réalisation des travaux, les méthodes intensives furent utilisées comme les dames pneumatiques (voire figure 26, p32) et les coffrages métalliques qui ont donné l'image d'une technologie d'importation à cette technique du béton de terre stabilisée. Ces actions étaient 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 (Odul, 1983).
- **D'ordre psychologique** : 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 (la décomposition du matériau, les fissurations et la résistance des bâtiments aux séismes et aux charges d'exploitations)(Odul, 1983). Le chantier fut arrêté malgré les démonstrations techniques rassurantes réalisées.

L'Algérie voulait suivre le chemin de l'industrialisation pour rattraper les pays occidentaux et se détacher du passé colonial, et effacer les traces de cette ère misérable. Les maisons en terre rappelaient ce passé archaïque ; de-là partaient toutes les objections techniques contre la réalisation du projet (Odul, 1983).

Nous pouvons observer dans cette expérience que les paramètres qui ont fait le succès des expériences étrangères sont complètement absents par cette approche volontariste et élitiste tant technologique qu'humaine où les travaux de réalisation étaient contraires aux objectifs énoncés de fait que :

- Les matériaux utilisés n'étaient pas forcément locaux mais répondaient à une

politique de promotion de produits algériens nationalisés comme la tôle ondulée utilisée de manière intensive pour les toitures. La quantité de béton de ciment utilisée était équivalente à celle de la terre stabilisée (Odul, 1983).

- Le chantier faisait surtout appel à la main d'œuvre qualifiée du fait du recours au matériel industriel tel que le damage pneumatique. La technique du pisé stabilisé devenait de ce fait une technologie d'importation (Odul, 1983).
- Les habitants sont complètement écartés et la population ne signifiait qu'une main- d'œuvre à exploiter.
- 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 qui faciliterait l'acceptation du produit. 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.

Le projet pilote livré en 1976 aura duré 3ans et s'est soldé globalement par un échec, lequel est dû d'abord aux techniques encore au stade de l'expérimentation à l'époque, la correction de la terre avec du sable et du ciment s'est avérée couteuse, certains outils ne répondaient pas aux exigences de la technique (bétonnière, coffrage métallique pas très efficace). En gros, le coût de l'opération était élevé d'autant plus qu'il n'a été construit que 30 maisons, le coût aurait pu être amorti si le nombre de logements était plus important⁷. D'autre part, c'est un obstacle d'ordre psychologique qui a réduit le nombre de logements à réaliser en terre, les services techniques présentaient des rapports s'opposant à l'emploi de la terre, demandant toujours plus d'assurance quant au matériau, sa solidité et la résistance du bâti aux séismes. Par ailleurs, les moyens et méthodes utilisés étaient en contradiction avec l'un des objectifs du projet à savoir l'utilisation de matériaux locaux, même si la terre était locale, l'emploi de dames pneumatiques, le coffrage métallique, la stabilisation au ciment donnaient une image d'une technique d'importation, cette technique fut abandonnée et le reste des habitations furent réalisées en blocs de ciment⁸

⁷ Ibid. p90

⁸ N.Kebaili, L'architecture de terre contemporaine en Algérie; évaluation post-occupation d'habitations rurales dans la région centre des hauts plateaux, Mémoire de magister, EPAU 2006

Partie III :
Approche
Conceptuelle

Chapitre 03

**Cas d'étude : Ville de
Tizi Genif village Ait
Itchir**

Introduction

Le patrimoine désigne, de nos jours, tout ce qui témoigne de l'évolution de la société et entretient le souvenir d'activités humaines abandonnées ou en voie de l'être. L'attention récente portée aux nouveaux patrimoines" traduit bien ce souci de préserver non seulement les édifices majeurs des époques passées mais aussi, comme dans notre cas, les témoignages essentiels pour notre histoire collective qui sont entre autres l'architecture rurale, les savoir-faire et les traditions orales. En ce qui le concerne, le patrimoine matériel, Il ne se limite plus aux objets, édifices (chef-d'œuvre) et tissus urbains, mais il va bien au-delà en incluant sites ruraux, paysages naturels, voire de vastes territoires.

De ce fait, vouloir préserver l'architecture locale n'est pas du domaine du passéisme ou de la nostalgie, c'est simplement tirer les enseignements de l'expérience des bâtisseurs qui nous ont précédés (Côte, 1988), et ce faisant, respecter leur labeur. Cette recherche constitue une occasion d'approcher cet habitat traditionnel réalisé en terre selon la technique du pisé, qui n'a été, jusque-là, que très peu étudié.

Dans la présente étude, nous tenons compte d'une méthodologie interdisciplinaire permettant d'étudier empiriquement notre domaine d'investigation. Pour ce faire, nous adoptons la méthodologie d'enquête qui est une méthode à indicateurs subjectifs : variables caractéristiques de la perception que les individus ont d'une situation, ou leur réaction face à celle-ci. Ils sont d'ordre expressif et donnent une information qualitative.

La première partie fait l'objet d'une enquête exploratoire qui cherche à observer le cas d'étude en vue d'une bonne imprégnation de la culture des habitants dans l'esprit de l'enquêteur (Chauchat, 1985). C'est une étape indispensable avant l'enquête de diagnostic (Grawitz, 1990).

1. Cas d'étude: Présentation du village Ait Itchir

La région où se déroule notre enquête se trouve dans les massifs montagneux de l'Atlas Tellien. Elle est limitée au nord par la mer méditerranéenne et au Sud par les hauts plateaux. Contrairement aux autres villages de la Kabylie où la construction

est considérée comme une réalisation en pierre (Odul, 1983) et la terre sert uniquement de mortier de pose pour le hourdage des pierres, la construction en terre est une pratique courante dans cette région, les habitations traditionnelles dans le village Ait Itchir sont construites en terre selon la technique du pisé.



Figure 29: Situation de la zone d'étude. Région centre de l'Atlas Tellien, Source : La carte d'Algérie (Encarta 2009)

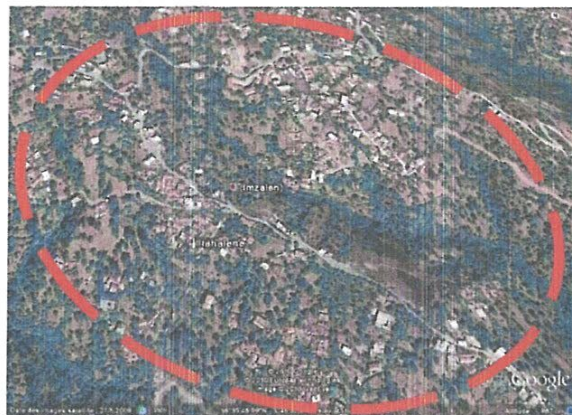


Figure 30: Vue aérienne du village Ait Itchir (google earth, 2009)

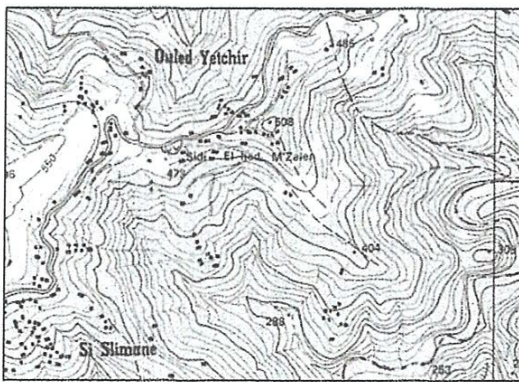


Figure 31: Levé photogramétrique du village Ait Itchir (Cartographie, 1987)



Figure 32: Vue sur une partie du village (S.Salmi.Ait Itchir, nov 2010)

2. Le principe de conception des maisons kabyles traditionnelles

Dans cette partie, nous faisons référence au travail de partenariat fait par MEDA Corpus Euromed héritage (2001) et publié sous forme de CD.

Les maisons de la Kabylie occupent en général une crête, un plateau ou un versant (MEDA Corpus, Euromed héritage, 2001) ; elles sont construites perpendiculairement aux courbes de niveau et face au soleil levant.

La maison est la même partout en Kabylie (KACI, 2006). Elle est d'une immense stabilité. Ses dimensions intérieures moyennes sont de 6,5 m de longueur, 4 m de largeur et 3 à 3,5 m de hauteur. Néanmoins, chaque maison possède un niveau de personnalisation de l'aménagement intérieur.

La maison, de plan rectangulaire, abrite les gens et les bêtes qui vivent sous le même toit. Il n'existe cependant pas de confusion : l'étable (addaynin) occupe environ un tiers de la superficie totale et la partie réservée aux gens (tigergert-aguns) occupe les deux tiers. Une soupente (takanna-thaârichth) existe au-dessus de l'étable. On distingue trois parties essentielles dans la maison : il y a division bipartite en longueur, mais aussi en hauteur, donc division tripartite au total avec l'addaynin, la takanna, et la tigergert (Lieberherr, 2006).

En plus de la salle commune, la maison au village Ait Itchir comprend, deux autres chambres, en duplexe dans la plupart des cas et une cour clôturée ; plantée la plupart du temps de vigne.

Légende

- 1-jarres grains légumes secs, figues (ikoufan)
- 2-piliers (thiguedjt)
- 3- le métier à tisser (azetta)
- 4- le foyer (elkanoun)
- 5- vigne (thaferant)

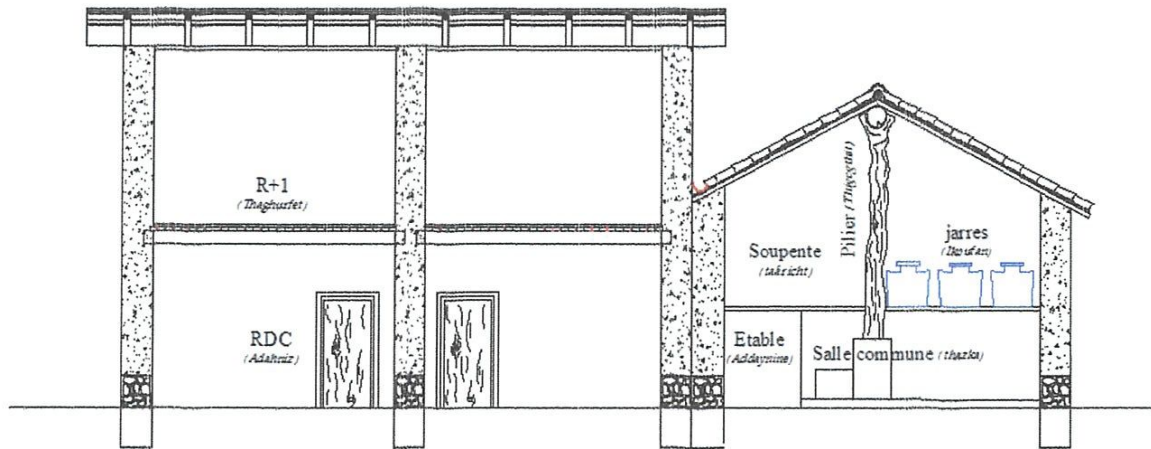
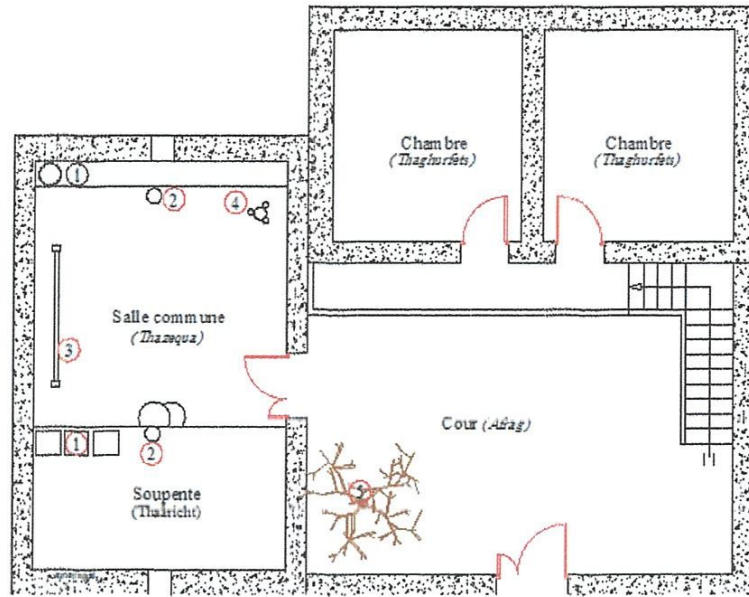


Figure 33: Plan et coupe d'une maison type (S. Salmi)

3. Les procédés constructif

3.1. Fondations : Un ouvrage de terrassement en recherche du bon sol est un préalable nécessaire à la construction des murs en pisé. La fouille creusée dans le sol reçoit ensuite la fondation constituée de pierres. Outre sa fonction structurelle d'assise et de répartition des charges, cette fondation permet de protéger la base des murs en terre banchée contre les eaux de ruissellement et d'infiltration, en limitant notamment les remontées capillaires.

Dans certains cas, la première assise du pisé est mise hors eau grâce à un soubassement constitué par une surélévation de la fondation en pierre hors du sol.

Ce dispositif permet de protéger la base du mur en pisé contre le rejaillissement des eaux de pluie.

3.2. Murs : La construction du mur a lieu à la belle saison, de mai jusqu'en octobre. Il y faut impérativement conjuguer l'absence de pluies et le soleil pour sécher la terre. Un maçon qualifié aidé de deux manœuvres, qui lui tendent le pisé et le secondent dans le montage du coffrage, sont chargés de le réaliser.

Monter le coffrage (llouh), en continuité des fondations. Ses parois sont constituées de deux planchettes, d'une longueur de 1 à 1.80m, percées de 4 trous opposés dans lesquels on enfle 8 baguettes qui permettent de fixer le cadre et de régler l'épaisseur du mur.



Figure 34: Mur en pisé sans enduit (S.Salmi.Ait Itchir, nov2010)

Couler la terre, dans le moule préalablement confectionné puis pilonner au moyen d'une longue dame en bois en forme de massue (arekkàl).

Après quoi démonter le coffrage et le remonter à côté, pour y mouler un nouveau bloc. Construire ainsi, chaque fois, un demi-mètre cube de mur. Il faut, à un maçon unique, 2 jours de travail pour monter un mur. Les murs sont ainsi montés par pans successifs de 1.50m de hauteur.

Le temps de séchage du mur avant pose du plancher varie d'environ 10 à 15 jours. La finition du mur et sa protection sont renforcées par l'application d'un enduit de chaux mêlé de cendre de bois. Il reçoit en surface un badigeon au lait de chaux (MEDA Corpus, Euromed heritage, 2001).

3.3. Couverture : Les maisons sont couvertes par une charpente empilée. La charpente est faite de grosses poutres (issoulès), le plus souvent en frêne, rarement en olivier. Elles sont placées en travers suivant la longueur de la maison. La poutre du milieu (assalèsalemès), constitue le faîtage. Des chevrons carrés ou ronds, posés ensuite transversalement, servant de liteaux.

Les intervalles sont comblés de roseaux. Les maisons sont ensuite couvertes d'une toiture en pente de tuiles, posées à l'aide d'une couche épaisse de mortier de terre. On commence l'opération à l'un des pignons et l'on progresse du bas vers le haut, c'est-à-dire depuis le mur jusqu'au faîte.

La couverture est constituée d'un assemblage de tuiles plates mécaniques en terre cuite, les tuiles sont de forme rectangulaire, d'une longueur courante de 40cm, et une largeur courante de 30cm.

Selon un témoignage, il existait aussi des toitures en terre battue couvertes de liège.



Figure 35: Composition de la toiture (S.Salmi.Ait Itchir, nov 2010)

Chapitre 04

Analyse et programmation

1. Etude des exemples

Le présent chapitre abordera quelques exemples d'un éco-quartier. A ce titre on a choisi trois éco-quartiers en Europe : Fréquel- Fontarabie (Paris), Vauban (Allemagne), Baudens (centre de Bourges en France). Cette étude nous permet de connaître la mise en œuvre des principes « l'équité et la cohésion sociale » sur un tissu urbain existant.

1.1. Eco-quartier Fréquel- Fontarabie :

Justification de choix :

Parmi toute les éco-quartiers existées, nous choisissons l'éco-quartier Fréquel-Fontarabie, ou il y'a une tentative des prise en charges des personne à mobilité réduite.

1.1.1. Fiche technique:

Localisation: Le projet d'aménagement se situe dans le quartier Réunion dans la ville de Paris. Il s'agit d'un projet de cœur d'îlot délimité par trois rue à flux moyen (au Nord par la rue Fontarabie, au Sud par la rue des Orteaux et à l'ouest par la rue de la réunion) et un passage (à l'est par le passage Fréquel).

Superficie: 0,5 hectares

Densité: 105 logs/ha

Calendrier: -2002: début des consultations

-2009: début des constructions

-2013: fin des constructions

Maitrise d'ouvrage: Ville de Paris

AM O/DD: Terre Eco, Patrick Martin : bureau d'étude technique (BET) spécialisé en Haute Qualité.

Equipe de maitre d'œuvre : SIEMP + Paris Habitat OPH + Ville de Paris

Architecte codonataire: Eva SAMUEL

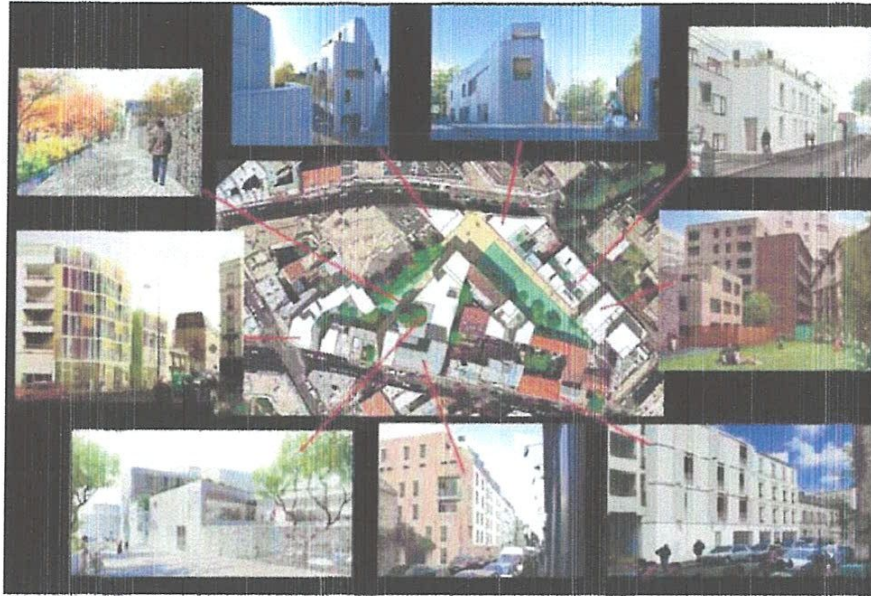


Figure 36: Les différents projets programmés dans l'éco-quartier

1.1.2. Programme :

Création de :

- 109 logements sociaux dont 74 logements neufs et 35 réhabilités.
- 4 locaux d'activités en rez-de-chaussée (total de 320 m² SHON).
- Une PMI.
- Une crèche de 60 berceaux (200 m² SHON).
- L'aménagement d'un jardin public de 960 m² SHON et d'une place publique et de deux cheminements piétons.



Figure 37 : Localisation de projet Eco-quartier Fréquel- Fontarabie



Figure 38: État projeté de l'ilot

1.1.3. Analyse selon les paramètres d'un éco-quartier :

1.1.3.1 L'économie de l'espace :

Concevoir des espaces publics de qualité :

L'espace central de l'ilot, constitué d'une placette, d'un jardin public et de cheminements piétons, est une partie importante du programme.

Le groupe général d'aménagement mis en œuvre par l'architecte coordonnateur Eva Samuel, suite à une large concertation avec les associations du quartier, permet de préserver et de renforcer les qualités présentes sur le site, notamment conserver la densité actuelle (105 logt/ha) et le caractère structurant de l'espace central en tant qu'espace vert.

1.1.3.2. Mixité et diversité:

- La mixité fonctionnelle: Le groupe d'aménagement retenu a pour objectif de répondre aux besoins du quartier par la création d'équipements publics de proximité tels qu'une crèche, une PMI et des espaces verts (2/3 jardin public et 1/3 jardin associatif).
- La mixité sociale: L'espace central non bâti, formé de placette et de jardin, est une partie importante du programme, permettant une accessibilité parfaite pour tous, sans discrimination du handicap. Le projet porte l'ambition selon laquelle un quartier durable est un quartier facile à vivre pour tous les usagers du quartier ainsi que pour les usagers des quartiers périphériques.

1.1.3.3. Ressources et déchets :

- L'eau: Concernant la gestion des eaux pluviales, l'ensemble des traitements des sols est de type semi-perméable pour permettre l'infiltration directe des eaux de pluie. D'autre part, les eaux de terrasses végétalisées ou de toiture sont collectées sur chaque projet. Les eaux des toitures de la crèche sont acheminées vers un bassin enterré sous le jardin dont le trop plein est lui-même évacué sur le réseau public ou infiltré dans le sol via un puits perdu. L'eau stockée est utilisée pour l'arrosage des espaces verts et pour le nettoyage des cheminements. Concernant l'eau potable, les bâtiments neufs sont dotés d'équipements hydro économes.
- Les déchets: La mise en place du tri sélectif des déchets est envisagée. Le tri sélectif devra se conformer au cahier des charges spéciales « chantiers propres » élaboré par l'AMO développement durable.

1.1.3.4 Construction:

- Une conception architecturale bioclimatique:

Les projets habitats passifs sont positionnés sur des parcelles qui bénéficient des Meilleures orientations. Le confort d'été pour les bâtiments est obtenu grâce au Recours à une forte inertie et à une ventilation nocturne ponctuellement renforcée Par l'utilisation de puits franciliens.

1.1.3.5. Biodiversité:

- La qualité du projet viendra du traitement des sols avec des matériaux locaux de récupération (comme les pavés) permettant l'infiltration des eaux de pluies, de la qualité de la végétation (essences non allergènes adaptées au climat de Paris nécessitant peu d'arrosage) et la création d'espaces ombragés en été et très ensoleillés en hiver grâce au recours de plantations d'arbres à feuilles caduques.
- Un diagnostic environnemental a permis de recenser les écosystèmes floristiques et faunistiques présents sur le site. Afin de préserver, dans la mesure du possible, cette biodiversité, une « chartre environnementale » et la « charte espaces extérieurs » établies par l'AMO développement durable sont appliquées dans l'aménagement des passages piétons et intégrés dans le programme et projet du jardin en cours d'élaboration.

1.1.4 Synthèse :

D'après cette analyse nous remarquons que ce quartier est une réflexion pour la prise en considération et la prise en charge des PMR.

Il œuvre pour un vivre ensemble et une cohésion sociale avec une équitable répartition des chances et des usages.

1.2. Eco-quartier Baudens:

1.2.1. Justification de choix:

L'éco-quartier "Baudens" est une démarche d'un éco-quartier précise que la conception a pour objectif de proposer des logements pour tous dans un cadre de vie de qualité participant au "vivre ensemble" et à la "mixité sociale".

1.2.2. Fiche technique:

Localisation: Le projet est situé sur une friche d'un ancien hôpital militaire à proximité du centre de Bourges en France. Il est circonscrit dans un quadrilatère de 4 rues : boulevard du Maréchal Joffre, avenue de Gionne, rue de l'Abbé Moreux et rue Ranchot.

Superficie: 05 ha

Densité: 78 logts/ha

Calendrier: - 2006: début de réalisation.

- 2018: fin de projet.

Maitrise d'ouvrage: SEM Territorial (MOA urbaine)

Maitrise d'œuvre: Atelier Ruelle

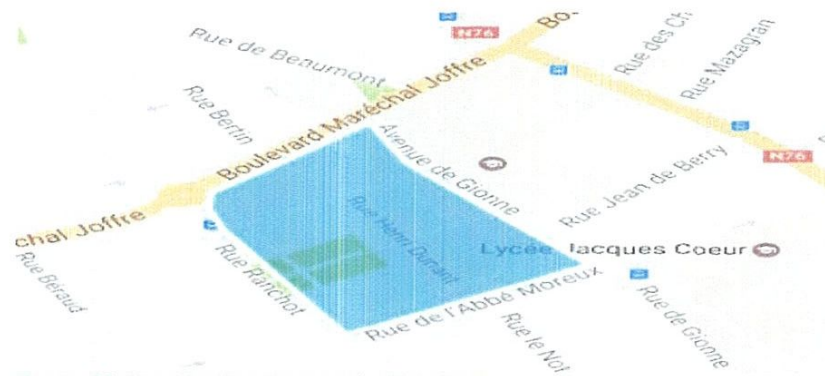


Figure 39: Localisation du quartier Baudens

1.2.2. Programme:

- Construction d'un Siège de la Chambre de Métiers et de l'artisanat du Cher sur une surface de 2 248 m².
- 38 logements sociaux 2123 m².
- 110 logements locatifs.
- 17 logement de l'Adapt (association pour l'insertion sociale et professionnelles des personnes handicapés).
- Parking partagé 1713 m².

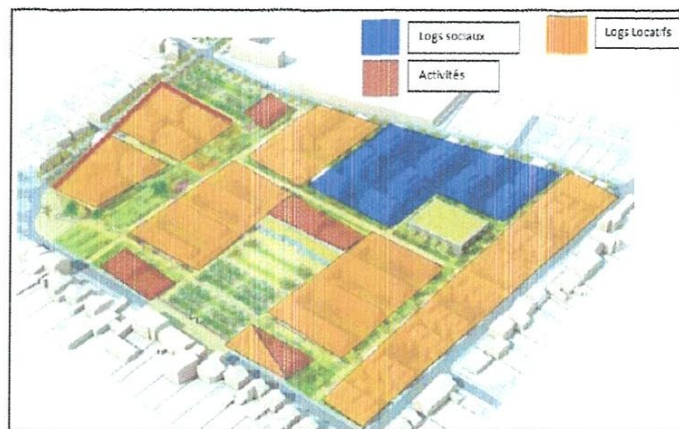


Figure 40: Programme liée au quartier Baudens

1.2.3. Analyse selon les paramètres de l'éco-quartier :

1.2.3.1. Économie de l'espace :

- Un parti d'usage : 4 façons d'habiter : les cours / les résidences / les petits collectifs dans les jardins / les maisons de villes.

- Une densité importante (78logs/ha) et des espaces publics qualitatifs (le jardin sous le vent + la place BAUDENS + la Place GIONNE).
- Un parking partagé répondra aux besoins de stationnement des logements et installations des bâtiments existants, et pourra compléter les besoins des constructions neuves du quartier ou des riverains.



Figure 41: Les espaces publics qualitatifs du quartier Baudens Figure 42: Parking partagé

1.2.3.2. Mixité et diversité:

- La mixité sociale
- Des logements sociaux adaptés aux personnes à mobilité réduite
- Espaces de vie partagés:
 - La place Baudens : cette place ouvrira le quartier grâce à son aménagement, elle engage à pénétrer vers l'intérieur du quartier. Elle proposera aussi un espace de vie et du stationnement devant le bâtiment du Pôle Emploi.
 - Le Jardin Sous le Vent : c'est une promenade de jeux et de jardins perceptible au sud depuis la place Baudens.
 - La Cour d'Honneur : cet espace vert offrira un lieu de rencontre et de jeux aux habitants et aux riverains. Elle marquera aussi le patrimoine conservé qui l'entoure et proposera du stationnement, notamment pour les personnes à mobilité réduite.
- La mixité fonctionnelle:
- Implantation de commerces et services en cohérence avec les quartiers environnants.

Les quatre espaces de vie (la place Baudens, le jardin sous le vent, la cour d'honneur, et le pavée du lycée.)

Une opération qui s'ouvre vers la ville en cohérence avec la bâti alentour et **supprime l'effet d'enclave urbaine:**

- Espaces publics : 47 %

- Surface de bureaux : 7 %

- Surface de commerces : 10 %

1.2.3.3. Ressources et déchets:

L'eau: la récupération des eaux pluviales est abordée dans le cadre de la charte de qualité environnementale et de développement durable dans la rubrique "qualité environne- mentale du quartier".

-Préservation de la ressource en eau dans les 110 logements locatifs par: la limitation du rejet des eaux pluviales et leurs cumulation en bassins d'orages enterrés avant infiltration en sous-sol.

Les déchets: Un soin particulier est apporté à la gestion durable des chantiers (démolitions, construction, aménagement).

Une 1ère opération de construction exemplaire en termes de gestion de déchets et de "chantier vert".

1.2.3.4. Construction:

Huit logements locatifs et une résidence pour adultes handicapés:

La résidence de 8 appartements locatifs (Bâtiment 1):

- 4 logements de type 2 : 2 en rez de chaussée de 46 m², 2 au 1er étage de 50 m². - 4 logements de type 3 : 2 simplex en rez de chaussée de 62 m², 2 duplex à l'étage de 72 m². - Ils bénéficient de prestations de qualité : un jardin ou une terrasse, cour privée, **stationnement, et pour certains, production d'eau chaude par panneaux solaires.**

La résidence pour travailleurs adultes handicapé (Bâtiment 2):

- Le foyer dispose de 17 studios de 28 m² environ, avec kitchenette, salle d'eau et WC privés. - Les résidents bénéficient également d'espaces communs, avec une cuisine et une buanderie d'apprentissage.



Figure 43: une perspective de la voie piétonne France Loire

-Logements sociaux BBC:

- L'ensemble des logements sont labellisés BBC (Bâtiment Basse Consommation) avec une production d'eau chaude sanitaire solaire qui permettra ainsi une facture énergétique réduite.

Des équipements seront également mis en œuvre pour limiter les consommations en eau.



Figure 44: Logement à basse consommation énergétique

1.2.3.5. Mobilité durable:

- Une accessibilité à plusieurs dimensions: la mise en œuvre d'une concertation et d'une expertise d'usage sur les questions de handicaps avec l'Association des Paralysés de France dans les cheminements et les déplacements avec l'Association des Paralysés de France.

- Un service domicile à arrêt sans horaire ni itinéraire fixe a pour but de desservir les personnes en situation de handicap durant la mise en accessibilité progressive du réseau de bus. L'abribus est destiné aux personnes en situation de handicap à savoir les personnes se déplaçant en fauteuil roulant ainsi que les personnes aveugles ou malvoyantes.

-Un usage maîtrisé et sécurisé de la voiture: chaque composante du projet est ainsi desservie par l'une de ces rues créant un quartier dans lequel les circulations douces sont favorisées.

- Ainsi l'espace est maillé par une trame douce de voies piétonnes et cyclistes.
- Une voie de desserte pénètre dans le quartier pour permettre l'accès aux parkings et aux logements, c'est un espace partagé sans obstacles à circulation lente cet aménagement favorisera les piétons et les modes de déplacements doux (vélos, trottinette...).
- la proximité au centre- ville et aux services permettra aux habitants de diminuer la dépendance à la voiture.
- Le stationnement sera également organisé de manière à faire oublier la présence de la voiture, 2/3 des véhicules seront en parking souterrain et les parkings aériens seront paysagés.
- Bonne connexion aux transports en commun: (4 lignes de bus de liaison au centre- ville toutes les 15 mn)

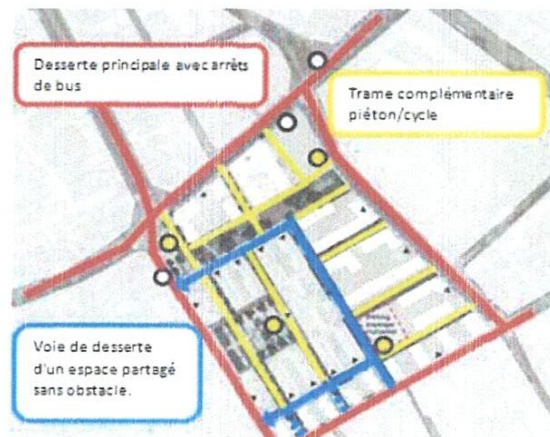


Figure 45: Trame viaire du quartier Baudens

1.2.3.6. Biodiversité:

- Création d'un nouvel espace de verdure: Le Jardin sous le Vent apparaît comme un espace de verdure privilégié de promenade
- Les espaces extérieurs: Le traitement des espaces extérieurs fera l'objet d'un projet paysager à part entière, intégrant des objectifs de qualité environnementale et paysagère. Il est important de veiller à la diversification des espèces qui seront au maximum des plantes locales peu consommatrices d'eau, à la valorisation paysagère des dispositifs de gestion alternative des eaux pluviales. Tout en étant attentif à faciliter la gestion et l'entretien des aménagements (des plantations peu consommatrices en eau, limitation de la taille et de la quantité de déchets verts).



Figure 46: Jardin sous le vent



Figure 47: Espace de jeux (jardin sous le vent)

1.2.4. Synthèse

D'après cet analyse nous remarquons que le quartier Baudens est une réflexion pour la prise en charge des handicapés ainsi dans le domaine d'habitation, de transport... etc. Il œuvre pour un vivre ensemble et une cohésion sociale avec équité des chances et des usages.

2. Programme

Programme d' un Eco-quartier : dans 1 hectare :

- 6/8 habitats individuels de superficie 250m²
- des espaces privés et semi privé20%du terrain
- des espaces semi public15% du terrain.
- des arbres (un arbre pour chaque personne)
- 35% DU TERRAIN espace vert.
- 2 aires de jeu.
- l'espace de stationnement pour 3 logements,

Quatre volets d'intervention caractérisent le programme dun eco quartier ;

- 1) **La propreté** (amélioration des ruelles, corvées de nettoyage avec les résidents, sensibilisation à la propreté canine, etc.)
- 2) **La gestion écologique des matières résiduelles** (distribution de bacs de recyclage, implantation de la collecte sélective dans les logements, commerces et institutions, sensibilisation aux 3RV, ateliers sur le compostage, vermicompostage, création de sites de compostage communautaires, bazars du réemploi, etc.)
- 3) **L'embellissement** (distribution et plantation de fleurs, muralles, etc.)
- 4) **La nature en ville** (promotion de la biodiversité, agriculture urbaine, plantation d'arbres et arbustes, verdissement des espaces vacants, revitalisation des berges, ruelles vertes, etc.

3. Le contexte géophysique du terrain

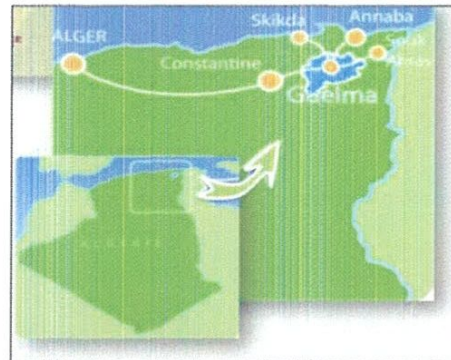
3.1. Présentation de la ville de Guelma

3.1.1. Situation géographique

La ville de Guelma se situe, géographiquement, au Nord -Est de l'Algérie, entre les parallèles 39° et 40° de latitude Nord et les méridiens 5° et 6° de longitude, à 60 km au Sud de la mer méditerranéenne et à 100 km à l'Est de Constantine. Elle se situe au centre de la région Nord-est à 537 km de la capitale, la frontière tunisienne distante d'une centaine De kilomètres à l'Est de wilaya, elle occupe une position géographique stratégique, en sa qualité de carrefour dans cette région (Nord-Est) reliant le littoral (El teref, Annaba, Skikda) aux régions intérieurs (constantine, Oun El Bouaghui, Souk Ahras)

Elle s'étend sur une superficie de 3686.24 Km², et elle est limitrophe à :

- ☐ La wilaya de Souk Ahras à l' Est.
- ☐ La wilaya d' Annaba au Nord.
- ☐ La wilaya de Skikda au Nord-Ouest.
- ☐ La wilaya de Constantine à l' Ouest.
- ☐ La wilaya Oum El Bouaghui au Sud.
- ☐ La wilaya d' El Taref au Nord-Est.



Carte 01 : situation géographique de la wilaya de Guelma

3.1.2. Organisation administrative

La wilaya de Guelma a été créée en 1974 .elle est répartie en 34 Communes et 10 Daïras

La commune de Guelma est située géographiquement au centre de la wilaya de Guelma, sa surface est de 45.00 km². Les différentes zones d'urbanisations y compris les zones d'urbanisations futures est de l'ordre de 1960 Ha soit 44% de la superficie communale.

Elle est limitée:

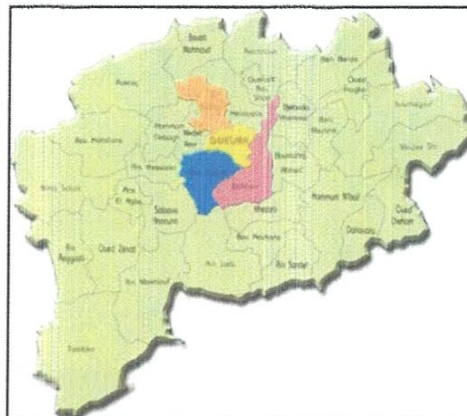
Au Nord-Ouest par la commune d'El fedjouj,

Au nord par la commune de Heliopolis

Au Sud Est par la commune de Belkheir,

A l'ouest par la commune de Mdzaz Ammar

Au Sud-Ouest par la commune de Ben Djarah.



Carte02 : situation géographique de la commune de Guelma

3.1.3. Population

Au dernier RGPH de 1998, la commune de Guelma était peuplée de 110 525 habitants. Cet accroissement tant démographique que spatial, a donné des disparités apparentes dans les formes d'extensions, où l'anarchie témoigne de l'absence quasi-totale de conseil et d'assistance à la gestion de l'urbanisme et de la planification urbaine dans l'optique d'un développement durable.

3.1.4. Relief

La géographie de la Wilaya se caractérise par un relief diversifié dont on retient essentiellement une importante couverture forestière et le passage de la Seybouse qui constitue le principal cours d'eau.

Ce relief se décompose comme suit :

- Montagnes : 37,82 % dont les principales sont :
 - Mahouna (Ben Djerrah) : 1.411 M d'Altitude
 - Houara (Ain Ben Beidha) : 1.292 M d'Altitude
 - Taya (Bouhamdane) : 1.208 M d'Altitude
 - D'bagh (Hammam Debagh) : 1.060 M d'Altitude
- Plaines et Plateaux : 27,22 %
- Collines et Piémonts : 26,29 %
- Autres : 8,67 %

3.1.5. Etude climatique

Le climat est l'ensemble des phénomènes météorologiques (Température, pression, vent, précipitations) qui caractérise l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné. Ou bien c'est l'ensemble des circonstances dans lesquelles on vit : ambiance.

Le territoire de la Wilaya se caractérise par un climat subhumide au centre et au Nord et semi-aride vers le Sud

Le chef-lieu de la Wilaya est dominé par un climat subhumide ce climat est doux et pluvieux en hiver et chaud en été.

Les éléments du climat

Le climat d'une région donnée est déterminé par les régimes de variations de plusieurs éléments et par leurs combinaisons. Les principaux éléments climatiques sont :

La température de l'air.

L'humidité relative.

Les vents.

L'insolation.

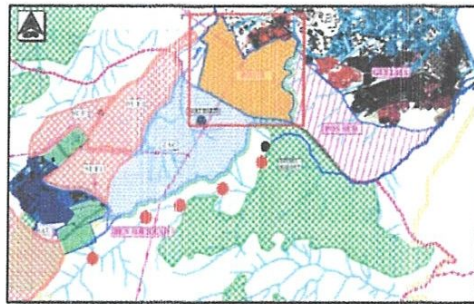
Les précipitations.

Conclusion

La ville de Guelma et à l'instar de toutes les villes algériennes a connu les dernières décennies un développement accéléré, peu maîtrisé, effectué sous la pression des faits extérieurs en l'occurrence la forte poussée démographique, l'exode sécuritaire et rural qui ont donné naissance à une crise accentuée en terme de logement.

3.2. Analyse du terrain

3.2.1. Situation du pos 31

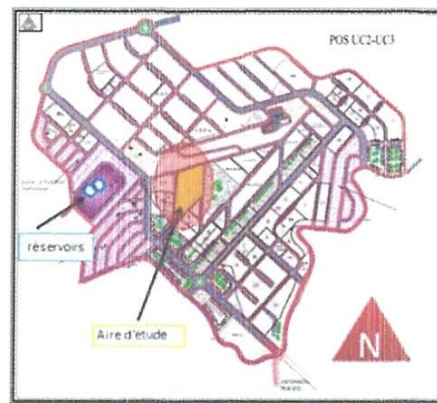


Carte03 : situation géographique du POS31

Le POS 31 est situé au sud-ouest de l'agglomération de Guelma (chef lieux de la wilaya) à environ 3 km du centre-ville. Avec une superficie de 148 ha

Il est accessible par Le chemin communal d'une surface de 0.62 ha qui permet La communication entre les différentes parties qui composent le POS 31

3.2.2. Présentation de l'aire d'étude



Carte 04 : situation du terrain

3.2.3. Situation du terrain d'intervention

L'aire d'étude est située dans la partie ouest du POS 31 à environ 340 M à l'est des réservoirs qui alimentent le POS 31

3.2.4. Limites et accessibilité

Le terrain est limité et accessible de quatre côtés, par trois voies principales au nord, à l'est et au sud, et par une voie secondaire à l'ouest

3.2.5. Environnement immédiat

Le terrain est entouré par des éléments à la fois physique et naturel qui sont :

Au nord: un grand espace vert de détente

À l'est: des tours c+11, une esplanade, une placette et un marché

Au sud: terrain destiné à la promotion privé et un centre culturel

À l'ouest: une école fondamentale et un terrain destiné à la promotion privé



Carte 05 : environnement immédiat
terrain intervention

3.2.6. Forme et surface

Le terrain se présente sous une forme rectangulaire

Il s'étend sur une superficie de 0.8 Ha (8000 m²)



Figure 48 : forme du terrain

3.2.4. Ensoleillement et vents dominants

Les vents viennent de deux directions :

L'une de Nord - Ouest, l'autre de Sud - Est

Les vents du Nord et du Nord-Ouest sont souvent froids et secs.

Les vents du Sud sont dominés par la direction Sud Est, ils ont une caractéristique desséchante; ils soufflent en toutes saisons avec une amplification durant les mois de Juin à Septembre

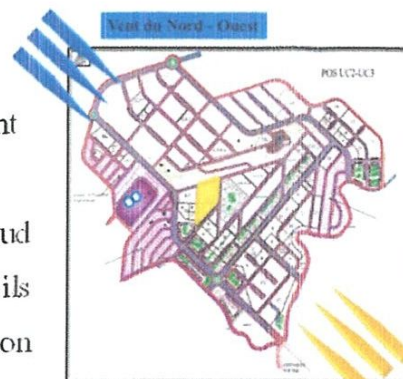


Figure 49 : schéma qui illustre la direction des vents dominants

Le site est dominé par un climat subhumide d'une température maximale moyenne atteint en Juillet 27,4C°, et minimale en Janvier 9,6°C.

Le terrain d'intervention est assez ensoleillé de l'est à l'ouest. L'insolation totale annuelle 2797 h

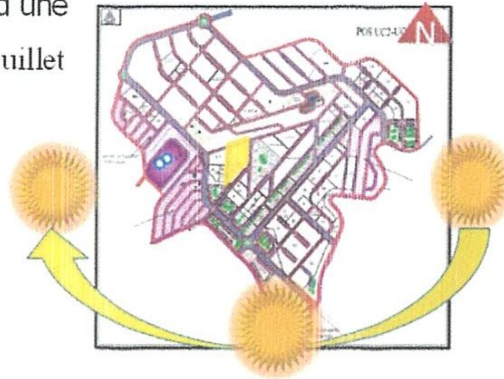
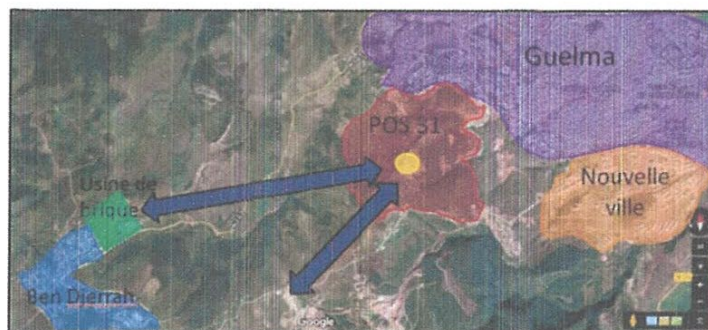


Figure 50 : schéma qui illustre la trajectoire solaire

3.3. Atouts et spécificité du terrain d'intervention

Couverture forestière diversifié importante



Carte 06 : situation du pos 31 et sa couverture forestière

Parmi les spécificités du terrain, sa couverture forestière considéré comme un écosystème pour plusieurs espèces, préserver la biodiversité est une préoccupation majeure du développement durable qu'on doit prendre en considération lors de l'aménagement du terrain.

Les produits et matériaux locaux



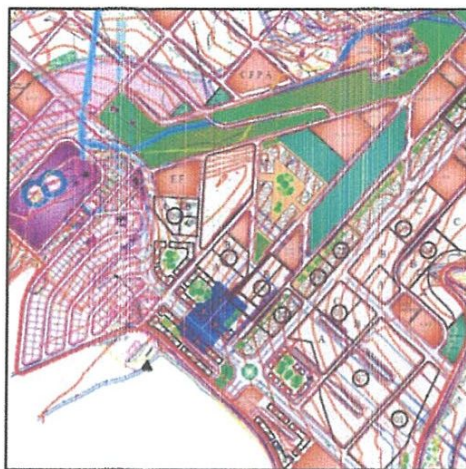
Figure 51 : usine de Brique de Ben djerrah



Figure 52 : les carrières à proximité du POS31

L'une des principes du développement durable et qui entre dans les objectifs de préservation de l'environnement (limiter les déplacements) et le développement de l'économie locale c'est la consommation des produits et matériaux locaux qui se trouve à proximité du terrain (02 carrières à 1,4 km, usine de brique à 2,5 km)

La proximité des équipements



Carte07 : carte des équipements du POS31

- La proximité des équipements fondamentaux et des différents services (Hôpital, école, espace de détente, centre culturel..) offre la possibilité de minimiser les déplacements en véhicule d'une part et d'autre part offre une attractivité au projet
- La proximité de la station urbaine (à 500m) offre la possibilité d'utiliser le transport en commun qui est fortement favorable. La communication serait facilitée par ce système
- La proximité des réservoirs (à 800m) permet l'adduction en eau potable en quantité suffisante et satisfaisante
- La proximité de la sureté urbaine (à 600m) offre une sensation de sécurité aux habitants
- L'espace vert de détente peut être considéré comme un masque contre les vents froids venant du nord vu sa pente et sa richesse en végétation (couverture forestière

4. Schéma de principe :

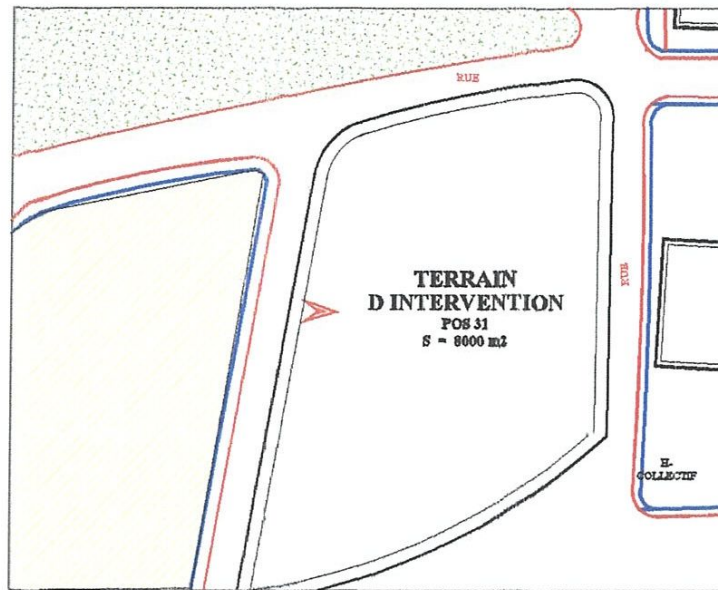


Figure 53 : terrain d'intervention

Le terrain d'intervention est d'une forme irrégulière et il s'étale sur une superficie de $8000\text{m}^2 = 0.8\text{Ha}$ entouré de quatre voies dont il permet une bonne accessibilité

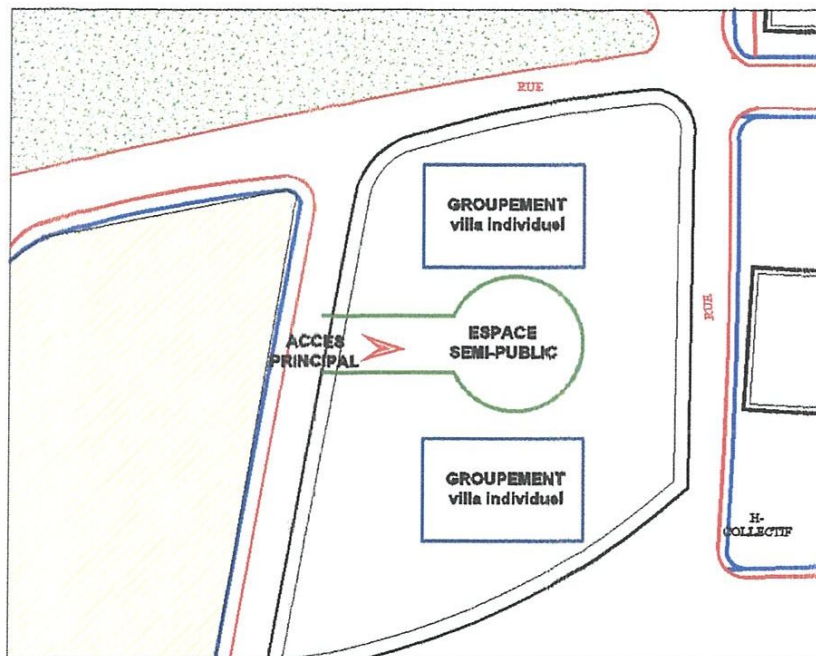


Figure 54 : principe d'insertion

L'insertion est faite selon le principe de la centralité, au milieu du terrain on a aménagé l'assiette par un espace semi public, autour de lequel un groupement d'habitat individuel

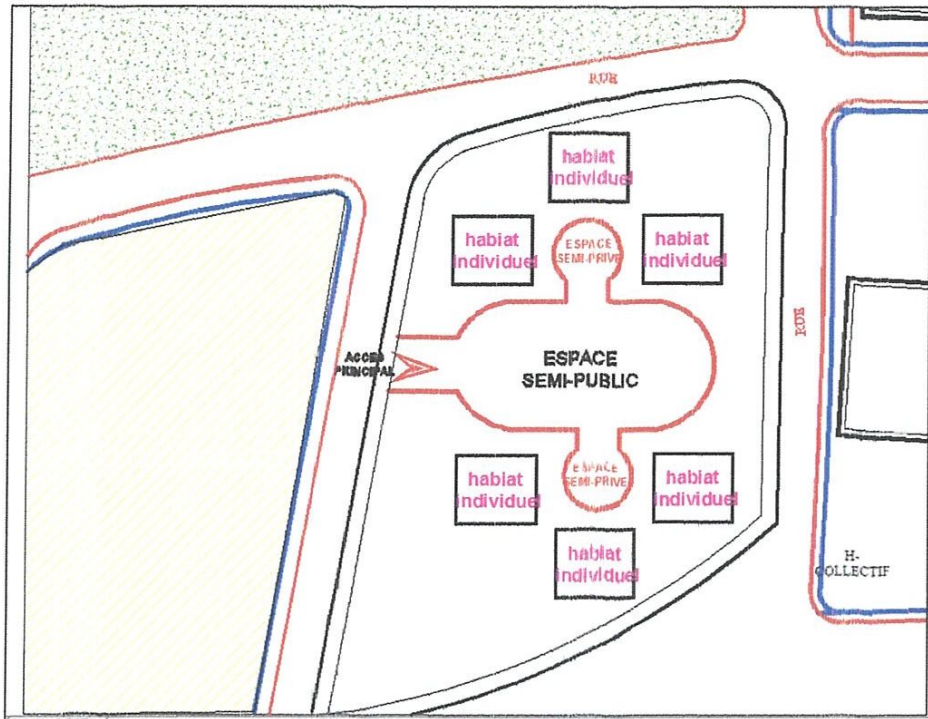


Figure 55 : l'insertion finale

Le résultat final de l'insertion et selon la forme du terrain, nous donne un nombre de six habitat individuel regrouper autour d'un grand espace semi public

5. Composition d'habitat individuel :

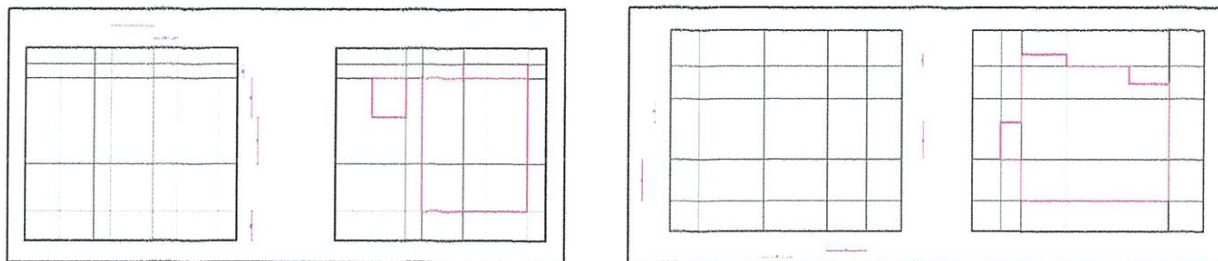


Figure 56 : deux variantes de composition

On a composé deux variantes dont on a travaillé par une trame de séries de rectangles de différentes dimensions pour faire ressortir après deux formes d'habitat individuel différente.

Intentions
et recommandations

Introduction

Le pisé est un matériau qui résiste à la compression et qui ne résiste pas à la traction, une attention particulière doit être prise en compte lors de la conception dans les zones sismiques.

6.1. Comportement sismique des constructions en terre :

La méthode la plus appropriée pour la conception et la justification parasismique d'une construction en terre nécessite avant tout la compréhension des particularités de son comportement structural vis-à-vis des secousses sismiques.

L'importance des dommages sismiques dans une construction en terre dépend de plusieurs facteurs (RPACTerre, 2011. Maroc):

- L'intensité du séisme.
- La qualité des matériaux et la qualité de leur mise en œuvre;
- L'état de la structure avant l'avènement du séisme.
- Les renforcements sismiques de la construction.
- L'importance des dommages subis lors des séismes antérieurs.

6.2. Techniques De Renforcement :

Le renforcement a pour objectif d'améliorer la ductilité et la stabilité locale et globale de la construction en terre à travers un choix judicieux d'éléments et de dispositifs de renforcement. Ce renforcement concerne des jonctions des murs, les angles des ouvertures, les liaisons entre les murs et les planchers ou toitures, les liaisons entre les murs et fondations et les sections courantes des murs.

Il faut noter que le système de renforcement est conçu pour réduire le risque sismique des constructions en terre. **Source :** RPACTerre, 2011. Maroc.

6.2.1. Renforcement horizontal

-Renforcement en béton armé

Ce type de renforcement consiste à réaliser des chaînages horizontaux en béton armé similaires à celui de la maçonnerie classique. Ils doivent être bien liaisonnés aux murs pour assurer une compatibilité de déformation et éviter des déplacements horizontaux relatifs au niveau de l'interface entre le mur en terre et les chaînages.

Le chaînage au niveau du plancher et de la toiture est nécessaire et doit assurer une bonne liaison avec les murs porteurs et non porteurs (RPA, 2003).

Ils seront réalisés sur toute la hauteur du mur avec une section minimale de $15\text{cm} \times 15\text{cm}$.
Les sections et dispositions minimale d'armatures sont les même que celle concernant les chaînages horizontaux(Le RPA, 2003).

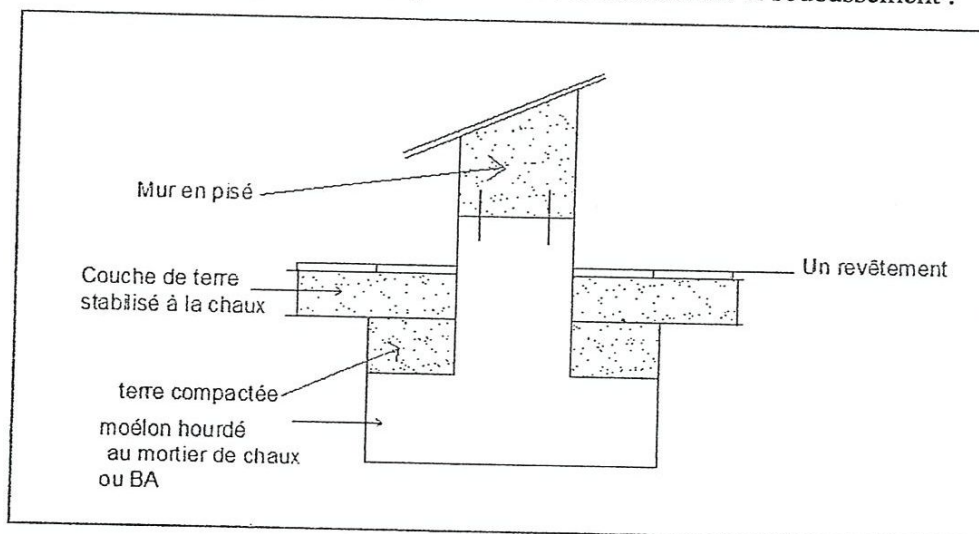
6.3. Recommandations pour murs, ouvertures et fondations :

- Epaisseur minimale des murs porteurs: 0,4 m
- Epaisseur minimale des murs cloisons: 20cm
- La largeur d'une ouverture ne doit pas être supérieure à 1,2 m (fenêtre ou porte)
- La distance entre un angle extérieur et une ouverture ne sera pas inférieure à 1.2m
- La somme totale des largeurs des ouvertures d'un mur ne doit pas excéder 40% de la longueur totale du mur.

La fondation des murs en terre est constituée d'une semelle filante dont la géométrie dépend de la capacité portante des sols de fondations et des efforts statiques et sismiques qui lui sont transmis par les murs porteurs.

Les fondations des murs doivent être en maçonnerie de pierres à mortier à base d'un liant hydraulique (chaux ou ciment) ou en béton cyclopéen, ou un chaînage en béton armé formant la semelle d'un mur en maçonnerie de pierres ou en briques pleine en béton.

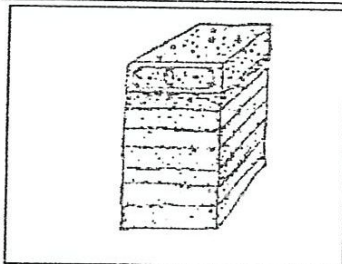
Figure : Des tiges d'attache pour assurer la liaison mur et soubassement .



Source : RPACTerre, 2011. Maroc.

Les tiges de scellement sont des armatures minimales T10 scellées dans le chaînage horizontal et de part et d'autre du mur, de longueur 40cm. Ces tiges sont espacées horizontalement tous les 50cm.

Figure : Exemple de solution pour le chaînage horizontal en béton armé



Source : RPACTerre, 2011. Maroc.

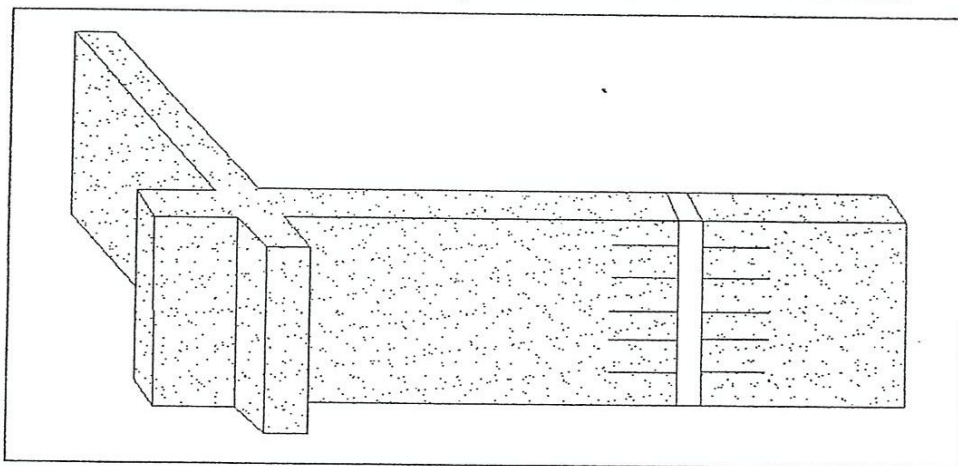
6.2.2. Renforcement vertical

-Raidisseur en béton armé, en maçonnerie ou en bois :

Un raidisseur vertical en béton armé avec armatures latérales enrobées d'un mortier à ciment et noyées dans le mur en terre. Les armatures d'attaches horizontales sont espacées verticalement à chaque banchée pour un mur en pisé (RPACTerre, 2011. Maroc.)

La liaison en le raidisseur vertical et le mur doit être bien soignée. Ce raidisseur peut aussi être réalisé sous forme d'échelle verticale avec des bras latéraux en rondins de diamètre 10cm et de longueur minimale 80cm. Les rondins sont imprégnés d'une couche bitumineuse. **Source :** RPACTerre, 2011. Maroc.

Figure : Renforcement vertical pour assurer la liaison entre les murs.

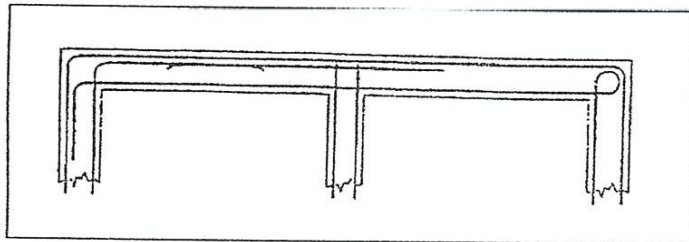


Source : RPACTerre, 2011. Maroc.

Les chaînages Doivent avoir une hauteur minimale de 15cm. Leur armature longitudinale doit être composée d'au moins une barre dans chaque angle de la section. Le minimum D'armature longitudinale des chaînages horizontaux est de 4barres HA10. L'espacement de deux barres d'une même nappe horizontale ne doit pas excéder 20cm (RPA,2003).

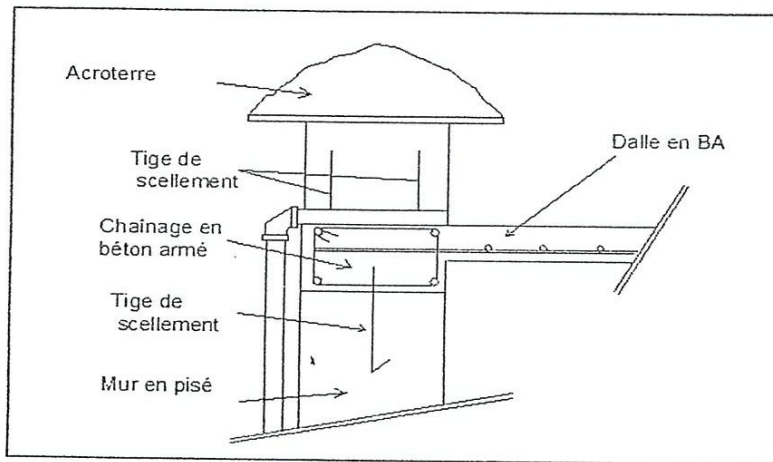
Tout chaînage horizontale doit comporter des armatures transversales d'espacement au plus égale a la hauteur du chaînage et à 25 cm. Les longueurs de scellement et de recouvrement et d'ancrage de 40 cm dans la zone sismique². Les chaînages sont obligatoires au niveau de la toiture et au niveau de l'étage. (RPACTerre, 2011. Maroc).

Figure : disposition typique des chaînages en plan.



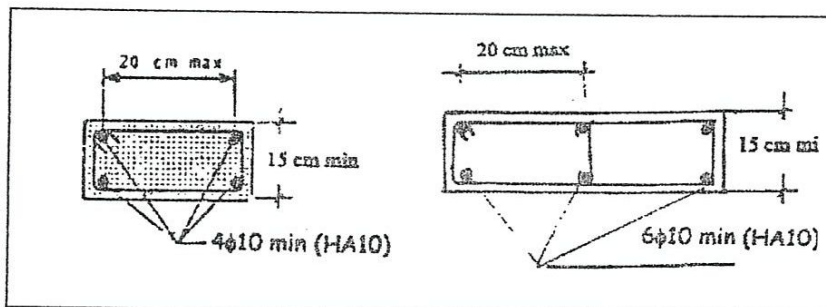
Source : Le RPA2003.

Figure : Chainage Horizontal en Béton Armé Dalle en Béton Armé .



Source : RPACTerre, 2011. Maroc.

Figure : Chainage des éléments structuraux.



Source : Le RPA2003.

Conclusion générale :

Par la présente recherche on a pu explorer une technique de construction vernaculaire, On a mis le point sur ses avantages ainsi que sur ses faiblesses. Cependant on a constaté que les points faibles du matériau viennent d'une perte du savoir faire. Le pisé connaît un véritable renouveau dû aux enjeux environnementaux par ses propriétés : matériau naturel, disponible, offrant aussi un large éventail de qualités environnementales, sociétales, économiques et culturelles. Il contribue ainsi pleinement à une réelle démarche de développement durable. Cette inspiration vernaculaire offre une excellente inertie thermique et régule l'humidité. Elle favorise la créativité et l'expression de l'identité des travailleurs. Des associations ou institutions ont exploré les possibilités de relancer la construction en pisé comme un moyen de répondre à cette volonté pressante de construire écologique pour la nature et pour l'homme. L'architecture vernaculaires retrouve à nouveau sa pertinence tant dans la restauration que dans la construction neuve respectueuse de l'environnement.

Bibliographie:

Ouvrages:

- CRATerre traité de construction en terre ,Marseille,1989.
- Doat,P et al.1983.Construire en terre. Paris : Alternative.
- Doat.P et al.1995.(CRATerre)Construire en terre édition L'Harmattan, 3^{ème}éd., Paris.
- Dominique Gauzin-Muller, l'architecture écologique. ED Le Moniteur, Paris 2001.
- Hassan Fathy construire avec le peuple édition Sindbad 1970.
- Jeannet et al.(1997). Le pisé, Patrimoine , restauration , techniques d'avenir, les cahiers de construction traditionnelle. créer, 3^{ème} édition.
- Odul, P.(1983). L'architecture de terre en Algérie. Ed. project earth construction technologies appropriate to developing countries, Belgium.
- Pignal, B. Terre crue - Techniques de construction et de restauration. Eyrolles, 2005.

Mémoires d'étude :

- Boulfekhar, Sarah.(2011). École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy. L'architecture vernaculaire comme modèle pour assister la conception environnementale des bâtiments. Mémoire de Master Design Global. Spécialité : Architecture Modélisation Environnement. Option : Qualité environnementale des bâtiments.
- Bui, Q, B(2008).Stabilité des structures en pisé : durabilité, caractéristiques mécaniques, thèse de doctorat, Lyon : INSA.
- Dorothee Alex, 2011. Petit guide des Architectures en pisé, à Lyon. Mémoire de master . Ecole nationale supérieure d'architecture à Lyon.
- Idir, Lydia (2013). Présentation d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine, architectural en terre en Algérie. Mémoire de magister. Spécialité : architecture et développement durable. Université Mouloud Mammeri. Faculté Génie de la Construction, Tizi- Ouzou, Algérie.
- Jean-Marie Le Tiec, 2005. Habitat léger de loisirs. Travail Personnel de Fin d'Études. Ecole d'Architecture de Grenoble, France.
- Kebaili,N.(2006). L'architecture de terre contemporaine en algerie, évaluation post-occupation d'habitations rurales dans la région centre des hauts plateaux, Mémoire de Magister. EpeauAlger.

- Salmi Safia.(2014)La construction en pisé entre performances énergétiques et perception des usagers cas du village kabyle Ait Ichir. Mémoire de Magister. Spécialité : Architecture. Option : Architecture et développement durable. Université Mouloud Mammeri. Faculté Génie de la construction, Tizi- Ouzou, Algérie.
- Thierry Branchat.(2013).Master Mention Histoire Spécialité Valorisation du Patrimoine,
- Mémoire Université de Rouen 2012.2013.
- **Revue scientifique :**
- Harris, D.J. (1999). "A Quantitative Approach to the Assessment of the Environmental Impact of Building Materials." *Building and Environment* 34: 751–758.
- LGCB-ENTPE, (2015). TransLettre, Construire en terre, L'isolation du pisé : principes et pertinence.
- Nabouch.R, Bui. Q.-B, Perrotin.P, Plé. O, Plassiard.J.-P. (2015).**Modélisation numérique de structures en pisé : analyses et recommandations.**Université Savoie Mont Blanc, CNRS, LOCIE, F-73000 Chambéry, France.
- Pierre-Antoine, Jean-Claude Morel Erwan, Hamard .(2009). Isoler sa maison en pisé ?.(ENTPE/CNRS).

Réglementation :

- -PDAU d'AinRagba, Hamemedebegh, Guelma, 2^{ème} phase.
- -Règles parasismiques Algériennes, BAEL 91.
- -Règles parasismiques Algériennes, RPA 99 / version 2003
- -Règlement parasismique des constructions en terre.

Autres :

- AGEDEN ,(2010) maitrise de l'énergie et énergie renouvelable en Isère.
- Hamid Benouali, Chercheur au CNERIB, Festival Architerre, 2015. La réglementation technique Algérienne de construction avec les matériaux locaux.
- Parc naturel régional Livradois-Forez.(2011) Construire et rénover en pisédans le Parc naturel régional Livradois-Forez.
- **Sites Web:**
- Le site de l'exposition «Ma terre première, pour construire en terre» présentée à la Cité des Sciences et de l'Industrie : www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/expositions/ma-terre-premiere.

- www.asterre.org.
 - <http://www.passion-egyptienne.fr/Louxor%20New%20Gourna.htm>).
 - <http://edupronet.com/les-13-ecoles-les-plus-innovantes-dans-le-monde>.
 - <http://www.lemoniteur.fr/article/prix-de-la-premiere-uvre-2013>.
-